

**T.C.
MANİSA CELAL BAYAR ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**



**YÜKSEK LİSANS TEZİ
YAZILIM MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**KAOTİK ÜÇGENLEME TOPOLOJİSİ TOPLAMA OPTİMİZASYON
ALGORİTMASI**

Sonay MUTLU

Danışman

Doç. Dr. Elif VAROL ALTAY

MANİSA-2025

SONAY
MUTLU

KAOTİK ÜÇGENLEME TOPOLOJİSİ TOPLAMA
OPTİMİZASYON ALGORİTMASI

2025

TAAHHÜTNAME

Bu tezin Manisa Celal Bayar Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yazılım Mühendisliği Ana Bilim Dalında akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin referans gösterilerek tezde yer aldığını, tamamen kendi çalışmam olduğunu, her alıntıya kaynak gösterdiğimi, tezin yazımında akademik ve etik kurallara aykırı herhangi bir yapay zeka ve program kullanmadığımı beyan ederim.

Sonay MUTLU



ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

Sonay MUTLU
Manisa Celal Bayar Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Yazılım Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Elif VAROL ALTAY

Meta-sezgisel algoritmalar yapay zekanın önemli araştırma alanlarından biridir. Son yıllarda sürü zekasına dayalı çok sayıda meta-sezgisel algoritma önerilmiş ve literatürde yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Bu algoritmalar canlıların bazı davranışlarına yönelik olarak tasarlanmışsa da, deneysel strateji ve yapılandırma modülleri benzerdir. Bu da algoritmaların karmaşık optimizasyon problemlerinin keşif ve sömürü dengesinin bozulmasına ve küresel optimuma ulaşmada zorluklara yol açmaktadır. Sürekli optimizasyon ve mühendislik uygulamalarını çözmek için yakın zamanda üçgenleme topolojisi toplama optimizatörü (ÜTTO) adında yeni bir matematik tabanlı meta-sezgisel algoritma önerilmiştir. Ancak ÜTTO, yerel optimumlarda takılma eğilimi göstermekte, düşük duyarlılığa sahip sonuçlar üretmekte ve yakınsama hızı açısından sınırlı kalmaktadır. Kaotik haritalar, meta-sezgisel algoritmaların performansını iyileştirmede, küresel keşfi iyileştirmeyi ve yakınsama oranını artırmayı amaçlamaktadır. Bu tez çalışmasında, ÜTTO algoritmasının optimizasyon sürecine kaotik haritaların entegre edilmesiyle geliştirilen kaotik tabanlı bir Üçgenleme Topolojisi Toplama Optimizasyon Algoritması (KÜTTO) önerilmektedir. Yerel minimumlara takılma ve yavaş yakınsama problemlerini gidermek için, ÜTTO'nun arama mekanizmasına 4 farklı noktada 10 kaotik harita entegre edilerek KÜTTO algoritması ilk kez geliştirilmiştir. Bu sayede popülasyon çeşitliliği ve küresel keşif iyileştirilmekte, doğruluk oranı arttırılmaktadır. KÜTTO algoritmasının performansı, IEEE Evrimsel Hesaplama Kongresi (CEC)'17, meta-sezgisel algoritmaların karşılaştırılması için oluşturulmuş olan uygunluk fonksiyonları, klasik benchmark fonksiyonları kullanılarak araştırılmıştır. Önerilen yöntemlerin sıralı performans karşılaştırması, parametrik olmayan bir istatistiksel test olan Friedman testi ile gerçekleştirilmiştir. Yöntemler arasındaki medyan farklarının istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığı ise Wilcoxon işaretli sıralar testi ile analiz edilmiştir. Ayrıca, algoritmanın gerçek dünya uygulamalarındaki başarımı; üç çubuklu kafes tasarımı, basma-germe yayı tasarımı, basınçlı kap tasarımı ve kaynaklı kiriş tasarımı olmak üzere dört farklı mühendislik problemi üzerinde incelenmiştir. Deneysel bulgular ve istatistiksel analiz sonuçları, KÜTTO algoritmasının standart ÜTTO'ya kıyasla daha yüksek performans sergilediğini ortaya koymaktadır.

Anahtar Kelimeler:Kaotik üçgenleme topolojisi toplama optimizasyon algoritması, kaotik haritalar, meta-sezgisel algoritmalar, KÜTTO, ÜTTO

ABSTRACT

Master's Thesis

Sonay MUTLU

**Manisa Celal Bayar University
Institute of Natural Sciences
Department of Software Engineering**

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Elif VAROL ALTAY

Meta-heuristic algorithms are an important area of research in artificial intelligence. In recent years, numerous meta-heuristic algorithms based on swarm intelligence have been proposed and widely adopted in the literature. Although these algorithms are designed to mimic certain behaviors of living organisms, their experimental strategies and structural modules are similar. This similarity leads to challenges in achieving the exploration-exploitation balance and reaching global optima in complex optimization problems. To address continuous optimization and engineering applications, a new math-based meta-heuristic algorithm called the triangulation topology collection optimizer (ÜTTO) has recently been proposed. However, ÜTTO tends to get stuck in local optima, produces results with low sensitivity, and has limited convergence speed. Chaotic maps aim to improve the performance of meta-heuristic algorithms by enhancing global exploration and increasing convergence rates. In this thesis, a chaotic-based Triangulation Topology Collection Optimization Algorithm (KÜTTO) is proposed by integrating chaotic maps into the optimization process of the ÜTTO algorithm. To address the issues of getting stuck in local minima and slow convergence, the KÜTTO algorithm was developed for the first time by integrating 10 chaotic maps at 4 different points into the search mechanism of the ÜTTO. This improves population diversity and global exploration, thereby increasing the accuracy rate. The performance of the KÜTTO algorithm was investigated at the IEEE Evolutionary Computing Conference (CEC) '17 using fitness functions created for the comparison of meta-heuristic algorithms and classical benchmark functions. The sequential performance comparison of the proposed methods was performed using the Friedman test, a non-parametric statistical test. Whether the median differences between the methods are statistically significant was analyzed using the Wilcoxon signed-rank test. Additionally, the algorithm's performance in real-world applications was examined on four different engineering problems: three-bar frame design, compression-tension spring design, pressure vessel design, and welded beam design. The experimental findings and statistical analysis results reveal that the KÜTTO algorithm performs better than the standard ÜTTO.

Keywords: Chaotic triangulation topology collection optimization algorithm, chaotic maps, meta-heuristic algorithms, KÜTTO, ÜTTO

2022, 124 pages

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Meta-sezgisel optimizasyon yöntemleri, doğa, fizik, sosyal davranışlar ve mühendislik gibi çeşitli alanlardan ilham alınarak uzun süredir geliştirilmektedir. Bu yöntemlerle özgün keşif ve sömürü dengeleri kurulması hedeflenmekte; yerel minimumlardan kaçınılarak yüksek doğrulukla küresel optimuma hızlı yakınsama sağlanması amaçlanmaktadır. Bu nedenle, her yeni önerilen yöntem çeşitli iyileştirme teknikleriyle geliştirilmekte ve algoritmaların performansı artırılarak daha yüksek verim elde edilmektedir. Bu bağlamda, kaotik haritalar gibi yardımcı yapılar, yakın zamanda önerilen Üçgenleme Topolojisi Toplama Optimizasyon (ÜTTO) algoritmasına entegre edilerek, yerel minimumlara takılma eğiliminin azaltılması ve daha hızlı, kararlı bir yakınsama süreci elde edilmesi amaçlanmıştır.

Yüksek lisans eğitimimle başlayan yolculuğumda ve bu tez çalışmasının her aşamasında değerli görüş ve katkıları ile yoluma ışık tutan, gece gündüz demeden sorduğum her soruyu içtenlikle yanıtlayan, motivasyonumun düştüğü anlarda gösterdiği güven ve sabırla her aşamada beni yeniden motive eden çok değerli danışmanım Doç. Dr. Elif VAROL ALTAY'a sonsuz minnet ve teşekkürlerimi sunarım.

Yalnızca akademik yolculuğumda değil hayatımın her aşamasında desteğini, sabrını ve sevgisini bana hissettiren, sevgili eşim Cihan MUTLU'ya sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Sonay MUTLU
Manisa, 2025

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

AAO	Artificial acari optimization (Yapay Acari Optimizasyonu)
AOA	Aritmetik Optimizasyon Algoritması
CBPPSO	Kümülatif Binom Olasılık Parçacık Sürü Optimizasyonu
CEC	Evolutionary computing conference (Evrimsel Hesaplama Konferansı)
COOT	COOT optimization algorithm(Su Tavuğu Optimizasyon Algoritması)
FMR	Friedman Mean rank (Friedman ortalama sıra)
GWO	Gri Kurt Optimizasyon Algoritması
HHO	Harris hawks optimization(Harris Şahinleri Optimizasyon Algoritması)
KHD	Kaotik harita değeri
KÜTTO	Kaotik üçgenleme toplama topolojisi optimizasyonu
LB	Arama alanının alt sınırı
PSO	Parçacık sürüsü optimizasyonu
SAO	Simulated annealing optimization(Tavlama benzetimi optimizasyonu)
SOA	Seagull optimizasyon algoritması(Martı Optimizasyon Algoritması)
SPKSA	Kaotik eşleme ile kuş sürüsü algoritmaları
SSA	Salp swarm algorithm (Salp Sürü Algoritması)
STD	Standart sapma
UB	Arama alanının üst sınırı
ÜTTO	Üçgenleme toplama topolojisi optimizasyonu
$\vec{f(\theta)}$	Yön vektörü
$X_{j,i}$	j boyutun i . çözümü
r_0	[0,1] aralığında bir rastgele sayı
l	Üçgenin kenar uzunluğu
X_i^t	i . boyutun t . İterasyondaki güncel çözümü
X_{best}	En iyi aday çözüm
t	Algoritmanın mevcut iterasyon numarası
T	Maksimum iterasyon sayısı
r_1	[0,1] aralığında rastgele ağırlıklandırma faktörü
r_2	[0,1] aralığında rastgele ağırlıklandırma faktörü
r_3	[0,1] aralığında rastgele ağırlıklandırma faktörü

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 1 Üçgen topolojilerinin gerçek hayattaki uygulamaları.....	6
Şekil 2 Benzer üçgen topolojiler.....	6
Şekil 3 2 ve 3 boyutlu uzayda oluşturulan üçgen topolojik birimlerin şematik diyagramı.....	8
Şekil 4 Üçgen topoloji biriminin 2 boyutlu uzaydaki durumları.....	9
Şekil 5 Çoklu üçgen topolojik birimlerin genel toplanması.....	10
Şekil 6 Üçgen topolojik birimlerin yerel toplanması.....	11
Şekil 7 KÜTTO1'in akış şeması.....	17
Şekil 8 KÜTTO2'nin akış şeması.....	18
Şekil 9 KÜTTO3'ün akış şeması.....	19
Şekil 10 KÜTTO4'ün akış şeması.....	20
Şekil 11 KÜTTO1 klasik benchmark fonksiyonlarının kutu grafiği.....	39
Şekil 12 KÜTTO1 klasik benchmark fonksiyonlarının yakınsama eğrisi grafiği.....	40
Şekil 13 KÜTTO2 klasik benchmark fonksiyonlarının kutu grafiği.....	41
Şekil 14 KÜTTO2 klasik benchmark fonksiyonlarının yakınsama eğrisi grafiği.....	42
Şekil 15 KÜTTO3 klasik benchmark fonksiyonlarının kutu grafiği.....	43
Şekil 16 KÜTTO3 klasik benchmark fonksiyonlarının yakınsama eğrisi grafiği.....	44
Şekil 17 KÜTTO4 klasik benchmark fonksiyonlarının kutu grafiği.....	45
Şekil 18 KÜTTO4 klasik benchmark fonksiyonlarının yakınsama eğrisi grafiği.....	46
Şekil 19 KÜTTO1 için CEC'17 test fonksiyonlarının yakınsama eğrisi grafiği.....	69
Şekil 20 KÜTTO1 CEC'17 test fonksiyonlarının kutu grafiği.....	70
Şekil 21 KÜTTO2 CEC'17 test fonksiyonlarının yakınsama eğrisi grafiği.....	71
Şekil 22 KÜTTO2 CEC'17 test fonksiyonlarının kutu grafiği.....	72
Şekil 23 KÜTTO3 CEC'17 test fonksiyonlarının yakınsama eğrisi grafiği.....	73
Şekil 24 KÜTTO3 CEC'17 test fonksiyonlarının kutu grafiği.....	74
Şekil 25 KÜTTO4 CEC'17 test fonksiyonlarının yakınsama eğrisi grafiği.....	75
Şekil 26 KÜTTO4 CEC'17 test fonksiyonlarının kutu grafiği.....	76
Şekil 27 Konsol giriş tasarımı.....	84
Şekil 28 KÜTTO1 Konsol giriş tasarımı yakınsama eğrisi grafiği.....	86
Şekil 29 KÜTTO2 Konsol giriş tasarımı yakınsama eğrisi grafiği.....	87
Şekil 30 KÜTTO3 Konsol giriş tasarımı yakınsama eğrisi grafiği.....	88
Şekil 31 KÜTTO4 Konsol giriş tasarımı yakınsama eğrisi grafiği.....	89
Şekil 32 Germe / Sıkıştırma Yayı Tasarımı.....	90
Şekil 33 KÜTTO1 Germe / sıkıştırma yayı yakınsama eğrisi grafiği.....	91
Şekil 34 KÜTTO2 Germe / sıkıştırma yayı yakınsama eğrisi grafiği.....	92
Şekil 35 KÜTTO3 germe / sıkıştırma yayı yakınsama eğrisi grafiği.....	94
Şekil 36 KÜTTO 4 germe / sıkıştırma yayı tasarımı yakınsama eğrisi grafiği.....	95
Şekil 37 Üç çubuklu kafes tasarımı.....	96
Şekil 38 KÜTTO1 üç çubuklu kafes tasarımı yakınsama eğrisi grafiği.....	98
Şekil 39 KÜTTO2 üç çubuklu kafes tasarımı yakınsama eğrisi grafiği.....	99
Şekil 40 KÜTTO3 üç çubuklu kafes tasarımı yakınsama eğrisi grafiği.....	100
Şekil 41 KÜTTO4 üç çubuklu kafes tasarımı yakınsama eğrisi grafiği.....	101
Şekil 42 Basınçlı kap tasarımı.....	102
Şekil 43 KÜTTO1 basınçlı kap tasarımı yakınsama eğrisi grafiği.....	103
Şekil 44 KÜTTO2 basınçlı kap tasarımı yakınsama eğrisi grafiği.....	104
Şekil 45 KÜTTO3 basınçlı kap tasarımı yakınsama eğrisi grafiği.....	105
Şekil 46 KÜTTO4 basınçlı kap tasarımı yakınsama eğrisi grafiği.....	106

TABLO DİZİNİ

Tablo 1 Kaotik haritaların isimleri ve denklemleri	14
Tablo 2 KÜTTO1 klasik benchmark fonksiyonları deney sonuçları	21
Tablo 3 KÜTTO2 klasik benchmark fonksiyonları deney sonuçları	25
Tablo 4 KÜTTO3 klasik benchmark fonksiyonları deney sonuçları	29
Tablo 5 KÜTTO4 klasik benchmark fonksiyonları deney sonuçları	33
Tablo 6 KÜTTO1 CEC'17 test fonksiyonları üzerinde deney sonuçları.....	47
Tablo 7 KÜTTO2 CEC'17 test fonksiyonları üzerinde deney sonuçları.....	52
Tablo 8 KÜTTO3 CEC'17 test fonksiyonları üzerinde deney sonuçları.....	57
Tablo 9 KÜTTO4 CEC'17 test fonksiyonları üzerinde deney sonuçları.....	63
Tablo 10 KÜTTO1 CEC'17 test fonksiyonları üzerinde Wilcoxon sıra toplamı testi	78
Tablo 11 KÜTTO2 CEC'17 test fonksiyonları üzerinde Wilcoxon sıra toplamı testi	79
Tablo 12 KÜTTO3 CEC'17 test fonksiyonları üzerinde Wilcoxon sıra toplamı testi	80
Tablo 13 KÜTTO4 CEC'17 test fonksiyonları üzerinde Wilcoxon sıra toplamı testi	82
Tablo 14 Gerçek dünya mühendislik tasarım problemlerinin detayları.....	83
Tablo 15 KÜTTO1 Konsol giriş tasarımı uygulanan yöntemlerin istatistiksel sonuçları	85
Tablo 16 KÜTTO1 Konsol giriş tasarımı en iyi optimum çözümlerin karşılaştırılması.....	85
Tablo 17 KÜTTO2 Konsol giriş tasarımı uygulanan yöntemlerin istatistiksel sonuçları	86
Tablo 18 KÜTTO2 Konsol giriş tasarımı en iyi optimum çözümlerin karşılaştırılması.....	86
Tablo 19 KÜTTO3 Konsol giriş tasarımı en iyi optimum çözümlerin karşılaştırılması.....	87
Tablo 20 KÜTTO3 Konsol giriş tasarımı uygulanan yöntemlerin istatistiksel sonuçları	88
Tablo 21 KÜTTO4 Konsol giriş tasarımı uygulanan yöntemlerin istatistiksel sonuçları	88
Tablo 22 KÜTTO4 Konsol giriş tasarımı en iyi optimum çözümlerin karşılaştırılması.....	89
Tablo 23 Kaotik varyasyonlar üzerinde referans f_{min} 'e en yakın en iyi değerleri	89
Tablo 24 Konsol giriş tasarım probleminin karşılaştırılması	90
Tablo 25 KÜTTO1 Germe / sıkıştırma yay tasarımı problemi için istatistiksel sonuçlar.....	91
Tablo 26 KÜTTO1 Germe / sıkıştırma yayı en iyi optimum çözümlerin karşılaştırılması ..	92
Tablo 27 KÜTTO2 Germe / sıkıştırma yay tasarımı problemi için istatistiksel sonuçlar.....	92
Tablo 28 KÜTTO2 Germe / sıkıştırma yayı en iyi optimum çözümlerin karşılaştırılması ...	93
Tablo 29 KÜTTO3 Germe / sıkıştırma yay tasarımı istatistiksel sonuçlar	93
Tablo 30 KÜTTO3 Germe / sıkıştırma yayı en iyi optimum çözümlerin karşılaştırılması ..	93
Tablo 31 KÜTTO4 Germe / sıkıştırma yay tasarımı istatistiksel sonuçlar	94
Tablo 32 KÜTTO4 Germe / sıkıştırma yayı en iyi optimum çözümlerin karşılaştırılması ...	94
Tablo 33 Kaotik varyasyonlar üzerinde referans f_{min} 'e en yakın en iyi değerleri	95
Tablo 34 Germe / sıkıştırma yayı tasarım probleminin karşılaştırılması	96
Tablo 35 KÜTTO1 üç çubuklu kafes tasarım istatistiksel sonuçlar	97
Tablo 36 KÜTTO1 üç çubuklu kafes tasarımı en iyi optimum çözümlerin karşılaştırılması	97
Tablo 37 KÜTTO2 üç çubuklu kafes tasarımı istatistiksel sonuçlar	98
Tablo 38 KÜTTO2 üç çubuklu kafes tasarımı en iyi optimum çözümlerin karşılaştırılması	98
Tablo 39 KÜTTO3 üç çubuklu kafes tasarımı istatistiksel sonuçlar	99
Tablo 40 KÜTTO3 üç çubuklu kafes tasarımı en iyi optimum çözümlerin karşılaştırılması	99
Tablo 41 KÜTTO4 üç çubuklu kafes tasarımı istatistiksel sonuçlar	100
Tablo 42 KÜTTO4 üç çubuklu kafes tasarımı en iyi optimum çözümlerin karşılaştırılması	100
Tablo 43 Kaotik varyasyonlar üzerinde referans f_{min} 'e en yakın en iyi değerleri	101
Tablo 44 Üç çubuklu kafes tasarım probleminin karşılaştırılması.....	102
Tablo 45 KÜTTO1 basınçlı kap tasarımı istatistiksel sonuçlar	103

Tablo 46 KÜTTO1 basınçlı kap tasarımı en iyi optimum çözümlerin karşılaştırılması	103
Tablo 47 KÜTTO2 basınçlı kap tasarımı istatistiksel sonuçlar	104
Tablo 48 KÜTTO2 basınçlı kap tasarımı en iyi optimum çözümlerin karşılaştırması	104
Tablo 49 KÜTTO3 basınçlı kap tasarımı istatistiksel sonuçlar	105
Tablo 50 KÜTTO3 basınçlı kap tasarımı en iyi optimum çözümlerin karşılaştırması	105
Tablo 51 KÜTTO4 basınçlı kap tasarımı istatistiksel sonuçlar	106
Tablo 52 KÜTTO4 basınçlı kap tasarımı en iyi optimum çözümlerin karşılaştırması	106
Tablo 53 Kaotik varyasyonlar üzerinde referans f_{min} 'e en yakın en iyi değerleri	107
Tablo 54 Basınçlı kap tasarım probleminin karşılaştırılması.....	107



İçindekiler

1. Giriş.....	1
1.2. Tezin Bilime Katkısı.....	2
1.3. Tezin Kapsamı.....	3
2. İlgili çalışmalar	3
3. Üçgenleme Toplama Topolojisi Algoritması.....	5
3.1. Esin.....	5
3.2. Matematiksel Model.....	6
3.2.1. Başlatma.....	6
3.2.2. Üçgen topolojik birimlerin oluşumu.....	7
3.2.3. Genel toplama	9
3.2.4. Yerel toplama.....	10
3.2.5. ÜTTO algoritması sözde kodu.....	11
3.3. Hesaplama karmaşıklığı	12
4. Kaotik Haritalar	13
4.1. Kaotik ÜTTO Algoritması.....	14
5. Deney Sonuçları.....	19
5.1. Klasik Benchmark Fonksiyonu	20
5.2. CEC'17 Test Fonksiyonları.....	46
5.3. Wilcoxon rank-sum analizi.....	77
5.4. Gerçek Dünya Mühendislik Tasarım Problemleri.....	83
5.4.1. Konsol giriş tasarımı problemi.....	83
5.4.2. Germe /Sıkıştırma Yay Tasarım Problemi.....	90
5.4.3. Üç Çubuklu Kafes Tasarım Problemi	96
5.4.4. Basınçlı Kap Tasarımı Problemi	102
6. Sonuç ve Öneriler	108

1. Giriş

Günümüzde farklı disiplinlerde yaygın olarak karşılaşılan karmaşık karar verme problemleri, sınırlı kaynaklar, artan rekabet ortamı gibi sorunlar sistemlerin daha verimli çalışmasını gerektirmiştir. Bu doğrultuda, optimizasyon; karar değişkenleri, kısıtlar ve hedef fonksiyonlar arasında denge kurarak, sistemin toplam verimliliğini artırmayı amaçlayan bilimsel bir yöntem olarak öne çıkmaktadır.

Gerçek hayatın farklı alanlarına yönelik tasarım problemleri genellikle optimizasyon problemlerine dönüştürülebilir. Örneğin bir yol ağında en kısa yolu bulma problemi ya da bir fabrikada üretim maliyetlerini azaltma süreci, optimizasyon problemleri olarak yapılandırılabilir. Bu problemleri çözebilmek için çeşitli optimizasyon yöntemleri geliştirilmiştir. Mühendislik taleplerinin artmasıyla, optimizasyon problemleri de çok amaçlı, çok modlu veya büyük ölçekli gibi nitelikler kazanarak giderek daha karmaşık yapıya dönüşmüştür (S. Zhao et al., 2024). Optimizasyon yöntemleri yapıları gereği deterministik ve stokastik olmak üzere iki temel sınıfa ayrılmaktadır.

1.1. Tezin Amacı

Deterministik yöntemlerin, türev bilgisi ve başlangıç noktasında yüksek bağımlılıkları nedeniyle yerel optimuma takılma olasılığı yüksektir. Stokastik yaklaşımlar bu sınırlamadan bağımsız olarak hem sezgisel hem de üst düzey sezgisel (meta-sezgisel) yöntemler çerçevesinde küresel optimum çözümlere ulaşmayı hedeflemektedir (Altay & Altay, 2023).

Deterministik yöntemler, konveks ve konkav fonksiyon, lineer cebir ve matris, varyasyonlar hesabı gibi analiz teorilerine dayanmaktadır. Ancak, deterministik yöntemlerde çözümün kalitesi büyük oranda algoritmanın başlama noktasına bağlıdır. Bu durum mühendislik problemlerini çözme noktasında yerel optimuma takılma, yavaş yakınsama ya da yanlış yönde ilerleme gibi sorunları çözme noktasında birçok zorluğa neden olmaktadır (S. Zhao et al., 2024) (C. Li et al., 2022). Deterministik optimizasyon algoritmalarının iyi bir başlangıç noktası ve türev bilgisine ihtiyaç duyması bu zorluklar arasında sayılabilir.

Meta-sezgisel algoritmalar ise bu gereksinimlere ihtiyaç duymazlar ve bu nedenle çok çeşitli sorunları çözmek için başarıyla kullanılabilirler. Bununla birlikte, deterministik yöntemlerin çoğu belirli türde sorunları çözmek için tasarlanmıştır, bu nedenle probleme bağlıdır. Meta-sezgisel algoritmalar ise yerel optimumlardan kaçarak küresel optimuma ulaşmaya çalışır (Nemati et al., 2024).

Bu kapsamda, meta-sezgisel yöntemlerin performansını artırmaya yönelik algoritmalar geliştirmek ön plana çıkmıştır. Bu çalışma, Üçgenleme Toplama Topolojisi Optimizasyon (ÜTTO) algoritmasına çeşitli kaotik haritaları ekleyerek, yerel optimuma takılma olasılığını düşürmeyi ve küresel yakınsamayı geliştirmeyi amaçlamaktadır.

1.2. Tezin Bilime Katkısı

Meta-sezgisel algoritmaları için keşif ve sömürü aşamaları iki kritik kavramdır. Bu iki süreç, algoritmanın hem geniş bir çözüm uzayını araştırabilmesi hem de umut vaat eden bölgelerde derinlemesine arama yapabilmesini sağlar. Keşif aşaması için tüm arama alanını tarayabilmesi için özel yöntemler geliştirilmelidir. Bu aşamada arama alanında potansiyel bölgelerin keşfi gerçekleştirilir. Keşif sürecinin amacı en iyi genel sonuca ulaştıracak olan bölgeleri arama alanında bulmak ve problemi küresel bir bakış açısıyla değerlendirebilecek zemini oluşturmaktır. Sömürü aşamasında ise keşif aşamasında çözüm vadeden konumun ayrıntılı olarak incelenmesi yer alır. Optimum çözümler için doğru ve etkili bir arama elde etmek keşif ve sömürü arasındaki dengeye bağlı olduğundan, meta-sezgisel algoritmaların her ikisini de yapma kapasitesi hayati önem taşır (Nemati et al., 2024).

Ücretsiz Öğle Yemeği Yok olarak adlandırılan teorem, tek bir algoritmanın tüm optimizasyon problemleri için etkili cevaplar üretemeyeceğini ileri sürmektedir (Mlinarić et al., 2019). Bu nedenle, çeşitli gerçek dünya optimizasyon problemleri için en iyi çözümleri sunmada meta-sezgisel algoritmaların geliştirilmesi ve etkinliğinin değerlendirilmesi literatürde önemli bir araştırma ihtiyacı olarak ortaya çıkmaktadır. Sonuç olarak, optimizasyon zorluklarını ele almak için mevcut algoritmaların analizi ve geliştirilmesi canlı bir çalışma alanı olmaya devam etmektedir (Storn & Price, 1997). Gerçek dünya optimizasyon problemleri daha karmaşık hale geldikçe ve daha büyük boyutlara sahip oldukça, optimizasyon algoritması geliştirme ve araştırmaları bu tür problemleri çözebilecek yeni teknikler yaratmaya odaklanmaktadır.

Bu tez çalışması ile literatüre aşağıdaki özgün katkılar sunulmuştur:

1. Üçgenleme Topolojisi Toplama Optimizasyonu (ÜTTO) algoritmasına, literatürde ilk kez 10 farklı kaotik harita entegre edilerek, algoritmanın keşif ve sömürü aşamalarının dinamik çeşitliliği artırılmıştır.

2. Deterministik kaotik diziler kullanılarak, geleneksel rastgele sayı üretimine kıyasla daha kontrollü bir arama stratejisi sağlanmış ve yerel minimumlardan kaçınma başarısı artırılmıştır.

3. Önerilen Kaotik ÜTTO varyantlarının performansı, CEC'17 kıyaslama fonksiyonları ve gerçek dünya mühendislik tasarım problemleri üzerinde sistematik olarak test edilmiştir.

4. Performans değerlendirmesi sadece ortalama sonuçlar üzerinden yapılmamış; aynı zamanda istatistiksel anlamlılık analizleri (örneğin Wilcoxon işaretli sıra testi, Friedman testi gibi) uygulanarak sonuçların güvenilirliği bilimsel olarak desteklenmiştir.

5. Kaotik ÜTTO varyantları ile elde edilen sonuçlar, standart ÜTTO algoritması ile doğrudan karşılaştırılmış; başarı oranları, yakınsama hızları, çözüm kalitesi gibi çoklu performans kriterleri açısından üstünlükleri gösterilmiştir.

6. Ayrıca çalışma, ÜTTO algoritmasının farklı varyantlarının istatistiksel performans analizlerine dayalı sistematik değerlendirmesini sağlayarak, bu alandaki yöntemsel standartların geliştirilmesine katkıda bulunmayı amaçlamaktadır.

Bu yönleriyle çalışma, hem ÜTTO algoritmasının geliştirilmesi, hem kaotik sistemlerin optimizasyon süreçlerine entegrasyonu, hem de istatistiksel düzeyde performans güvenilirliğinin doğrulanması açısından literatürde önemli bir boşluğu doldurmaktadır.

1.3. Tezin Kapsamı

Üçgenleme topolojisi toplama optimizasyon algoritması (ÜTTO), temel evrimsel birimlere bağlı olarak farklı boyutlardaki benzer üçgenlerin topolojik birimlerinin bir araya getirilmesiyle oluşturulmuştur (S. Zhao et al., 2024). Keşif ve sömürü arasındaki ideal dengeyi bulmak, diğer meta-sezgisel yaklaşımlarda olduğu gibi ÜTTO için de bir zorluktur. Bu araştırma, bu sorunu çözmeyi, yakınsama hızını ve ÜTTO'nun küresel optimum çözümü belirleme kapasitesini ve nihayetinde bu algoritmanın bir dizi ölçütte performansını artırmayı amaçlamaktadır. Yapılan literatür taramasında, ÜTTO'nun yerel çözümlere takılıp kalmasını önlerken küresel yakınsama ve performans oranlarını iyileştirmeye yönelik bir çalışmaya rastlanılmamıştır. Bu çalışma kaotik ÜTTO algoritmaları olarak adlandırılan yenilikçi algoritmalar geliştirmek için kaotik haritaları ilk kez ÜTTO'ya uygulamaktadır.

Kaotik haritalar TSO (tavlama benzetimi Optimizasyonu) gibi algoritmalarda yerel minimumları aşmak için tercih edilir. Temelde deterministik ancak öngörülemez sistemlerdir (Mingjun & Huanwen, 2004). 10 farklı kaotik harita bu çalışmada ÜTTO algoritmasına dahil edilmiştir. Tezin ana motivasyonu, ÜTTO algoritmasında çeşitli kaotik haritalardan türetilen sayı dizilerini rastgele sayılar tarafından üretilen temel parametreler yerine kullanmaktır. Kaotik haritaların deterministik, düzensiz ve zamana bağlı öngörülemez özellikleri, arama uzayında daha çeşitli ve etkili keşifler yapmaya imkan sağlamaktadır. Karakterize edilen kaotik haritaların kullanımı ile yerel çözümlerden kaçınmayı, ÜTTO yönteminden daha etkili bir şekilde kolaylaştırmayı amaçlamaktadır. Amaç, ÜTTO algoritmasının keşif ve sömürü aşamalarını iyileştirerek küresel yakınsamayı artırmak ve iyileştirilmiş bir eğri elde etmektir. Önerilen yöntem, literatürde kabul edilmiş CEC'17 kıyaslama fonksiyonları, gerçek dünya mühendislik tasarım problemleri üzerinde test edilmiştir.

2. İlgili çalışmalar

Meta-sezgisel optimizasyon algoritmaları, yalnızca belirli bir araştırma alanı veya disiplinle sınırlı olmayıp, çok çeşitli bilimsel ve mühendislik uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu algoritmaların geniş kullanım alanı, özellikle yüksek boyutluluk, çok amaçlılık, kısıtlı optimizasyon, kesikli yapı gibi karmaşık problem özelliklerini etkili bir şekilde modelleyebilme yeteneklerinden kaynaklanmaktadır. Söz konusu karmaşık nitelikleri taşıyabilmeleri ve bu tür problemlere esnek çözümler sunabilmeleri, meta-sezgisel algoritmaları oldukça cazip bir çözüm yöntemi haline

getirmiştir. Bu algoritmalar, genellikle doğal mekanizmaların matematiksel temsilleri yoluyla tasarlanır ve doğada gözlemlenen çeşitli olgulardan esinlenirler. Kimyasal reaksiyonlar, sosyal organizma davranışları, fiziksel yasalar, biyolojik süreçler ve insan etkileşimleri gibi farklı doğa olayları, meta-sezgisel algoritmaların geliştirilmesine ilham kaynağı olmuştur. Bu doğal olgular, yalnızca problem çözüm yaklaşımlarına işlevsel bir zenginlik katmakla kalmayıp, aynı zamanda optimizasyon sürecine özgün keşif ve sömürü stratejileri kazandırmaktadır.

Meta-sezgisel optimizasyon algoritmaları esin kaynaklarına göre sınıflandırılabilir. Bu sınıflandırma 11 alanda yapılabilir; fizik tabanlı, matematik tabanlı, sürü tabanlı, sosyal tabanlı, kimya tabanlı, biyoloji tabanlı, bitki tabanlı, su tabanlı, spor tabanlı hibrit tabanlı ve oyun tabanlı algoritmalar. Bu alanlarda literatürde yüzlerce çalışma bulunmaktadır.

Fizik tabanlı algoritmalar, doğadaki fiziksel olaylar ve süreçlerden esinlenilerek üretilmiştir. Bunlardan son yakın zamanlarda ortaya çıkanları; Gyro havai fişek algoritması (Wang, 2024). Yapay uydu arama algoritması (M. Y. Cheng & Sholeh, 2025), Kara kutu optimizasyon algoritması (Phan-Trong et al., 2024), Kombinatoriyal optimizasyon için serbest enerji makinesi (Shen et al., 2024).

Biyoloji tabanlı algoritmalar, organizmalardan ve doğadaki biyolojik süreçlerden esinlenilerek üretilmiştir. Alp disiplini kayak optimizasyonu (Yuan et al., 2022), Fossa optimizasyon algoritması (Hamadneh et al., 2024), Şekil Ağaç-Arı Simbiyotik Birlikte Evrimsel Optimizasyon Algoritması (Kulkarni et al., n.d.), Yapay protoza optimize edicisi (Wang et al., 2024), Bobcat optimizasyon algoritması (Benmamoun et al., 2024), Kirpi balığı optimizasyon algoritması (Al-Baik et al., 2024).

Matematik tabanlı algoritmalar, doğrudan denklemler, soyut kavramlar ve matematiksel kuramlardan esinlenilerek ortaya çıkmıştır. Lévy Aritmetik Algoritması (Barua & Merabet, 2024), RungeKutta ve altın sinüs stratejisine dayalı bir algoritma optimizasyon algoritması (M. Li et al., 2024), Ağırlıklı ortalama algoritması (J. Cheng & De Waele, 2024).

Sosyal tabanlı algoritmalar, hayvan gruplarının ve insan topluluklarının sosyal davranışları ile etkileşimlerinden esinlenilerek ortaya çıkmıştır. Ejderha Botu Optimizasyonu (X. Li et al., n.d.), Sosyal Ağlarda Adil Etki Maksimizasyonu (Ma et al., 2023), Lider seçimi optimizasyon algoritması (Trojovský & Dehghani, 2022), Pişirme eğitimi taklidi optimizasyonu (Trojovská & Dehghani, 2022).

Sürü zekâsı tabanlı optimizasyon algoritmaları, hayvan topluluklarının kolektif davranışlarından esinlenilerek üretilmiştir. Koronavirüs sürü bağışıklığı optimize edici (Alweshah et al., 2022), Geyik sürüsü optimize edici (Al-Betar et al., 2024), Afrika Bizonu Optimizasyon Algoritması (J. Zhao et al., 2024), gergedan sürüsü optimizasyon algoritması (Zhou et al., 2024).

Özellikle 2014 sonrası literatür, yalnızca yeni algoritmaların geliştirilmesiyle değil, aynı zamanda mevcut algoritmaların hibritleştirilmesi, kaotik haritalar ile desteklenmesi ve varyantlarının üretilmesi gibi yollarla da önemli ölçüde zenginleşmiştir. Bu durum, optimizasyon problemlerine yönelik daha güçlü, esnek ve etkili çözüm yöntemlerinin geliştirilmesine önemli katkılar sağlamıştır.

3. Üçgenleme Toplama Topolojisi Algoritması

3.1.Esin

Üçgen, düzlemsel geometrinin temel grafiğidir. Sonlu veya sonsuz boyutlu bir uzayda, bir üçgen topolojisi iki boyutlu alt uzayı içinde bir grafik olarak düşünülebilir. Üçgen, belirli kapalı sistemlerdeki diğer topolojilerden daha basit ve karardır. Şekil 1'de üçgen topolojisinin pratik uygulamaları gösterilmektedir. Bu faydasından dolayı, çok sayıda disiplin tipik olarak araştırma konusunu üçgen topolojik birimlere ayırır ve tanımlama ve analiz için ilgili modeller geliştirir (S. Zhao et al., 2024).

Üçgen benzerliği geometride temel bir özelliktir. Bir çokgen, üçgenlerin birleşiminden oluşabilir ve bu da hesaplamalı geometri ve bilgisayar bilimleri için önemli bir uygulama değerine sahiptir (S. Zhao et al., 2024). Ayrıca, gerçek mühendislik uygulamalarında yükseklik veya mesafeyi ölçme zorluğu, benzer üçgenlerin kullanılmasıyla ele alınabilir. Görüntü tanımda, benzer üçgenlerin karşılık gelen köşeleri arasındaki mesafeye dayalı olarak iki özellik arasındaki korelasyon değerlendirilir. Matematikte, iki üçgen için benzer karar teoremleri Şekil 2(a)-(d) sırasıyla verilmiş olan dört farklı karar teorisinin şemasında gösterildiği gibidir.

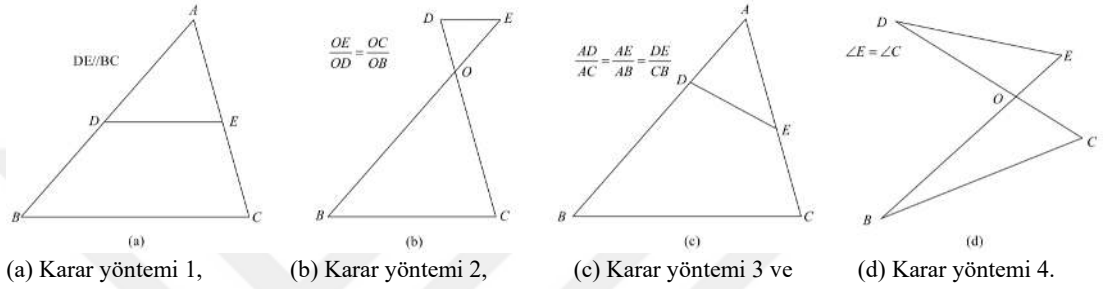
Yeni inşa edilen üçgen, orijinal üçgenin bir kenarına paralel olan bir kenara sahiptir ve bu çizginin uzantısı kalan kenarları veya uzantılarını keser, böylece orijinal üçgene benzerliği korur.

- İki üçgenin karşılık gelen kenarlarının oranları ve açıları uyumlu ise, üçgenler karşılaştırılabilir olarak sınıflandırılabilir;
- Bir üçgen, ilgili kenarlarının oranları eşdeğer ise başka bir üçgene benzerdir.
- Eğer iki üçgenin açıları eş ise, o zaman üçgenler karşılaştırılabilir.

ÜTTO algoritması benzer üçgenlere dayanmaktadır. Yinelemeli evrim süreciyle arama uzayında sürekli yeni köşeler üretilir ve bu köşeler, farklı boyutlarda benzer üçgenlerin inşasında kullanılır. ÜTTO algoritmasında her üçgen, üç köşe noktası ve bir iç rastgele nokta olmak üzere dört elemandan oluşan temel bir evrimsel birim olarak tanımlanır. Dahası toplamının özü, üstün özelliklere sahip köşeleri gruplamaktır. Özellikle, ÜTTO algoritması, farklı topolojik birimler arasında veya içinde iyi bilgiye sahip tepe noktalarını bir araya getirmek için toplama işlemini kullanır. Bu yöntemde, oluşturulan üçgenlerin eşkenar olması ve benzerlik ilişkilerinin ikinci teorem temelinde kurulması sağlanmaktadır.



Şekil 1 Üçgen topolojilerinin gerçek hayattaki uygulamaları



Şekil 2 Benzer üçgen topolojiler

3.2. Matematiksel Model

Bu alt bölümde önerilen ÜTTO algoritmasına ilişkin matematiksel model açıklanmaktadır. ÜTTO'nun optimizasyon süreci temel olarak iki aşamadan oluşmaktadır, yani farklı ve aynı birimler arasında birleştirme.

3.2.1. Başlatma

İlk olarak, ÜTTO algoritması optimizasyon sürecini başlatmak için popülasyonu başlatır. Popülasyon boyutu N ve değişken boyutu D olarak verilir. Üçgen topolojik birimdeki her bir tepe noktası bir arama ajanını temsil eder. ÜTTO algoritmasında, N birey sayısı $[N/3]$ üçgen topolojik birimlere bölünebilir, burada $[\cdot]$ aşağı yuvarlanmış olanı gösterir. Ekstra bireyler arama uzayında rastgele üretilir. Başlangıç aşamasında, $[N/3]$ ajan uygulanabilir bölgede rastgele üretilir ve her bir birey tarafından üretilen matematiksel ifade Denklem (1)'de gösterilmiştir.

$$\vec{X}_{i,1} = r_0 \times (\vec{UB} - \vec{LB}) + \vec{LB} \quad (1)$$

Burada $\vec{X}_{i,1}$ üçgen topolojik birimdeki ilk arama bireyini temsil eder ve i , 1 ile $[N/3]$ arasında pozitif bir tamsayıdır. r_0 , $[0,1]$ arasında rastgele bir sayıyı gösterir; $\vec{LB}$ ve $\vec{UB}$ değişkenlerin alt ve üst sınırlarıdır ve matematiksel ifadeleri Denklem (2)'de gösterilmiştir.

$$\vec{LB} = [lb_1, \dots, lb_D] \quad (2)$$

$$\vec{UB} = [ub_1, \dots, ub_D]$$

3.2.2. Üçgen topolojik birimlerin oluşumu

Belirli bir problemin boyutu genellikle 2'den fazla olduğundan, ÜTTO algoritmasında yalnızca her iki boyutlu yüzeyin bir eşkenar üçgen olması garanti edilir. Üçgen topolojik birimlerin oluşturulması, kutupsal koordinat ile sıradan koordinat sistemi arasındaki dönüşümü kullanır (S. Zhao et al., 2024). Küresel koordinat sisteminde ilk tepe noktası başlangıç tepe noktası olarak kullanılarak $l * \vec{f}$ uzunluğunda yeni bir yön vektörü bulunur ve ikinci tepe noktasını oluşturmak için trigonometrik fonksiyonla sıradan bir koordinat sistemine dönüştürülür.

Oluşturulan $l * \vec{f}$ uzunluğundaki yön vektörü $\pi/3$ saat yönünün tersine döndürülür ve ardından üçüncü tepe noktasını elde etmek için koordinat sistemi tarafından dönüştürülür. Bu tepe noktalarının ifadesi Denklem (3)'te gösterilmiştir.

$$\begin{aligned}\vec{X}_{i,2} &= \vec{X}_{i,1} + l * \vec{f}(0) \\ \vec{X}_{i,3} &= \vec{X}_{i,1} + l * \vec{f}\left(0 + \frac{\pi}{3}\right)\end{aligned}\quad (3)$$

Burada l , matematiksel olarak Denklem (4)'te ifade edilen üçgen topolojik birimin boyutunu temsil eder:

$$l = 9 * e^{-\frac{t}{T}} \quad (4)$$

Denklem (4)'te t mevcut iterasyon sayısını temsil etmektedir. T maksimum iterasyon sayısını gösterir. l iterasyon sayısı ile azalır. İlk aşamalarda, birim küresel aramaya odaklanmak için daha geniş bir arama aralığı oluşturabilir. Daha sonraki aşamalarda toplandıktan sonra umut verici bir yönde derinlemesine gelişir. Üçgen topolojik birimin sonraki iterasyonlarda hala üretilebilmesini sağlamak için l 0'a düşmeyecektir. Bu arada, bu kurulum aşırı sömürünün yerel bir ekstremumda sıkışıp kalmasını önler $\vec{f}(\vec{\theta})$ ve $\vec{f}\left(0 + \frac{\pi}{3}\right)$ ilk nokta tarafından yönlendirilen diğer iki kenarın yön vektörlerini temsil etmektedir. Bu durum Denklem (5) ile hesaplanır.

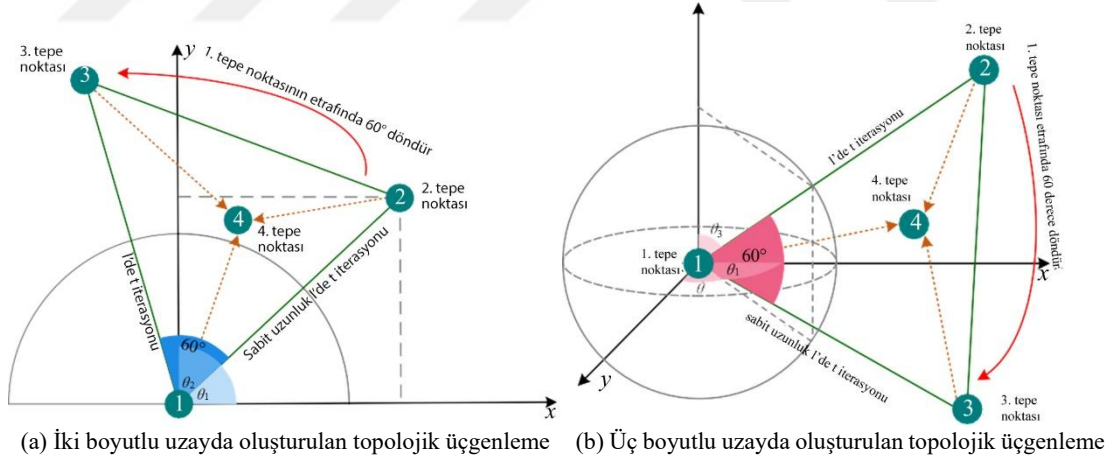
$$\begin{aligned}\vec{f}(\vec{\theta}) &= [\cos \theta_1, \cos \theta_2, \dots, \cos \theta_{D-1}, \cos \theta_D] \\ \vec{f}\left(\vec{\theta} + \frac{\pi}{3}\right) &= \left[\cos\left(\theta_1 + \frac{\pi}{3}\right), \dots, \cos\left(\theta_{D-1} + \frac{\pi}{3}\right), \cos\left(\theta_D + \frac{\pi}{3}\right)\right]\end{aligned}\quad (5)$$

Burada $\vec{\theta} = [\theta_1, \dots, \theta_D]$ ve $\theta_j (j = 1, \dots, D)$ $[0, \pi]$ arasında rasgele sayılardır. Her bir üçgen topolojik birim grubu dahili olarak dördüncü bir tepe noktasında toplanır. Bu nokta, bireysel bilgileri kullanmak için doğrusal olarak ağırlıklandırılmış bir şekilde oluşturulur. Dördüncü tepe noktası Denklem(6)'da gösterilmiştir.

$$\vec{X}_{i,4} = r_1 * \vec{X}_{i,1} + r_2 * \vec{X}_{i,2} + r_3 * \vec{X}_{i,3} \quad (6)$$

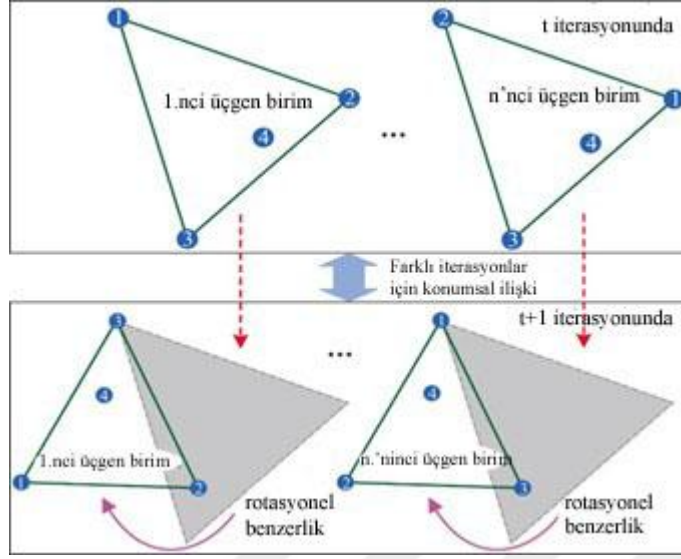
Burada r_1 , r_2 ve r_3 $[0, 1]$ arasında rastgele sayılardır ve $r_1 + r_2 + r_3 = 1$ 'dir. Böylece, dördüncü arama ajanı her üçgen topolojik birimin içinde yer alır.

Her iterasyonun başında, yeni benzer üçgen topolojik birim bir tepe noktasından ve aynı uzunluktaki iki kenardan elde edilir. Ve kenar uzunluğu iterasyonlar sırasında dinamik olarak değişir. Her birimdeki en iyi tepe noktası, her iterasyonda her birim için diğer bireylerin evrimine rehberlik eden lider tepe noktası olarak düşünülebilir. Ayrıca, diğer tepe noktaları en iyi tepe noktasına göre oluşturulur. Şekil 3 (a) ve (b) 2 ve 3 boyutlu uzayda üçgen topolojik birimlerin oluşturulmasını göstermektedir. Şekil 3 (a)'da her birim için ilk (en iyi) tepe noktası yer almaktadır. Bir kutupsal koordinat ile sıradan bir koordinat sistemi arasında dönüşümler meydana gelir. Sabit bir l uzunluğuna sahip rastgele yön vektörü $[\theta_1, \theta_2]$ oluşturulur ve açıları vurgulamak için farklı renkler kullanılır. Daha sonra, ikinci tepe noktası trigonometrik fonksiyon ile normal koordinat sistemine dönüştürülür. Birinci tepe noktası ve ikinci tepe noktasından oluşan sabit uzunluktaki vektör 60° döndürülür, yani $l * [\theta_1 + \pi/3, \theta_2 + \pi/3]$ ve üçüncü tepe noktasını elde etmek için sıradan bir koordinat sistemine dönüştürülür. Koordinat sisteminin standart koordinat sistemi olması gerektiğini ve bu nedenle θ 'nın keyfi olarak üretildiğini ve sadece cos fonksiyonu tarafından düzenlendiğini belirtmek gerekir. İlk üç tepe noktası dördüncü tepe noktasını oluşturmak için doğrusal olarak ağırlıklandırılır. 3 boyutlu uzay için, kutupsal koordinattaki $l * [\theta_1, \theta_2, \theta_3]$ ve $l * [\theta_1 + \pi/3, \theta_2 + \pi/3, \theta_3 + \pi/3]$ vektörleri ikinci tepe noktasını ve üçüncü tepe noktasını elde etmek için sıradan bir koordinat sistemine dönüştürülür. Şekil 3 (b) üçgen birimi x - z düzlemleri ile göstermektedir.



Şekil 3 2 ve 3 boyutlu uzayda oluşturulan üçgen topolojik birimlerin şematik diyagramı.

Şekil 4, 2 boyutlu uzay için benzer birimin aynı ve farklı periyotlardaki durumlarını açıklamaktadır. θ 'nın rastgeleliğinden dolayı, t zamanındaki her üçgen topolojik birim aynı boyut ve yönü, yani uyumu gösterir. Farklı zamanlar için, üçgen topoloji biriminin yönü rotasyondan sonra tutarlıdır. Eğer t zamanının üçgen birimi $t + 1$ zamanının üçgen birimindeki bir tepe noktasına aktarılırsa, bu ikisi rotasyonel olarak benzerdir. Daha sonra, her bir grup içindeki veya farklı üçgen topolojik birim grupları arasındaki bireyler, küresel arama ve yerel madenciliği gerçekleştirmek için bilgi alışverişinde bulunabilir.



Şekil 4 Üçgen topoloji biriminin 2 boyutlu uzaydaki durumları.

Daha sonra, her bir grup içindeki veya farklı üçgen topolojik birim grupları arasındaki bireyler, küresel arama ve yerel arama gerçekleştirmek için bilgi alışverişinde bulunabilirler.

3.2.3. Genel toplama

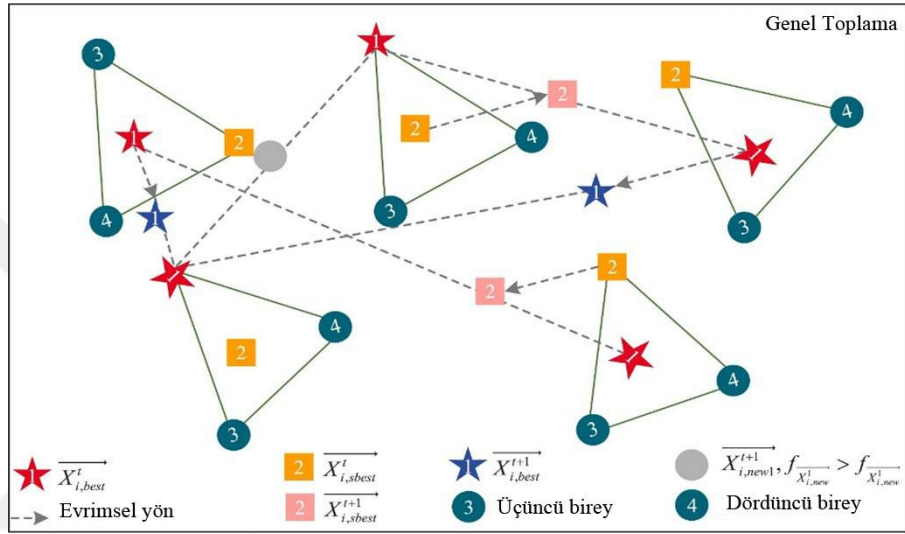
Genel toplama, keşif aşamasına vurgu yapar. Bu aşamada, farklı üçgen birimlerdeki iyi bireylerin bilgileri toplanır ve yeni uygulanabilir çözümler oluşturulur. Bilgi etkileşimi, her bir üçgen topolojik birimdeki en iyi birey ile rastgele seçilen herhangi bir birim kümesindeki en iyi birey arasında gerçekleşir. Genetik algoritmadaki gen çaprazlamasından esinlenerek (S. Zhao et al., 2024), bir bilgi etkileşim mekanizması özelleştirilmiştir. İki pozitif bireyin her bir boyut değişkeni arasında farklı ağırlıkların doğrusal bir kombinasyonu vardır. Yeni birey, matematiksel olarak şu şekilde ifade edilen daha iyi iki köşe bağlantısında üretilir.

$$\overrightarrow{X_{i,new1}^{t+1}} = r_4 * \overrightarrow{X_{i,best}^t} + (1 - r_4) * \overrightarrow{X_{rand,best}^t} \quad (7)$$

Burada r_4 $[0, 1]$ arasında rastgele bir sayıdır. $\overrightarrow{X_{i,best}^t}$ ve $\overrightarrow{X_{rand,best}^t}$, i birimi için en iyi bireyi ve t'inci iterasyonda rastgele seçilen bir birimi gösterir. Ayrıca, $\overrightarrow{X_{i,new1}^{t+1}}$ 'in uygunluk değeri optimal veya suboptimal arama ajanı ile karşılaştırılır ve optimal ajan güncellenir. Bir minimizasyon problemi varsayıldığında, $(t + 1)$ 'inci iterasyonda güncellenen optimal ve suboptimal bireylerin matematiksel ifadeleri şöyledir:

$$\begin{cases} \overrightarrow{X_{i,best}^{t+1}} = \overrightarrow{X_{i,new1}^{t+1}} & f_{\overrightarrow{X_{i,new1}^{t+1}}} < f_{\overrightarrow{X_{i,best}^t}} \\ \overrightarrow{X_{i,sbest}^{t+1}} = \overrightarrow{X_{i,new1}^{t+1}} & f_{\overrightarrow{X_{i,new1}^{t+1}}} < f_{\overrightarrow{X_{i,sbest}^t}} \end{cases} \quad (8)$$

Burada $\overrightarrow{X_{i,best}^t}$, i 'nci iterasyondaki alt optimal bireyi temsil eder. $f(.)$ Verilen problemin bir fonksiyonudur. Şekil 5'te optimal ajan ve suboptimal ajanın güncelleme detayları açıklanmaktadır. Bir birimdeki her bir tepe noktasının sayısı, uygunluk değerinin sıralamasını temsil eder. Üç farklı hareket yolu dahil edilmiştir. Birincisi, çaprazlanan bireylerin orijinal pozisyonundan daha iyi olduğu durumlardır; örneğin, sol üst birim ve sol alt birim, sağ üst birim ve sol alt birim. İkincisi ise, çaprazlanmış bireyin örneğin üstteki ikinci birim ile üstteki sağ birimi, üstteki sol birim ile alttaki sağ birimi. Yukarıdaki sol alttaki ikinci birim, çaprazlamadan sonraki en kötü bireyi temsil etmektedir. Gruplar arasındaki bilgi alışverişi, popülasyon çeşitliliğini artırmaya ve bireylerin yeterince keşfetmesine yardımcı olur.



Şekil 5 Çoklu üçgen topolojik birimlerin genel toplanması

3.2.4. Yerel toplama

Yerel birleştirme esas olarak kullanım aşamasını vurgular. Bu aşamada, üçgen topolojik birimler içsel olarak toplanır. Bir önceki aşamadan sonra, güncellenmiş optimal veya suboptimal bireyler ile gruptaki iyi uygunluk değerlerine sahip iki tepe noktası arasında geçici olarak üçgen bir topoloji oluşturulmuştur. Bu durumda, topolojinin eşkenar üçgen olması gerekmez. Optimal bireyin konumu, optimal ve suboptimal bireylerin oluşturduğu hareket vektörü farkına dayalı olarak yerel bir bölge tarafından (hem yön hem de adım boyutu açısından) değiştirilir. Böylece her bir grup, her bir topolojik üçgen biriminin kullanımını gerçekleştirmek için belirli bir yerel alanda yeniden aranır. Yeni tepe noktası şu şekilde hesaplanır:

$$\overrightarrow{X_{i,new2}^{t+1}} = \overrightarrow{X_{i,best}^{t+1}} + \alpha * (\overrightarrow{X_{i,best}^{t+1}} - \overrightarrow{X_{i,sbest}^{t+1}}) \quad (9)$$

Burada α azalan bir değerdir ve toplama kapsamının boyutunu ayarlar. α şu şekilde hesaplanmaktadır:

$$\alpha = \ln \left(\frac{e-e^3}{T-1} + e^3 - \frac{e-e^3}{T-1} \right) \quad (10)$$

$$\overrightarrow{X_{i,best}^{t+1}} = \begin{cases} \overrightarrow{X_{i,new2}^{t+1}} & f_{\overrightarrow{X_{i,new2}^{t+1}}} < f_{\overrightarrow{X_{i,best}^{t+1}}} \\ \overrightarrow{X_{i,best}^{t+1}} & \text{aksi takdirde} \end{cases} \quad (11)$$

Yerel toplama

$\star \xrightarrow{\overline{X} \text{ val} / \text{ilbest}}$
 geçici üçgen topolojik birim
 $\triangle \xrightarrow{\overline{X} \text{ val} / \text{ilbest}}$
 yeni üçgen topolojik birim
 3. birey
 yeni ilk birey
 yeni diğer birey
 ---> evrimsel yön

birimler, genel toplama ve yerel toplama. Algoritma 1, ÜTTO algoritmasının sözde kodudur.

Algoritma 1: ÜTTO algoritmasının sözde kodu

Girdi: Popülasyon boyutu N , maksimum iterasyon sayısı T ve değişken boyutu D

Çıktı: Optimum pozisyon $\overrightarrow{X_{best}}$ ve uygunluk değeri f_{best}

1: Üçgen popülasyonunu başlatın

2: **While** ($t < T$) **do**

 /*Üçgen topolojik birimlerin oluşumu*/

3: Denklem (3) ve (6)'yı kullanarak diğer üç pozisyonu oluşturun

4: Her bir üçgen topolojik birim grubundaki pozisyonları uygunluk değerlerine göre sıralayın.

 /*Genel Toplama*/

5: Denklem (7)'yi kullanarak konumları güncelleyin

6: **if** $f_{\overrightarrow{X_{i,new1}^{t+1}}} < f_{\overrightarrow{X_{i,best}^t}}$ **do**

7: $\overrightarrow{X_{i,best}^{t+1}} = \overrightarrow{X_{i,new1}^{t+1}}$

8: **elseif** $f_{\overrightarrow{X_{i,new1}^{t+1}}} < f_{\overrightarrow{X_{i,sbest}^t}}$ **do**

9: $\overrightarrow{X_{i,sbest}^{t+1}} = \overrightarrow{X_{i,new1}^{t+1}}$

10: **endif**

 /*Yerel Toplama*/

11: Denklem (9)'u kullanarak konumları güncelleyin

12: **if** $f_{\overrightarrow{X_{i,new2}^{t+1}}} < f_{\overrightarrow{X_{i,best}^{t+1}}}$ **do**

13: $\overrightarrow{X_{i,best}^{t+1}} = \overrightarrow{X_{i,new2}^{t+1}}$

14: **endif**

15: Uygunluk değerlerine göre optimum popülasyon konumu X_{best} 'i seçin.

16: **end while**

17: **Return** $\overrightarrow{X_{best}}$ and f_{best}

3.3.Hesaplama karmaşıklığı

Bir meta-sezgisel algoritmanın hesaplama karmaşıklığı, popülasyon boyutu N , boyut D ve maksimum iterasyon süreleri T ile bağlantılıdır. ÜTTO algoritmasının optimize edilecek çok az parametresi vardır. Bu nedenle, ÜTTO algoritmasının hesaplama karmaşıklığını analiz etmek için maksimum sıra kuralı kullanılmıştır. Bu kural, formüldeki sabit ve düşük mertebeyi göz ardı etmekte ve yalnızca en büyük mertebenin büyüklüğünü hesaplamaktadır.

(1) Zaman karmaşıklığı

ÜTTO algoritmasının zaman karmaşıklığı fonksiyon sayısı dikkate alınarak analiz edilmiştir. Popülasyonu başlatmak $O(N \times D)$ zaman alır. Her bir iterasyonda, üçgen

topolojik konumu güncellemek $O(N \times D)$ zamana ve popülasyonu değerlendirmek $O(N)$ zamana mal olur. İterasyonların $O(T)$ zaman harcaması gerekir. Özetle, ÜTTO algoritmasının zaman karmaşıklığı $O(N \times D \times T)$ 'dir.

(2) Uzay karmaşıklığı

Tüm üçgen topolojik birimler inşa edildiğinde, $O(N \times D)$ alanı işgal edilir. Tüm iterasyonlar sırasında, optimum bireyi kaydetmek için $O(D \times T)$ alan gerekir. Sonuç olarak, ÜTTO algoritmasının uzay karmaşıklığı $\max\{O(D \times T), O(N \times D)\}$ 'dir.

4. Kaotik Haritalar

Kaotik haritalar, deterministik yani rastgelelik içermeyen bir kural tarafından belirlenen yapıda olan ve iteratif şekilde tanımlanan matematiksel fonksiyonlardır. Bu fonksiyonlar, başlangıçtaki koşullara son derece duyarlı bir davranış sergileyerek rastgele görünümlü diziler üretirler (Strogatz, 2015).

Kaos teorisinin klasik ölçütlerine göre bir sistemin kaotik olması, başlangıç koşullarına hassas bağımlılık, ergodiklik ve yarı stokastik olma gibi özellikleri içerir (Devaney & and Wiggins, 1987). Bu özellikler, kaotik haritaların davranışının uzun vadede öngörülemez olmasına rağmen tamamen deterministik olduğu anlamına gelir. Tıp, mühendislik, ekoloji ve ekonomi uygulamaları da dahil olmak üzere çeşitli alanlardaki araştırmacılar kaotik süreçler üzerine araştırmalar yürütmektedir. Ayrıca, optimizasyon algoritmalarının performansını artırmak için de sıkça tercih edilmektedir (Altay, 2022).

Kaotik haritaların meta-sezgisel optimizasyon algoritmalarında kullanılmasının başlıca nedeni, bu haritaların rastgelelik ile ergodiklik özelliklerini benzersiz bir şekilde bir araya getirmesidir (Limane et al., 2025). Bununla birlikte, kaos teorisi meta-sezgisel algoritmaların performansını artırmada güçlü bir araç haline gelmiştir. Özellikle optimizasyon problemlerinde arama sürecinin etkinliği, çözüm uzayının keşfi (exploration) ve mevcut iyi çözümlerin kullanımı (exploitation) arasındaki dengeli etkileşime bağlıdır. Kaotik diziler, deterministik kurallarla üretilen ancak rastgele dağılıyormuş gibi görünen değerler sundukları için, arama sürecine kontrollü bir rastgelelik katarlar. Bu kontrollü rastgelelik sayesinde algoritmaların arama davranışı zenginleşir ve yerel optimumlara takılıp kalma sorununu minimize edebilir (Limane et al., 2025).

Sürü zekası algoritmalarının zorlu optimizasyon sorunlarının üstesinden gelme konusunda etkinliği kanıtlanmıştır. Bu algoritmaların daha da geliştirilmesi gerekliliği sıklıkla tartışılan bilimsel bir konu haline gelmiştir (Altay & Altay, 2023). Meta-sezgisel algoritmalarda kaotik haritaların kullanım yöntemlerinden biri, algoritmanın rastgele sayı üreten unsurlarını (örneğin, Parçacık Sürüsü Optimizasyonu (PSO) algoritmasındaki rastgele hız faktörleri veya Genetik Algoritma'daki mutasyon adımı) kaotik bir dizi ile değiştirmektir (Tang et al., 2018). Örneğin, PSO algoritmasında rastgele sayılar yerine lojistik haritadan elde edilen kaotik sayılar kullanıldığında,

parçacıkların hareketinde kaotik bir dalgalanma sağlanmış olur ve bu yöntem sınıflandırma problemlerinde başarıyla uygulanmıştır (Assarzadeh & Naghsh-Nilchi, 2015).

Kaotik harita uygulamalarının, birçok farklı araştırmada optimizasyon tekniklerinin stokastik yapısını geliştirmede başarılı olduğu kanıtlanmıştır. Bu çalışmada standart ÜTTO'nun küresel yakınsama durumu on ayrı kaotik haritanın kullanılmasıyla hızlandırılmış ve bu da standart ÜTTO'nun yerel çözümlere takılıp kalmasını engellemiştir. Lojistik, daire, gauss, sinüs, singer, parçalı, yinelemeli, çadır ve sinüzoidal haritalar dahil olmak üzere kullanılan birçok kaotik harita türü vardır. Tablo 1, bu kaotik haritalarla bağlantılı değişkenleri ve denklemlerin bir açıklamasını sunmaktadır.

Tablo 1 Kaotik haritaların isimleri ve denklemleri

No	Adı	Kaotik Harita Formülü
1	Çebişev	$X_{n+1} = \cos(k \cos^{-1} x_n)$
2	Daire	$X_{n+1} = X_n + b - \left(\frac{a}{2\pi}\right) \sin(2\pi X_n) \bmod(1)$ $a = 0.5$ and $b = 0.2$
3	Gauss	$X_n = \begin{cases} 0, & X_n = 0 \\ 1, & X_n \in (0,1) \end{cases}, \quad \frac{1}{X_n \bmod(1)} = \frac{1}{X_n} - \frac{1}{X_n}$
4	İteratif	$X_{n+1} = \sin\left(\frac{a\pi}{x_n}\right), a = 0.7$
5	Lojistik	$X_{n+1} = aX_n(1 - X_n), a = 4$
6	Parçalı	$X_{n+1} = \begin{cases} \frac{x_n}{P}, & 0 \leq x_n < P \\ \frac{x_n - P}{0.5 - P}, & P \leq x_n < 0.5 \\ \frac{1 - P - x_n}{0.5 - P}, & 0.5 \leq x_n < 1 - P \\ \frac{1 - x_n}{P}, & 1 - P \leq x_n < 1 \end{cases}, P = 0.4$
7	Sinüs	$X_{n+1} = \frac{a}{4} \sin(\pi x_n), 0 < a \leq 4$
8	Singer	$X_{n+1} = \mu(7.86x_n - 23.31x_n^2 + 28.75x_n^3 - 13.302875x_n^4), \mu = 1.07$
9	Sinüzoidal	$X_{n+1} = ax_n^2 \sin(\pi X_n), a = 2.3$ and $X_0 = 0.7$
10	Çadır	$f(x) = \begin{cases} X_n / 0.7, & X_n < 0 \\ 10 / 3 X_n(1 - X_n), & otherwise \end{cases}$

4.1.Kaotik ÜTTO Algoritması

Meta-sezgisel optimizasyon algoritmaları erken yakınsama ve popülasyon çeşitliliğinden olumsuz yönde etkilenmektedir. Ayrıca, başarılı bir çözüm elde edebilmek için bu algoritmaların keşif (exploration) ve sömürü (exploitation) arasında

uygun bir denge kurması gerekmektedir. Böylece kaotik haritalar ile iyileştirilen meta-sezgisel optimizasyon yöntemlerinin hem arama hassasiyeti hem de yakınsama hızı arttırılabilmektedir. Meta-sezgisel optimizasyon yöntemlerinin büyük bir çoğunluğu, keşif ve sömürü olmak üzere iki temel aşamadan oluşmaktadır. Keşif aşaması, yöntemin yerel optimumda takılı kalıp kalmadığına bakılmaksızın arama alanını olabildiğince geniş tutmayı amaçlar. Sömürü aşamasında ise yöntem, en umut verici alanı bularak arama uzayının mümkün olan en iyi çözümünü bulmayı amaçlar. ÜTTO algoritmasında kaotik haritaların kullanım amaçları arasında arama sürecinde kontrollü çeşitliliği arttırmak, ergodik davranışı teşvik etmek, yerel minimumlardan kaçınmak, keşif-sömürü dengesini daha dengeli hale getirmek yer alır. Örneğin rastgele ağırlıkların kullanımı yer yer popülasyonu dar alanlarda sıkıştırabilir. Bunun yerine kaotik ağırlıkların kullanılması tahmin edilmesi zor ve sürekli değişen bir yapı kazandırarak yöntemin yerel minimumda sıkışma olasılığını azaltır.

2024 yılında önerilmiş olan ÜTTO algoritması literatürde farklı uygulamalarda başarı ile uygulanmış olsa da önceki bölümde bahsedilen gibi bazı dezavantajlara sahiptir. Bu nedenle ÜTTO algoritmasının arama uzayını geliştirmek için literatürde kabul görmüş olan kaotik haritalar bu yönteme eklenerek arama uzayı daha güçlü ve etkili hale getirilmiştir. İşleyiş mekanizması açık olan ÜTTO algoritması keşif aşaması için Denklem (6), sömürü aşaması için Denklem (9), Keşif ve sömürü aşamaları arasında kontrollü yeni birey oluşturma aşaması için Denklem (7) kullanılmaktadır. Denklem(6)'da kullanılan r_1 , r_2 , r_3 ($1-r_1-r_2$) ve Denklem (7) de kullanılan r_4 rastgele ağırlıklandırma değişkenleridir. Bu çalışmada sırası ile r_1 , r_2 , r_1 ve r_2 , r_4 değişkenlerine Tablo 1'de listelenen çeşitli matematiksel modelleri kapsayan kaotik haritalar uygulanmıştır. Kaotik harita uygulanan bu matematiksel denklemler aşağıda listelenmiştir.

$$\bullet \quad \overrightarrow{X_{i,4}} = KHD * \overrightarrow{X_{i,1}} + r_2 * \overrightarrow{X_{i,2}} + r_3 * \overrightarrow{X_{i,3}} \quad (12)$$

İlk olarak Denklem (6)'da yer alan rastgele ağırlıklandırma noktası r_1 değeri yerine KHD yani sıralı olarak üretilen kaotik harita değeri kullanılmaktadır. Bu değişimle oluşturulan yeni birey pozisyonu Denklem (12) ile tanımlanır.

$$\bullet \quad \overrightarrow{X_{i,4}} = r_1 * \overrightarrow{X_{i,1}} + KHD * \overrightarrow{X_{i,2}} + r_3 * \overrightarrow{X_{i,3}} \quad (13)$$

İkinci olarak Denklem (6)'da yer alan diğer bir rastgele ağırlıklandırma noktası r_2 değeri yerine KHD kullanılmaktadır. Bu değişimle oluşturulan yeni birey pozisyonu Denklem (13) ile tanımlanır.

$$\bullet \quad \overrightarrow{X_{i,4}} = KHD * \overrightarrow{X_{i,1}} + KHD * \overrightarrow{X_{i,2}} + r_3 * \overrightarrow{X_{i,3}} \quad (14)$$

Üçüncü olarak Denklem (6)'da yer alan r_1 ve r_2 değerleri yerine birlikte uygulanan kaotik haritalar, toplamda 10 dış döngü $\times$ 10 iç döngü = 100 farklı kaotik kombinasyonun denkleme entegre edilmesini sağlar. Bu durumda sadece küresel yakınsama hızını arttırmada değil, aynı zamanda kaotik harita çeşitliliğine dayalı çok yönlü bir parametre aralığı elde edilmiş olur. Uygulanan bu yaklaşım , çözüm uzayının

daha ayrıntılı taranmasını sağlamaktadır. . Bu değişimle oluşturulan yeni birey pozisyonu Denklem (14) ile tanımlanır.

$$\bullet \quad \overrightarrow{X_{i,new1}^{t+1}} = KHD * \overrightarrow{X_{i,best}^t} + (1 - KHD) * \overrightarrow{X_{rand,best}^t} \quad (15)$$

Son olarak Denklem (7)'de yer alan rastgele ağırlıklandırma notası r_4 değeri yerine yine KHD kullanılmaktadır. Bu değişimle oluşturulan yeni birey pozisyonu Denklem (15) ile tanımlanır.

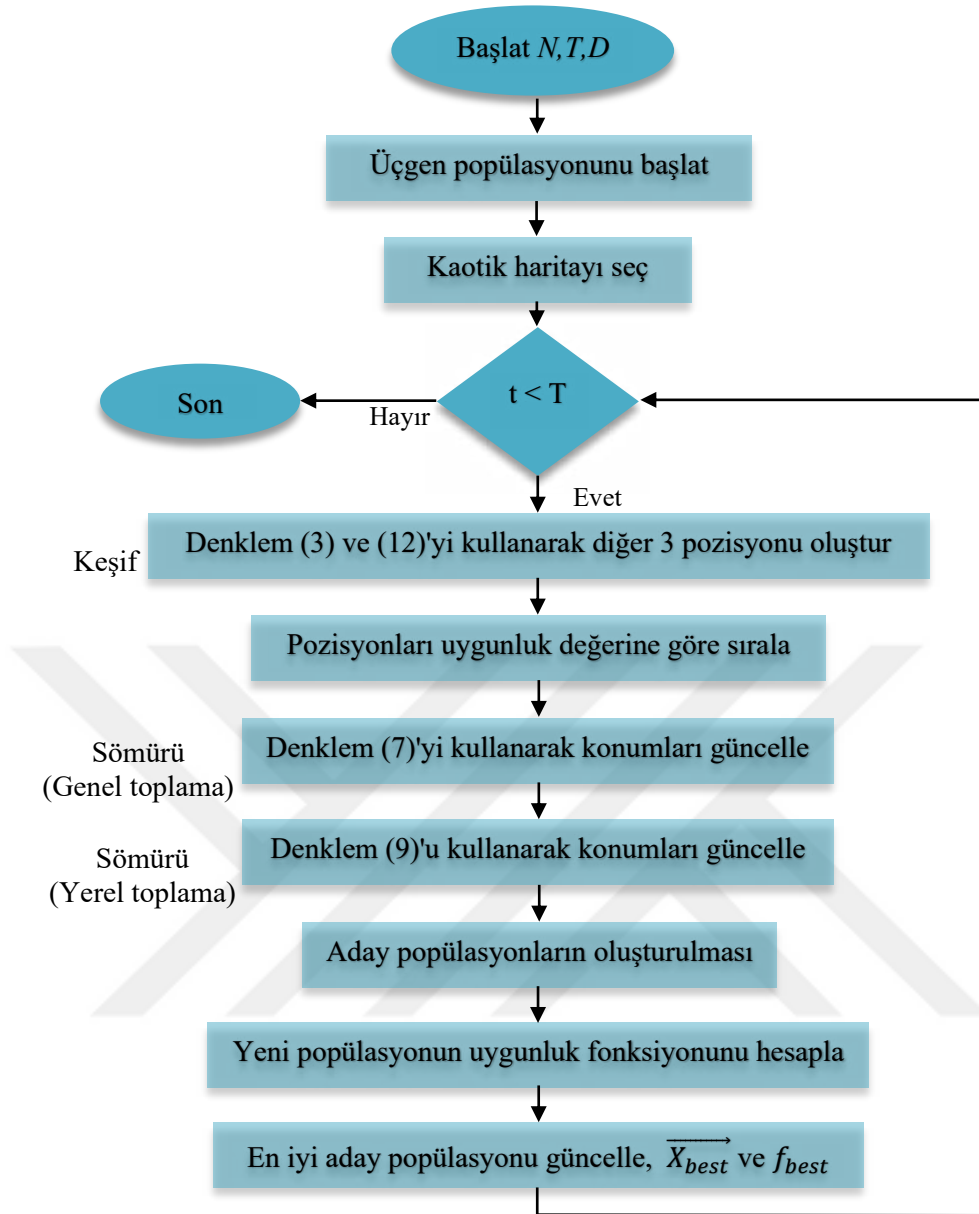
Önerilen yöntemler r_1 değeri için, uygulamada 10 farklı kaotik haritanın kullanılmasıyla çebişev haritası (KÜTTO1-1), daire haritası (KÜTTO1-2), gauss haritası (KÜTTO1-3), iteratif harita (KÜTTO1-4), lojistik harita (KÜTTO1-5), parçalı harita (KÜTTO1-6), sinüs haritası (KÜTTO1-7), singer haritası (KÜTTO1-8), sinüzoidal harita (KÜTTO1-9), çadır haritası (KÜTTO1- 10) olarak isimlendirilmiştir.

r_2 değeri için, uygulamada çebişev haritası (KÜTTO2-1), daire haritası (KÜTTO2-2), Gauss haritası (KÜTTO2-3), iteratif harita (KÜTTO2-4), lojistik harita (KÜTTO2-5), parçalı harita (KÜTTO2-6), sinüs haritası (KÜTTO2-7), singer haritası (KÜTTO2-8), sinüzoidal harita (KÜTTO2-9), çadır haritası (KÜTTO2- 10) olarak isimlendirilmiştir.

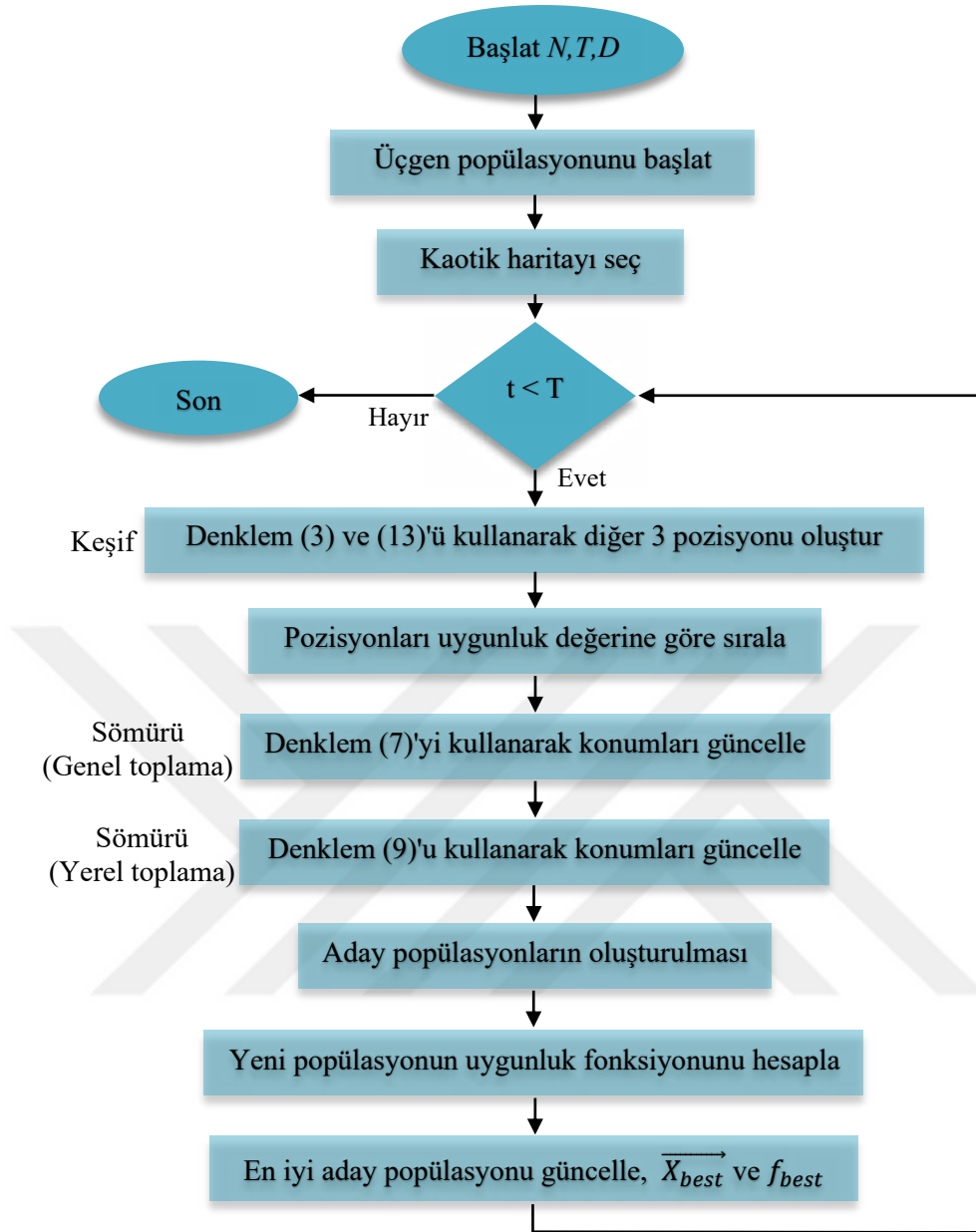
r_1 ve r_2 değerleri için, uygulamada çebişev haritası (KÜTTO3-1), daire haritası (KÜTTO3-2), gauss haritası (KÜTTO3-3), iteratif harita (KÜTTO3-4), lojistik harita (KÜTTO3-5), parçalı harita (KÜTTO3-6), sinüs haritası (KÜTTO3-7), singer haritası (KÜTTO3-8), sinüzoidal harita (KÜTTO3-9), çadır haritası (KÜTTO3- 10) olarak isimlendirilmiştir.

r_4 değeri için, uygulamada çebişev haritası (KÜTTO4-1), daire haritası (KÜTTO4-2), Gauss haritası (KÜTTO4-3), iteratif harita (KÜTTO4-4), lojistik harita (KÜTTO4-5), parçalı harita (KÜTTO4-6), sinüs haritası (KÜTTO4-7), singer haritası (KÜTTO4-8), sinüzoidal harita (KÜTTO4-9), çadır haritası (KÜTTO4- 10) olarak, isimlendirilmiştir. Tüm yöntemlere ait akış şemaları Şekil 7, 8, 9, 10'da verilmiştir.

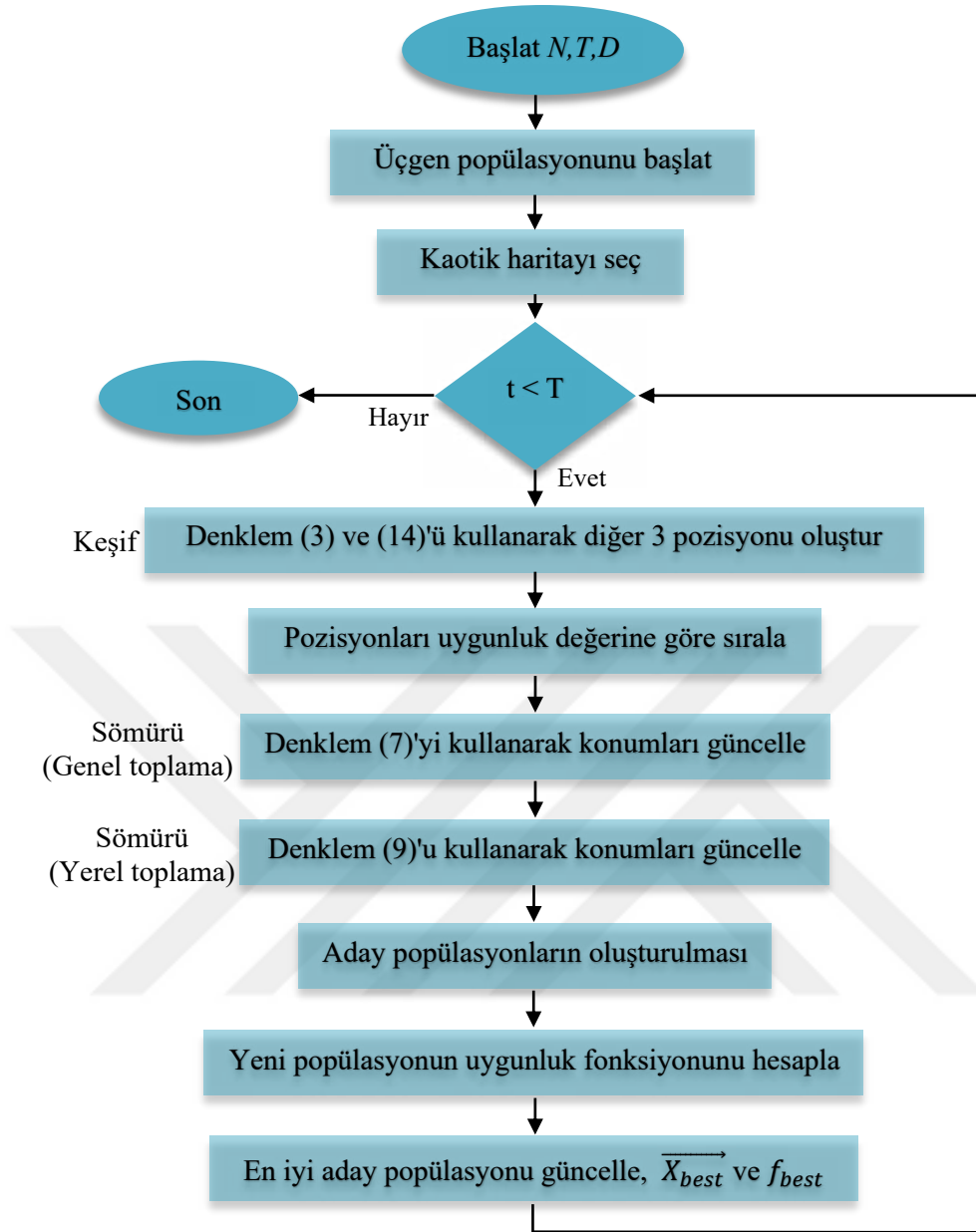
Ayrıca önerilen KÜTTO algoritmanın zaman karmaşıklığı Big-O notasyonu kullanılarak açıklanabilir. KÜTTO algoritması için aşamalar, N adet bireyden oluşan popülasyonun (üçgen topolojik birimlerin) üretilmesiyle başlar. Burada her birey D boyutlu arama uzayında tanımlanır. Bu işlem algoritma boyunca bir kez yapıldığından sabit maliyetlidir. Bu adım $O(N \cdot D)$ ile gösterilir. Ana döngü olan while döngüsü ile her bir iterasyonda kaotik değerlerle üç yeni pozisyonun oluşturulması $O(N \cdot D)$ karmaşıklığında, bu oluşan bireylerin uygunluk analizi $O(N)$ karmaşıklığındadır. Sonrasında en iyi bireylerin sıralama işlemi ile seçilmesi de $O(N)$, genel ve yerel toplama işlemlerinin her biri $O(N \cdot D)$ karmaşıklığında gerçekleşir. Son olarak eksik bireylerin tamamlanması işlemleri de $O(N \cdot D)$ ile ifade edilir. Bütün bu adımlar maksimum iterasyon olan T sayısınca tekrar edildiği için KÜTTO algoritmasının zaman karmaşıklığı $O(N \cdot D \cdot T)$ olarak ifade edilir.



Şekil 7 KÜTTO1'in akış şeması



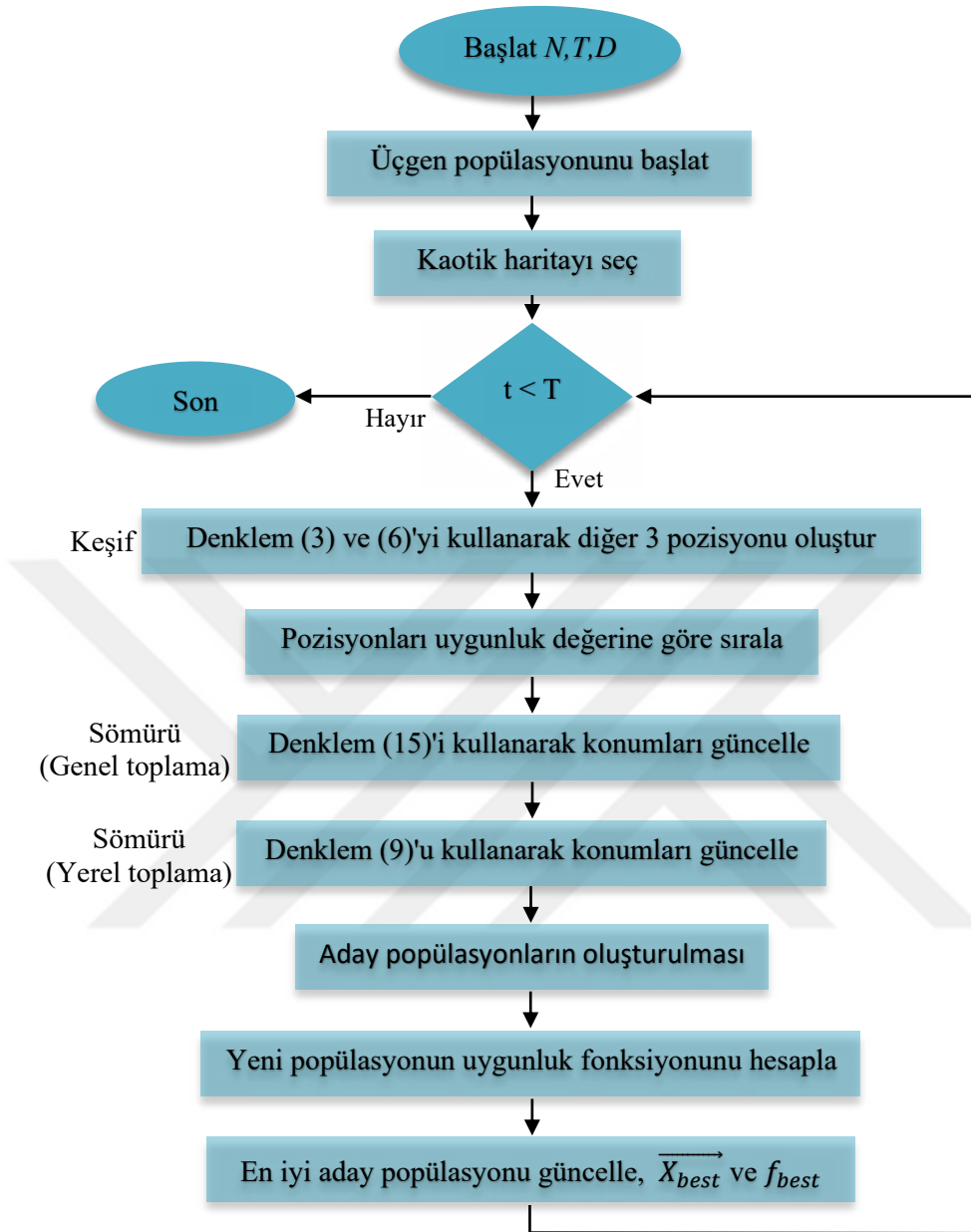
Şekil 8 KÜTTO2'nin akış şeması



Şekil 9 KÜTTO3'ün akış şeması

5. Deney Sonuçları

Tüm deneyler bir PC (AMD Ryzen 7 8845HS w/Radeon 780M Graphics (16 CPUs) 3.80 GHz CPU, 32 GB, Windows 11-64 bit) üzerinde MATLAB R2024b sürümü üzerinde yürütülmüştür. Eşit koşullarda adil bir değerlendirme olması için önerilen tüm kaotik yöntemler orijinal yöntem ile birlikte tüm deneylerde 30 kez çalıştırılmış, iterasyon sayısı 1000, popülasyon sayısı 60 olarak belirlenmiştir. Performans ölçütü olarak ortalama başarı (Ortalama), en iyi değer (En iyi), standart sapma (STD) ve friedman sıralama puanı (FMR) kullanılmıştır. Bu kriterler ile algoritmanın, çözüm başarısı, kararlılığı ve istikrarı ayrıntılı olarak analiz edilmiştir. Yapılan tüm deneylerden bu özelliklerle sonuç alınmıştır.



Şekil 10 KÜTTO4'ün akış şeması

5.1.Klasik Benchmark Fonksiyonu

Bu bölümde orijinal ÜTTO algoritması ile farklı kaotik haritaların entegre edildiği on farklı KÜTTO versiyonunun, 23 adet klasik benchmark fonksiyonu üzerindeki performansı değerlendirilmiştir. Bu fonksiyonlar yöntemin hızı, kararlılığı ve doğruluğunu test etmek amacıyla farklı zorluk seviyelerini temsil eden standart optimizasyon problemlerinden oluşmaktadır. Bu test problemleri kümesi tek modlu, çok modlu ve yüksek boyutlu problem türlerini kapsamaktadır ve algoritmaların kontrollü ortamlarda test edilebilmesi için ortak bir zemin sunmaktadır. Her bir rastgele ağırlıklandırma noktası (r_1 , r_2 , r_1 ve r_2 , r_4) için uygulama ile elde edilen sonuçlar Tablo 2, 3, 4, 5'te, yakınsama eğrisi grafikleri Şekil 12, 14, 16, 18'de, kutu grafikleri Şekil 11, 13, 15, 17'de verilmiştir.

Tablo 2 KÜTTO1 klasik benchmark fonksiyonları deney sonuçları

Algoritma	En iyi	Ortalama	STD	FMR	Algoritma	En iyi	Ortalama	STD	FMR
F1					F2				
ÜTTO	4,65E-03	5,80E+00	1,93E+01	4,20	ÜTTO	1,96E+00	2,62E+02	4,77E+02	5,60
KÜTTO1-1	1,02E-02	5,79E+00	1,26E+01	4,97	KÜTTO1-1	5,25E-01	3,42E+02	8,88E+02	5,10
KÜTTO1-2	4,72E-02	7,94E+01	2,74E+02	6,70	KÜTTO1-2	6,90E-01	1,59E+03	4,03E+03	6,17
KÜTTO1-3	2,51E-01	1,28E+02	3,48E+02	8,53	KÜTTO1-3	1,94E+00	2,11E+03	4,15E+03	7,03
KÜTTO1-4	2,44E-02	1,18E+02	5,64E+02	6,00	KÜTTO1-4	6,74E-01	9,86E+02	2,50E+03	6,10
KÜTTO1-5	4,83E-02	4,83E+01	2,46E+02	5,70	KÜTTO1-5	1,99E+00	6,12E+02	1,61E+03	6,10
KÜTTO1-6	8,99E-03	1,36E+02	4,82E+02	5,60	KÜTTO1-6	8,87E-01	2,02E+03	6,87E+03	5,67
KÜTTO1-7	9,28E-03	3,20E+01	1,23E+02	5,30	KÜTTO1-7	4,55E-01	1,47E+03	3,34E+03	6,20
KÜTTO1-8	1,91E-02	1,11E+01	4,01E+01	4,93	KÜTTO1-8	1,11E+00	1,03E+03	2,28E+03	6,37
KÜTTO1-9	5,76E-02	2,00E+03	1,01E+04	8,37	KÜTTO1-9	2,88E+00	1,26E+03	3,25E+03	5,93
KÜTTO1-10	1,77E-02	1,32E+02	5,19E+02	5,70	KÜTTO1-10	1,69E+00	9,95E+02	2,58E+03	5,73
F3					F4				
ÜTTO	3,34E+05	8,31E+05	5,02E+05	7,17	ÜTTO	2,79E+04	7,51E+04	2,25E+04	7,93
KÜTTO1-1	2,38E+05	5,33E+05	2,20E+05	4,87	KÜTTO1-1	1,70E+04	5,98E+04	2,62E+04	5,33
KÜTTO1-2	2,65E+05	6,03E+05	2,49E+05	5,90	KÜTTO1-2	2,98E+04	5,60E+04	2,28E+04	4,57
KÜTTO1-3	3,92E+05	1,86E+06	1,21E+06	9,63	KÜTTO1-3	3,39E+04	6,27E+04	1,44E+04	6,43
KÜTTO1-4	1,24E+05	5,75E+05	2,52E+05	5,07	KÜTTO1-4	3,02E+04	5,91E+04	2,39E+04	5,37
KÜTTO1-5	1,39E+05	5,29E+05	2,32E+05	4,93	KÜTTO1-5	3,94E+04	6,38E+04	1,77E+04	6,43
KÜTTO1-6	1,50E+05	5,82E+05	3,23E+05	5,33	KÜTTO1-6	2,84E+04	5,51E+04	2,05E+04	4,67
KÜTTO1-7	1,98E+05	5,72E+05	2,24E+05	5,13	KÜTTO1-7	2,70E+04	6,64E+04	2,01E+04	6,67
KÜTTO1-8	1,06E+05	4,65E+05	2,22E+05	3,87	KÜTTO1-8	2,76E+04	5,74E+04	2,20E+04	5,43
KÜTTO1-9	2,51E+05	1,96E+06	1,15E+06	9,60	KÜTTO1-9	3,29E+04	7,16E+04	1,88E+04	7,80
KÜTTO1-10	2,43E+05	5,09E+05	2,11E+05	4,50	KÜTTO1-10	2,44E+04	5,70E+04	1,58E+04	5,37
F5					F6				
ÜTTO	3,35E+05	1,16E+06	6,35E+05	5,23	ÜTTO	8,21E-03	1,59E+01	5,74E+01	3,93
KÜTTO1-1	3,53E+05	1,36E+06	6,17E+05	6,37	KÜTTO1-1	6,72E-03	5,19E+01	1,85E+02	5,33
KÜTTO1-2	1,50E+05	1,41E+06	8,51E+05	6,23	KÜTTO1-2	2,43E-02	1,42E+01	2,52E+01	6,23
KÜTTO1-3	3,45E+05	2,42E+06	2,79E+06	7,53	KÜTTO1-3	5,00E-01	2,76E+03	1,35E+04	8,70
KÜTTO1-4	3,50E+05	1,15E+06	6,15E+05	5,33	KÜTTO1-4	3,37E-02	2,23E+01	5,85E+01	5,63
KÜTTO1-5	1,26E+05	1,19E+06	7,80E+05	5,13	KÜTTO1-5	2,39E-02	1,10E+01	3,08E+01	5,33
KÜTTO1-6	2,18E+05	1,30E+06	7,29E+05	5,83	KÜTTO1-6	4,02E-02	9,29E+01	3,17E+02	6,43
KÜTTO1-7	1,73E+05	1,15E+06	6,52E+05	5,5	KÜTTO1-7	8,34E-03	5,00E+00	1,66E+01	4,40
KÜTTO1-8	2,27E+05	1,18E+06	5,70E+05	5,53	KÜTTO1-8	1,32E-02	7,80E+00	3,00E+01	4,90
KÜTTO1-9	4,50E+05	3,20E+06	6,88E+06	8,37	KÜTTO1-9	3,38E-01	2,53E+04	1,18E+05	9,13
KÜTTO1-10	2,51E+05	1,11E+06	5,08E+05	4,93	KÜTTO1-10	1,88E-03	3,38E+01	1,22E+02	5,97

Tablo 2 (devam)

Algoritma	En iyi	Ortalama	STD	FMR	Algoritma	En iyi	Ortalama	STD	FMR
F7					F8				
ÜTTO	5,14E+02	1,15E+03	4,48E+02	8,43	ÜTTO	-9,47E+07	-7,93E+07	4,23E+06	6,57
KÜTTO1-1	1,23E+02	5,80E+02	2,92E+02	4,27	KÜTTO1-1	-8,79E+07	-8,00E+07	4,05E+06	6,00
KÜTTO1-2	2,77E+02	7,15E+02	2,67E+02	5,67	KÜTTO1-2	-8,80E+07	-7,94E+07	3,56E+06	6,53
KÜTTO1-3	8,49E+02	1,87E+03	6,80E+02	10,2	KÜTTO1-3	-9,37E+07	-8,00E+07	4,75E+06	6,43
KÜTTO1-4	2,25E+02	5,52E+02	2,40E+02	3,93	KÜTTO1-4	-8,91E+07	-7,98E+07	3,65E+06	6,07
KÜTTO1-5	1,84E+02	5,87E+02	3,20E+02	4,43	KÜTTO1-5	-8,85E+07	-8,04E+07	5,22E+06	5,88
KÜTTO1-6	3,11E+02	6,33E+02	2,97E+02	4,47	KÜTTO1-6	-9,05E+07	-8,02E+07	4,65E+06	5,90
KÜTTO1-7	2,83E+02	7,04E+02	2,76E+02	5,7	KÜTTO1-7	-8,90E+07	-8,03E+07	4,17E+06	5,57
KÜTTO1-8	1,39E+02	6,04E+02	2,06E+02	4,83	KÜTTO1-8	-8,84E+07	-8,04E+07	3,67E+06	5,53
KÜTTO1-9	2,58E+02	1,96E+03	1,32E+03	9,13	KÜTTO1-9	-8,75E+07	-8,06E+07	3,45E+06	5,72
KÜTTO1-10	2,81E+02	6,52E+02	2,57E+02	4,97	KÜTTO1-10	-8,74E+07	-8,07E+07	3,19E+06	5,80
F9					F10				
ÜTTO	1,69E+05	3,20E+05	8,92E+04	7,93	ÜTTO	3,52E+04	6,17E+04	1,86E+04	6,43
KÜTTO1-1	1,39E+05	2,86E+05	7,73E+04	6,73	KÜTTO1-1	2,75E+04	5,11E+04	1,10E+04	4,70
KÜTTO1-2	1,49E+05	2,72E+05	6,73E+04	6,33	KÜTTO1-2	3,58E+04	5,69E+04	1,09E+04	5,73
KÜTTO1-3	1,29E+05	2,90E+05	7,14E+04	6,83	KÜTTO1-3	5,47E+04	8,34E+04	1,69E+04	9,73
KÜTTO1-4	1,39E+05	2,54E+05	8,09E+04	5,57	KÜTTO1-4	3,16E+04	5,55E+04	1,38E+04	5,50
KÜTTO1-5	1,39E+05	2,37E+05	5,95E+04	4,60	KÜTTO1-5	3,57E+04	5,58E+04	1,04E+04	5,77
KÜTTO1-6	1,59E+05	2,59E+05	6,55E+04	5,57	KÜTTO1-6	2,50E+04	5,60E+04	1,32E+04	5,80
KÜTTO1-7	1,69E+05	2,51E+05	5,52E+04	4,90	KÜTTO1-7	3,40E+04	5,10E+04	1,41E+04	4,20
KÜTTO1-8	1,59E+05	2,77E+05	6,64E+04	6,63	KÜTTO1-8	2,32E+04	4,53E+04	9,93E+03	3,33
KÜTTO1-9	1,69E+05	2,75E+05	8,38E+04	6,00	KÜTTO1-9	5,01E+04	8,42E+04	1,65E+04	9,83
KÜTTO1-10	1,19E+05	2,40E+05	6,62E+04	4,90	KÜTTO1-10	3,35E+04	5,22E+04	1,11E+04	4,97
F11					F12				
ÜTTO	3,22E-03	1,27E+02	1,63E+02	5,37	ÜTTO	1,96E-01	1,43E+04	1,70E+04	4,80
KÜTTO1-1	9,82E-03	1,11E+02	1,13E+02	5,78	KÜTTO1-1	3,03E-01	2,61E+04	1,97E+04	7,30
KÜTTO1-2	2,41E-03	9,19E+01	9,97E+01	5,57	KÜTTO1-2	3,38E-02	1,91E+04	2,30E+04	5,57
KÜTTO1-3	8,59E-02	3,63E+02	8,57E+02	7,83	KÜTTO1-3	1,87E+00	1,64E+04	1,69E+04	5,57
KÜTTO1-4	8,01E-03	1,28E+02	1,14E+02	6,47	KÜTTO1-4	2,70E+01	2,43E+04	2,22E+04	6,53
KÜTTO1-5	5,91E-03	1,26E+02	1,12E+02	6,30	KÜTTO1-5	2,03E-02	2,08E+04	2,29E+04	5,77
KÜTTO1-6	1,60E-03	7,69E+01	1,27E+02	4,47	KÜTTO1-6	1,29E+00	1,58E+04	1,41E+04	5,40
KÜTTO1-7	7,95E-03	1,29E+02	1,12E+02	6,20	KÜTTO1-7	1,15E+00	2,60E+04	2,72E+04	6,40
KÜTTO1-8	2,22E-03	1,22E+02	2,03E+02	4,95	KÜTTO1-8	4,21E-02	2,23E+04	2,21E+04	6,03
KÜTTO1-9	2,06E-02	5,35E+02	1,26E+03	7,67	KÜTTO1-9	7,42E+00	1,78E+04	1,72E+04	5,70
KÜTTO1-10	2,58E-03	1,01E+02	1,19E+02	5,40	KÜTTO1-10	1,44E+00	2,66E+04	2,29E+04	6,93

Tablo 2 (devam)

Algoritma	En iyi	Ortalama	STD	FMR	Algoritma	En iyi	Ortalama	STD	FMR
F13					F14				
ÜTTO	9,26E+00	5,37E+04	9,30E+04	6,10	ÜTTO	9,98E+03	1,03E+04	1,81E+03	6,10
KÜTTO1-1	1,05E+02	3,25E+04	6,70E+04	5,40	KÜTTO1-1	9,98E+03	1,03E+04	1,81E+03	6,10
KÜTTO1-2	6,12E+02	2,22E+04	3,88E+04	6,13	KÜTTO1-2	9,98E+03	9,98E+03	0.0000e+00	5,92
KÜTTO1-3	1,31E+04	7,85E+04	6,11E+04	9,60	KÜTTO1-3	9,98E+03	9,98E+03	0.0000e+00	5,92
KÜTTO1-4	7,42E-01	8,46E+03	1,79E+04	4,27	KÜTTO1-4	9,98E+03	9,98E+03	0.0000e+00	5,92
KÜTTO1-5	7,29E+01	1,10E+04	1,75E+04	5,00	KÜTTO1-5	9,98E+03	9,98E+03	0.0000e+00	5,92
KÜTTO1-6	4,68E+00	1,24E+04	2,64E+04	4,63	KÜTTO1-6	9,98E+03	9,98E+03	0.0000e+00	5,92
KÜTTO1-7	1,20E+02	1,22E+04	2,28E+04	5,07	KÜTTO1-7	9,98E+03	9,98E+03	0.0000e+00	5,92
KÜTTO1-8	3,54E+00	3,48E+04	8,35E+04	4,67	KÜTTO1-8	9,98E+03	1,06E+04	2,52E+03	6,28
KÜTTO1-9	6,74E+03	1,06E+05	9,68E+04	9,63	KÜTTO1-9	9,98E+03	9,98E+03	0.0000e+00	5,92
KÜTTO1-10	4,16E+00	1,87E+04	3,16E+04	5,50	KÜTTO1-10	9,98E+03	1,03E+04	1,81E+03	6,10
F15					F16				
ÜTTO	3,07E+00	3,23E+00	6,59E-01	2,98	ÜTTO	-1,03E+04	-1,03E+04	6,78E-12	6,00
KÜTTO1-1	3,07E+00	5,73E+00	3,53E+00	7,10	KÜTTO1-1	-1,03E+04	-1,03E+04	6,78E-12	6,00
KÜTTO1-2	3,07E+00	4,22E+00	2,51E+00	5,42	KÜTTO1-2	-1,03E+04	-1,03E+04	6,78E-12	6,00
KÜTTO1-3	3,07E+00	5,72E+00	3,22E+00	7,35	KÜTTO1-3	-1,03E+04	-1,03E+04	6,78E-12	6,00
KÜTTO1-4	3,07E+00	4,26E+00	2,16E+00	4,85	KÜTTO1-4	-1,03E+04	-1,03E+04	6,78E-12	6,00
KÜTTO1-5	3,07E+00	4,90E+00	2,70E+00	6,15	KÜTTO1-5	-1,03E+04	-1,03E+04	6,78E-12	6,00
KÜTTO1-6	3,07E+00	5,27E+00	3,18E+00	6,40	KÜTTO1-6	-1,03E+04	-1,03E+04	6,78E-12	6,00
KÜTTO1-7	3,07E+00	5,34E+00	3,35E+00	6,23	KÜTTO1-7	-1,03E+04	-1,03E+04	6,78E-12	6,00
KÜTTO1-8	3,07E+00	5,84E+00	3,33E+00	7,38	KÜTTO1-8	-1,03E+04	-1,03E+04	6,78E-12	6,00
KÜTTO1-9	3,07E+00	5,87E+00	3,14E+00	7,15	KÜTTO1-9	-1,03E+04	-1,03E+04	6,71E-12	6,00
KÜTTO1-10	3,07E+00	3,90E+00	1,97E+00	4,98	KÜTTO1-10	-1,03E+04	-1,03E+04	6,78E-12	6,00
F17					F18				
ÜTTO	3,98E+03	3,98E+03	0.0000e+00	6,00	ÜTTO	3,00E+04	3,00E+04	4,95E-12	6,00
KÜTTO1-1	3,98E+03	3,98E+03	0.0000e+00	6,00	KÜTTO1-1	3,00E+04	3,00E+04	1,25E-11	6,00
KÜTTO1-2	3,98E+03	3,98E+03	0.0000e+00	6,00	KÜTTO1-2	3,00E+04	3,00E+04	5,34E-12	6,00
KÜTTO1-3	3,98E+03	3,98E+03	0.0000e+00	6,00	KÜTTO1-3	3,00E+04	3,00E+04	1,39E-11	6,00
KÜTTO1-4	3,98E+03	3,98E+03	0.0000e+00	6,00	KÜTTO1-4	3,00E+04	3,00E+04	5,15E-12	6,00
KÜTTO1-5	3,98E+03	3,98E+03	0.0000e+00	6,00	KÜTTO1-5	3,00E+04	3,00E+04	1,31E-11	6,00
KÜTTO1-6	3,98E+03	3,98E+03	0.0000e+00	6,00	KÜTTO1-6	3,00E+04	3,00E+04	1,40E-11	6,00
KÜTTO1-7	3,98E+03	3,98E+03	0.0000e+00	6,00	KÜTTO1-7	3,00E+04	3,00E+04	4,95E-12	6,00
KÜTTO1-8	3,98E+03	3,98E+03	0.0000e+00	6,00	KÜTTO1-8	3,00E+04	3,00E+04	6,23E-12	6,00
KÜTTO1-9	3,98E+03	3,98E+03	0.0000e+00	6,00	KÜTTO1-9	3,00E+04	3,00E+04	9,03E-12	6,00
KÜTTO1-10	3,98E+03	3,98E+03	0.0000e+00	6,00	KÜTTO1-10	3,00E+04	3,00E+04	1,31E-11	6,00

Tablo 2 (devam)

Algoritma	En iyi	Ortalama	STD	FMR	Algoritma	En iyi	Ortalama	STD	FMR
F19					F20				
ÜTTO	-3,86E+04	-3,86E+04	2,71E-11	6,00	ÜTTO	-3,32E+04	-3,32E+04	5,49E-01	6,00
KÜTTO1-1	-3,86E+04	-3,86E+04	2,70E-11	6,00	KÜTTO1-1	-3,32E+04	-3,32E+04	1,45E-11	6,00
KÜTTO1-2	-3,86E+04	-3,86E+04	2,71E-11	6,00	KÜTTO1-2	-3,32E+04	-3,32E+04	9,62E+01	6,00
KÜTTO1-3	-3,86E+04	-3,86E+04	2,70E-11	6,00	KÜTTO1-3	-3,32E+04	-3,31E+04	3,02E+02	6,00
KÜTTO1-4	-3,86E+04	-3,86E+04	2,71E-11	6,00	KÜTTO1-4	-3,32E+04	-3,32E+04	1,03E-04	6,00
KÜTTO1-5	-3,86E+04	-3,86E+04	2,70E-11	6,00	KÜTTO1-5	-3,32E+04	-3,32E+04	1,46E-11	6,00
KÜTTO1-6	-3,86E+04	-3,86E+04	2,71E-11	6,00	KÜTTO1-6	-3,32E+04	-3,32E+04	1,15E-11	6,00
KÜTTO1-7	-3,86E+04	-3,86E+04	2,71E-11	6,00	KÜTTO1-7	-3,32E+04	-3,32E+04	2,58E-01	6,00
KÜTTO1-8	-3,86E+04	-3,86E+04	2,71E-11	6,00	KÜTTO1-8	-3,32E+04	-3,32E+04	3,99E-10	6,00
KÜTTO1-9	-3,86E+04	-3,86E+04	2,71E-11	6,00	KÜTTO1-9	-3,32E+04	-3,32E+04	1,43E-02	6,00
KÜTTO1-10	-3,86E+04	-3,86E+04	2,71E-11	6,00	KÜTTO1-10	-3,32E+04	-3,32E+04	1,02E-07	6,00
F21					F22				
ÜTTO	-1,02E+05	-1,02E+05	6,56E-11	6,00	ÜTTO	-1,04E+05	-1,04E+05	8,73E-12	6,00
KÜTTO1-1	-1,02E+05	-1,02E+05	6,79E-11	6,00	KÜTTO1-1	-1,04E+05	-1,04E+05	1,06E-01	6,00
KÜTTO1-2	-1,02E+05	-1,02E+05	6,51E-11	6,00	KÜTTO1-2	-1,04E+05	-1,04E+05	8,73E-12	6,00
KÜTTO1-3	-1,02E+05	-1,02E+05	6,74E-11	6,00	KÜTTO1-3	-1,04E+05	-1,04E+05	9,33E-12	6,00
KÜTTO1-4	-1,02E+05	-1,02E+05	6,68E-11	6,00	KÜTTO1-4	-1,04E+05	-1,04E+05	9,33E-12	6,00
KÜTTO1-5	-1,02E+05	-1,02E+05	6,51E-11	6,00	KÜTTO1-5	-1,04E+05	-1,04E+05	1,04E-11	6,00
KÜTTO1-6	-1,02E+05	-1,02E+05	6,79E-11	6,00	KÜTTO1-6	-1,04E+05	-1,04E+05	1,09E-11	6,00
KÜTTO1-7	-1,02E+05	-1,02E+05	6,96E-11	6,00	KÜTTO1-7	-1,04E+05	-1,04E+05	1,09E-11	6,00
KÜTTO1-8	-1,02E+05	-1,02E+05	6,96E-11	6,00	KÜTTO1-8	-1,04E+05	-1,04E+05	1,04E-11	6,00
KÜTTO1-9	-1,02E+05	-1,02E+05	6,56E-11	6,00	KÜTTO1-9	-1,04E+05	-1,04E+05	1,38E+03	6,00
KÜTTO1-10	-1,02E+05	-1,02E+05	6,62E-11	6,00	KÜTTO1-10	-1,04E+05	-1,04E+05	7,38E-12	6,00
F23									
ÜTTO	-1,05E+05	-1,05E+05	1,23E-11	6,00					
KÜTTO1-1	-1,05E+05	-1,05E+05	8,08E-12	6,00					
KÜTTO1-2	-1,05E+05	-1,05E+05	2,14E-11	6,00					
KÜTTO1-3	-1,05E+05	-1,05E+05	3,74E+02	6,00					
KÜTTO1-4	-1,05E+05	-1,05E+05	8,73E-12	6,00					
KÜTTO1-5	-1,05E+05	-1,05E+05	2,21E-11	6,00					
KÜTTO1-6	-1,05E+05	-1,05E+05	2,14E-11	6,00					
KÜTTO1-7	-1,05E+05	-1,05E+05	2,21E-11	6,00					
KÜTTO1-8	-1,05E+05	-1,05E+05	2,06E-11	6,00					
KÜTTO1-9	-1,05E+05	-1,05E+05	1,07E+01	6,00					
KÜTTO1-10	-1,05E+05	-1,05E+05	1,89E-11	6,00					

KÜTTO1 yönteminin klasik benchmark fonksiyonları üzerindeki test sonuçlarına göre, yakınsama başarısını ölçen tek modlu fonksiyonlar (F1–F5) üzerinde en iyi performansı KÜTTO1-8 (sinüzoidal) algoritması göstermiştir. Çok modlu fonksiyonlar (F6–F19) üzerinde, en düşük sıralama ve ortalama değerlere sahip algoritma orijinal ÜTTO olmuştur. Ancak orijinal ÜTTO algoritması, çok modlu fonksiyonlardan üçünde yüksek ortalama başarıya ve tutarlı çözümlere ulaşmıştır.

Hibrit fonksiyonlar üzerinde algoritmalar istikrarlı (benzer) sonuçlar üretse de, elde edilen çözümler genellikle düşük kaliteli olmuş ve performans açısından yetersiz kalmıştır. Bu yöntemde, orijinal ÜTTO algoritması performansı korumuştur.

Tablo 3 KÜTTO2 klasik benchmark fonksiyonları deney sonuçları

Algoritma	En iyi	Ortalama	STD	FMR	Algoritma	En iyi	Ortalama	STD	FMR
F1					F2				
ÜTTO	3,26E-02	9,77E+02	4,35E+03	8,37	ÜTTO	5,51E-01	6,28E+02	1,17E+03	6,00
KÜTTO2-1	2,34E-02	1,58E+01	6,28E+01	6,07	KÜTTO2-1	1,35E+00	2,38E+03	8,09E+03	6,27
KÜTTO2-2	4,79E-03	3,21E+01	7,00E+01	7,43	KÜTTO2-2	9,83E-02	4,61E+02	1,25E+03	5,73
KÜTTO2-3	4,76E-03	1,08E+01	4,87E+01	4,17	KÜTTO2-3	7,40E-01	1,96E+03	5,54E+03	5,63
KÜTTO2-4	1,70E-02	1,97E+01	9,28E+01	5,40	KÜTTO2-4	2,78E+00	1,54E+03	3,73E+03	6,60
KÜTTO2-5	1,94E-02	8,63E+00	2,16E+01	5,50	KÜTTO2-5	8,12E-01	9,94E+02	3,57E+03	5,50
KÜTTO2-6	1,25E-01	2,63E+01	6,21E+01	6,97	KÜTTO2-6	1,34E+00	1,45E+03	4,74E+03	6,10
KÜTTO2-7	1,03E-02	2,57E+01	5,98E+01	6,50	KÜTTO2-7	6,35E-01	5,52E+02	1,30E+03	5,50
KÜTTO2-8	4,29E-02	1,39E+01	2,92E+01	6,73	KÜTTO2-8	9,03E-01	7,23E+02	1,40E+03	6,87
KÜTTO2-9	2,61E-03	6,66E-01	2,16E+00	2,73	KÜTTO2-9	8,77E-01	2,75E+03	8,02E+03	5,33
KÜTTO2-10	8,19E-03	6,03E+01	2,71E+02	6,13	KÜTTO2-10	3,57E+00	7,79E+02	1,64E+03	6,47
F3					F4				
ÜTTO	4,15E+05	1,49E+06	7,52E+05	9,70	ÜTTO	3,47E+04	6,54E+04	2,60E+04	6,57
KÜTTO2-1	1,82E+05	5,65E+05	2,67E+05	4,73	KÜTTO2-1	2,93E+04	5,44E+04	1,96E+04	4,83
KÜTTO2-2	2,38E+05	6,25E+05	2,49E+05	5,53	KÜTTO2-2	2,47E+04	4,86E+04	1,39E+04	4,30
KÜTTO2-3	3,48E+05	8,85E+05	4,27E+05	7,53	KÜTTO2-3	2,98E+04	8,46E+04	2,97E+04	8,80
KÜTTO2-4	9,51E+04	5,50E+05	2,07E+05	4,80	KÜTTO2-4	2,73E+04	5,97E+04	2,20E+04	5,73
KÜTTO2-5	1,34E+05	5,70E+05	2,60E+05	4,83	KÜTTO2-5	3,05E+04	5,70E+04	1,61E+04	5,47
KÜTTO2-6	1,68E+05	5,83E+05	3,35E+05	4,70	KÜTTO2-6	2,72E+04	5,52E+04	2,23E+04	4,80
KÜTTO2-7	2,04E+05	5,20E+05	2,04E+05	4,27	KÜTTO2-7	3,02E+04	5,69E+04	1,71E+04	5,60
KÜTTO2-8	1,88E+05	6,13E+05	2,85E+05	5,37	KÜTTO2-8	3,59E+04	6,30E+04	1,91E+04	6,50
KÜTTO2-9	1,86E+05	1,03E+06	5,54E+05	7,90	KÜTTO2-9	4,02E+04	7,35E+04	1,77E+04	8,30
KÜTTO2-10	2,31E+05	6,95E+05	2,31E+05	6,63	KÜTTO2-10	1,82E+04	5,55E+04	1,75E+04	5,10
F5					F6				
ÜTTO	8,06E+05	2,46E+06	2,21E+06	8,83	ÜTTO	1,70E-01	7,69E+02	2,29E+03	9,10
KÜTTO2-1	2,41E+05	1,03E+06	5,09E+05	5,17	KÜTTO2-1	9,61E-03	3,66E+00	7,82E+00	6,23
KÜTTO2-2	6,26E+05	1,28E+06	5,48E+05	6,73	KÜTTO2-2	5,09E-02	3,02E+01	7,32E+01	7,10
KÜTTO2-3	2,44E+05	7,03E+05	7,15E+05	3,07	KÜTTO2-3	4,98E-03	1,19E+00	3,82E+00	3,77
KÜTTO2-4	2,08E+05	1,23E+06	6,57E+05	6,70	KÜTTO2-4	5,77E-03	4,29E+01	1,34E+02	6,43
KÜTTO2-5	2,94E+05	1,04E+06	5,61E+05	5,30	KÜTTO2-5	3,62E-02	1,89E+01	8,38E+01	6,37
KÜTTO2-6	7,48E+05	1,29E+06	7,02E+05	6,90	KÜTTO2-6	1,81E-02	2,18E+01	6,22E+01	6,00
KÜTTO2-7	1,16E+05	1,14E+06	1,05E+06	5,43	KÜTTO2-7	2,12E-02	6,50E+00	1,67E+01	5,53
KÜTTO2-8	1,86E+05	1,61E+06	1,51E+06	7,27	KÜTTO2-8	2,47E-02	2,40E+01	8,16E+01	6,40
KÜTTO2-9	1,43E+05	8,30E+05	7,33E+05	3,60	KÜTTO2-9	3,10E-03	2,45E-01	4,83E-01	2,80
KÜTTO2-10	2,81E+05	1,31E+06	7,42E+05	7,00	KÜTTO2-10	2,97E-02	1,81E+01	5,65E+01	6,27

Tablo 3 (devamı)

Algoritma	En iyi	Ortalama	STD	FMR	Algoritma	En iyi	Ortalama	STD	FMR
F7					F8				
ÜTTO	2,66E+02	2,32E+03	1,44E+03	10,03	ÜTTO	-9,05E+07	-7,91E+07	4,14E+06	6,50
KÜTTO2-1	2,33E+02	7,36E+02	3,59E+02	5,33	KÜTTO2-1	-8,84E+07	-8,02E+07	4,37E+06	5,93
KÜTTO2-2	2,80E+02	7,01E+02	2,67E+02	5,40	KÜTTO2-2	-8,81E+07	-7,94E+07	4,11E+06	6,27
KÜTTO2-3	6,31E+02	1,30E+03	4,28E+02	9,17	KÜTTO2-3	-9,11E+07	-7,83E+07	4,98E+06	7,23
KÜTTO2-4	1,98E+02	6,20E+02	2,71E+02	4,57	KÜTTO2-4	-8,89E+07	-8,22E+07	5,10E+06	4,33
KÜTTO2-5	2,74E+02	6,11E+02	2,09E+02	4,53	KÜTTO2-5	-9,15E+07	-7,95E+07	4,72E+06	6,33
KÜTTO2-6	2,89E+02	6,66E+02	2,79E+02	4,87	KÜTTO2-6	-9,19E+07	-8,03E+07	4,43E+06	6,10
KÜTTO2-7	2,32E+02	6,18E+02	2,58E+02	4,53	KÜTTO2-7	-9,12E+07	-7,94E+07	4,49E+06	6,30
KÜTTO2-8	2,40E+02	6,79E+02	2,68E+02	4,93	KÜTTO2-8	-9,06E+07	-7,95E+07	4,60E+06	6,13
KÜTTO2-9	3,88E+02	1,17E+03	3,83E+02	8,50	KÜTTO2-9	-8,85E+07	-8,10E+07	4,74E+06	4,90
KÜTTO2-10	3,04E+02	5,83E+02	2,60E+02	4,13	KÜTTO2-10	-8,77E+07	-7,99E+07	3,94E+06	5,97
F9					F10				
ÜTTO	1,89E+05	2,81E+05	5,84E+04	5,73	ÜTTO	5,68E+04	8,56E+04	1,62E+04	9,90
KÜTTO2-1	1,61E+05	2,61E+05	7,76E+04	4,50	KÜTTO2-1	2,50E+04	5,03E+04	1,28E+04	4,73
KÜTTO2-2	1,39E+05	2,86E+05	7,65E+04	5,63	KÜTTO2-2	3,22E+04	5,30E+04	9,55E+03	5,13
KÜTTO2-3	1,79E+05	3,47E+05	9,50E+04	8,28	KÜTTO2-3	3,17E+04	6,54E+04	1,61E+04	7,47
KÜTTO2-4	1,59E+05	2,85E+05	8,21E+04	5,75	KÜTTO2-4	3,46E+04	5,58E+04	1,37E+04	5,63
KÜTTO2-5	1,59E+05	2,67E+05	7,35E+04	5,38	KÜTTO2-5	2,50E+04	5,59E+04	1,75E+04	5,53
KÜTTO2-6	1,19E+05	3,09E+05	7,29E+04	7,27	KÜTTO2-6	3,40E+04	5,49E+04	1,48E+04	5,25
KÜTTO2-7	1,71E+05	2,76E+05	6,13E+04	5,32	KÜTTO2-7	3,03E+04	5,11E+04	1,17E+04	4,68
KÜTTO2-8	1,69E+05	2,65E+05	6,81E+04	5,10	KÜTTO2-8	3,57E+04	6,21E+04	1,39E+04	7,03
KÜTTO2-9	1,69E+05	3,29E+05	8,18E+04	7,43	KÜTTO2-9	2,22E+04	5,87E+04	1,49E+04	6,27
KÜTTO2-10	1,39E+05	2,80E+05	7,82E+04	5,60	KÜTTO2-10	3,09E+04	4,98E+04	9,75E+03	4,37
F11					F12				
ÜTTO	9,29E-02	3,69E+02	4,21E+02	8,77	ÜTTO	8,36E-02	2,02E+04	1,76E+04	6,60
KÜTTO2-1	1,41E-02	1,18E+02	1,45E+02	6,23	KÜTTO2-1	3,28E-02	2,39E+04	3,21E+04	5,93
KÜTTO2-2	5,69E-03	1,12E+02	1,24E+02	6,67	KÜTTO2-2	9,32E-02	2,51E+04	2,82E+04	6,57
KÜTTO2-3	3,95E-04	8,94E+01	1,31E+02	4,93	KÜTTO2-3	9,18E-01	1,91E+04	2,50E+04	5,43
KÜTTO2-4	3,00E-03	1,09E+02	1,42E+02	5,13	KÜTTO2-4	1,47E+00	2,09E+04	2,18E+04	6,07
KÜTTO2-5	4,19E-03	9,03E+01	1,09E+02	5,53	KÜTTO2-5	7,20E-01	1,55E+04	2,02E+04	5,00
KÜTTO2-6	7,30E-03	8,94E+01	1,58E+02	4,87	KÜTTO2-6	2,23E+00	2,65E+04	2,16E+04	7,03
KÜTTO2-7	1,27E-03	9,47E+01	1,54E+02	5,37	KÜTTO2-7	6,90E-01	2,35E+04	3,09E+04	5,87
KÜTTO2-8	1,33E-03	1,02E+02	9,11E+01	6,17	KÜTTO2-8	7,67E-01	1,88E+04	1,63E+04	6,23
KÜTTO2-9	3,91E-04	1,23E+02	9,91E+01	6,70	KÜTTO2-9	3,25E-02	1,61E+04	1,89E+04	5,17
KÜTTO2-10	1,99E-03	7,32E+01	7,51E+01	5,63	KÜTTO2-10	2,13E+01	2,00E+04	2,04E+04	6,10

Tablo 3 (devamı)

Algoritma	En iyi	Ortalama	STD	FMR	Algoritma	En iyi	Ortalama	STD	FMR
F13					F14				
ÜTTO	7,57E+02	6,42E+04	4,89E+04	9,17	ÜTTO	9,98E+03	9,98E+03	0.0000e+00	6,00
KÜTTO2-1	1,13E+02	1,24E+04	2,15E+04	5,47	KÜTTO2-1	9,98E+03	9,98E+03	0.0000e+00	6,00
KÜTTO2-2	9,32E+01	2,59E+04	7,32E+04	5,30	KÜTTO2-2	9,98E+03	1,10E+04	3,03E+03	6,00
KÜTTO2-3	1,18E+02	4,12E+04	5,36E+04	7,33	KÜTTO2-3	9,98E+03	1,03E+04	1,81E+03	6,00
KÜTTO2-4	1,21E+02	1,48E+04	3,40E+04	5,73	KÜTTO2-4	9,98E+03	9,98E+03	0.0000e+00	6,00
KÜTTO2-5	4,53E+01	1,14E+04	2,05E+04	5,67	KÜTTO2-5	9,98E+03	9,98E+03	0.0000e+00	6,00
KÜTTO2-6	4,70E+00	9,03E+03	1,77E+04	4,77	KÜTTO2-6	9,98E+03	1,33E+04	1,25E+04	6,00
KÜTTO2-7	2,97E-01	1,16E+04	2,13E+04	4,30	KÜTTO2-7	9,98E+03	9,98E+03	0.0000e+00	6,00
KÜTTO2-8	1,11E+02	2,05E+04	4,11E+04	5,40	KÜTTO2-8	9,98E+03	9,98E+03	0.0000e+00	6,00
KÜTTO2-9	7,06E+01	5,36E+04	9,35E+04	7,43	KÜTTO2-9	9,98E+03	9,98E+03	0.0000e+00	6,00
KÜTTO2-10	1,12E+02	2,79E+04	8,20E+04	5,43	KÜTTO2-10	9,98E+03	1,03E+04	1,81E+03	6,00
F15					F16				
ÜTTO	3,07E+00	3,63E+00	1,51E+00	4,30	ÜTTO	-1,03E+04	-1,03E+04	6,78E-12	6,00
KÜTTO2-1	3,07E+00	4,73E+00	2,93E+00	5,65	KÜTTO2-1	-1,03E+04	-1,03E+04	6,71E-12	6,00
KÜTTO2-2	3,07E+00	5,42E+00	3,59E+00	6,45	KÜTTO2-2	-1,03E+04	-1,03E+04	6,78E-12	6,00
KÜTTO2-3	3,07E+00	5,49E+00	3,40E+00	6,18	KÜTTO2-3	-1,03E+04	-1,03E+04	6,78E-12	6,00
KÜTTO2-4	3,07E+00	3,97E+00	2,08E+00	4,22	KÜTTO2-4	-1,03E+04	-1,03E+04	6,71E-12	6,00
KÜTTO2-5	3,07E+00	6,15E+00	3,58E+00	6,87	KÜTTO2-5	-1,03E+04	-1,03E+04	6,71E-12	6,00
KÜTTO2-6	3,07E+00	5,63E+00	3,35E+00	6,28	KÜTTO2-6	-1,03E+04	-1,03E+04	6,78E-12	6,00
KÜTTO2-7	3,07E+00	5,04E+00	2,68E+00	6,72	KÜTTO2-7	-1,03E+04	-1,03E+04	6,78E-12	6,00
KÜTTO2-8	3,07E+00	5,10E+00	3,40E+00	6,25	KÜTTO2-8	-1,03E+04	-1,03E+04	6,78E-12	6,00
KÜTTO2-9	3,07E+00	6,73E+00	3,43E+00	7,60	KÜTTO2-9	-1,03E+04	-1,03E+04	6,78E-12	6,00
KÜTTO2-10	3,07E+00	4,45E+00	2,73E+00	5,48	KÜTTO2-10	-1,03E+04	-1,03E+04	6,78E-12	6,00
F17					F18				
ÜTTO	3,98E+03	3,98E+03	0.0000e+00	6,00	ÜTTO	3,00E+04	3,00E+04	1,33E-11	6,00
KÜTTO2-1	3,98E+03	3,98E+03	0.0000e+00	6,00	KÜTTO2-1	3,00E+04	3,00E+04	1,78E-11	6,00
KÜTTO2-2	3,98E+03	3,98E+03	0.0000e+00	6,00	KÜTTO2-2	3,00E+04	3,00E+04	1,09E-11	6,00
KÜTTO2-3	3,98E+03	3,98E+03	0.0000e+00	6,00	KÜTTO2-3	3,00E+04	3,00E+04	1,40E-11	6,00
KÜTTO2-4	3,98E+03	3,98E+03	0.0000e+00	6,00	KÜTTO2-4	3,00E+04	3,00E+04	2,12E-11	6,00
KÜTTO2-5	3,98E+03	3,98E+03	0.0000e+00	6,00	KÜTTO2-5	3,00E+04	3,00E+04	1,21E-11	6,00
KÜTTO2-6	3,98E+03	3,98E+03	0.0000e+00	6,00	KÜTTO2-6	3,00E+04	3,00E+04	1,29E-11	6,00
KÜTTO2-7	3,98E+03	3,98E+03	0.0000e+00	6,00	KÜTTO2-7	3,00E+04	3,00E+04	2,08E-11	6,00
KÜTTO2-8	3,98E+03	3,98E+03	0.0000e+00	6,00	KÜTTO2-8	3,00E+04	3,00E+04	1,32E-11	6,00
KÜTTO2-9	3,98E+03	3,98E+03	0.0000e+00	6,00	KÜTTO2-9	3,00E+04	3,00E+04	5,53E-12	6,00
KÜTTO2-10	3,98E+03	3,98E+03	0.0000e+00	6,00	KÜTTO2-10	3,00E+04	3,00E+04	1,35E-11	6,00

Tablo 3 (devamı)

Algoritma	En iyi	Ortalama	STD	FMR	Algoritma	En iyi	Ortalama	STD	FMR
F19					F20				
ÜTTO	-3,86E+04	-3,86E+04	2,71E-11	6,00	ÜTTO	-3,32E+04	-3,32E+04	2,17E+02	6,00
KÜTTO2-1	-3,86E+04	-3,86E+04	2,70E-11	6,00	KÜTTO2-1	-3,32E+04	-3,32E+04	1,41E-11	6,00
KÜTTO2-2	-3,86E+04	-3,86E+04	2,71E-11	6,00	KÜTTO2-2	-3,32E+04	-3,32E+04	1,46E-11	6,00
KÜTTO2-3	-3,86E+04	-3,86E+04	2,68E-11	6,00	KÜTTO2-3	-3,32E+04	-3,32E+04	8,16E+01	6,00
KÜTTO2-4	-3,86E+04	-3,86E+04	2,71E-11	6,00	KÜTTO2-4	-3,32E+04	-3,32E+04	1,66E-11	6,00
KÜTTO2-5	-3,86E+04	-3,86E+04	2,70E-11	6,00	KÜTTO2-5	-3,32E+04	-3,32E+04	5,39E-11	6,00
KÜTTO2-6	-3,86E+04	-3,86E+04	2,71E-11	6,00	KÜTTO2-6	-3,32E+04	-3,32E+04	1,33E-01	6,00
KÜTTO2-7	-3,86E+04	-3,86E+04	2,71E-11	6,00	KÜTTO2-7	-3,32E+04	-3,32E+04	2,56E-02	6,00
KÜTTO2-8	-3,86E+04	-3,86E+04	2,71E-11	6,00	KÜTTO2-8	-3,32E+04	-3,32E+04	6,62E+01	6,00
KÜTTO2-9	-3,86E+04	-3,86E+04	2,71E-11	6,00	KÜTTO2-9	-3,32E+04	-3,32E+04	1,52E-11	6,00
KÜTTO2-10	-3,86E+04	-3,86E+04	2,71E-11	6,00	KÜTTO2-10	-3,32E+04	-3,32E+04	9,85E-06	6,00
F21					F22				
ÜTTO	-1,02E+05	-1,02E+05	6,79E-11	6,00	ÜTTO	-1,04E+05	-1,02E+05	9,71E+03	6,33
KÜTTO2-1	-1,02E+05	-1,02E+05	6,85E-11	6,00	KÜTTO2-1	-1,04E+05	-1,02E+05	9,71E+03	5,97
KÜTTO2-2	-1,02E+05	-1,02E+05	6,56E-11	6,00	KÜTTO2-2	-1,04E+05	-1,04E+05	1,28E-11	5,97
KÜTTO2-3	-1,02E+05	-1,02E+05	1,86E+01	6,00	KÜTTO2-3	-1,04E+05	-1,04E+05	5,96E-07	5,97
KÜTTO2-4	-1,02E+05	-1,02E+05	6,68E-11	6,00	KÜTTO2-4	-1,04E+05	-1,04E+05	9,90E-12	5,97
KÜTTO2-5	-1,02E+05	-1,02E+05	6,56E-11	6,00	KÜTTO2-5	-1,04E+05	-1,04E+05	1,14E-11	5,97
KÜTTO2-6	-1,02E+05	-1,02E+05	6,62E-11	6,00	KÜTTO2-6	-1,04E+05	-1,04E+05	9,90E-12	5,97
KÜTTO2-7	-1,02E+05	-1,02E+05	6,62E-11	6,00	KÜTTO2-7	-1,04E+05	-1,04E+05	1,14E-11	5,97
KÜTTO2-8	-1,02E+05	-1,02E+05	6,68E-11	6,00	KÜTTO2-8	-1,04E+05	-1,04E+05	7,38E-12	5,97
KÜTTO2-9	-1,02E+05	-1,02E+05	6,52E-09	6,00	KÜTTO2-9	-1,04E+05	-1,04E+05	2,72E-01	5,97
KÜTTO2-10	-1,02E+05	-1,02E+05	5,34E-07	6,00	KÜTTO2-10	-1,04E+05	-1,04E+05	1,19E-11	5,97
F23									
ÜTTO	-1,05E+05	-1,04E+05	9,89E+03	6,15					
KÜTTO2-1	-1,05E+05	-1,05E+05	7,38E-12	5,97					
KÜTTO2-2	-1,05E+05	-1,05E+05	1,81E-11	5,97					
KÜTTO2-3	-1,05E+05	-1,05E+05	5,35E+01	6,15					
KÜTTO2-4	-1,05E+05	-1,05E+05	8,08E-12	5,97					
KÜTTO2-5	-1,05E+05	-1,05E+05	8,08E-12	5,97					
KÜTTO2-6	-1,05E+05	-1,05E+05	2,14E-11	5,97					
KÜTTO2-7	-1,05E+05	-1,05E+05	5,71E-12	5,97					
KÜTTO2-8	-1,05E+05	-1,05E+05	2,14E-11	5,97					
KÜTTO2-9	-1,05E+05	-1,05E+05	2,66E-08	5,97					
KÜTTO2-10	-1,05E+05	-1,05E+05	2,36E-11	5,97					

KÜTTO2 yönteminin yakınsama başarısı, tek modlu fonksiyonlar üzerindeki testlerle değerlendirilmiş ve F1 ve F2 fonksiyonları üzerinde sinüzoidal kaotik varyasyon en iyi performansı göstermiştir. Bu varyasyon, özellikle Friedman Mean Rank (FMR) ve mean değerlerinde düşük ve kararlı sonuçlar üretmiştir. Çok modlu fonksiyonlar arasında, F6 fonksiyonu üzerinde KÜTTO2-9 (sinüzoidal harita) en

yüksek başarıyı göstermiştir. Öte yandan, KÜTTO2-10 (tent haritası) varyasyonu ise F7 ve F10 fonksiyonlarında düşük sıralama değerleri elde etmiştir. Bu varyasyonların düşük sıralama ve ortalama değerler elde etmesi, algoritmanın yerel minimumlardan kaçarak küresel optimuma ulaşma kabiliyetini artırdığını göstermektedir. Bu durum, tek modlu fonksiyonlara kıyasla çok modlu fonksiyonlarda daha güçlü bir keşif yeteneği sunduğunu ortaya koymaktadır. Öte yandan, hibrit fonksiyon türlerinde algoritmalar benzer (istikrarlı) sonuçlar üretmiş olsa da genel performans düzeyleri düşük kalmıştır. Genel olarak değerlendirildiğinde, KÜTTO2 yöntemindeki tüm kaotik varyasyonlar, hem tek hem de çok modlu fonksiyonlar üzerinde orijinal ÜTTO algoritmasına kıyasla daha üstün performans ortaya koymuştur.

Tablo 4 KÜTTO3 klasik benchmark fonksiyonları deney sonuçları

Algoritma	En iyi	Ortalama	STD	FMR	Algoritma	En iyi	Ortalama	STD	FMR
F1					F2				
ÜTTO	3,55E-01	2,24E+01	4,10E+01	7,73	ÜTTO	7,35E-01	1,29E+03	4,04E+03	6,47
KÜTTO3-1	1,10E-02	1,54E+01	6,35E+01	5,40	KÜTTO3-1	9,84E-01	1,11E+03	2,52E+03	5,57
KÜTTO3-2	2,48E-02	1,81E+02	8,21E+02	7,03	KÜTTO3-2	5,81E-01	1,75E+02	5,66E+02	4,93
KÜTTO3-3	5,87E-04	1,30E+00	6,02E+00	2,90	KÜTTO3-3	4,95E-01	4,26E+02	1,32E+03	4,93
KÜTTO3-4	1,34E-02	4,61E+01	2,08E+02	6,70	KÜTTO3-4	1,09E+00	1,12E+03	2,02E+03	7,40
KÜTTO3-5	9,12E-02	8,07E+00	1,94E+01	6,23	KÜTTO3-5	2,75E+00	9,50E+02	2,89E+03	5,93
KÜTTO3-6	4,51E-03	5,02E+01	1,81E+02	6,47	KÜTTO3-6	1,47E+00	8,64E+02	2,42E+03	6,40
KÜTTO3-7	4,92E-02	2,46E+01	5,90E+01	7,33	KÜTTO3-7	1,36E+00	2,28E+03	5,85E+03	7,00
KÜTTO3-8	1,87E-02	7,46E+01	3,34E+02	6,30	KÜTTO3-8	5,18E-01	1,54E+03	5,87E+03	5,93
KÜTTO3-9	6,17E-03	3,84E+00	1,00E+01	3,93	KÜTTO3-9	3,41E+00	8,77E+02	3,00E+03	6,50
KÜTTO3-10	3,31E-02	4,60E+01	2,33E+02	5,97	KÜTTO3-10	8,79E-01	7,51E+02	2,02E+03	4,93
F3					F4				
ÜTTO	4,31E+05	1,53E+06	8,96E+05	9,70	ÜTTO	4,37E+04	6,32E+04	1,75E+04	6,23
KÜTTO3-1	1,64E+05	5,23E+05	2,59E+05	4,73	KÜTTO3-1	3,00E+04	6,28E+04	2,28E+04	5,90
KÜTTO3-2	2,46E+05	5,51E+05	2,77E+05	5,03	KÜTTO3-2	2,26E+04	6,24E+04	2,94E+04	5,53
KÜTTO3-3	3,07E+05	9,26E+05	4,32E+05	8,13	KÜTTO3-3	3,32E+04	7,48E+04	2,95E+04	7,47
KÜTTO3-4	1,55E+05	5,21E+05	1,90E+05	4,93	KÜTTO3-4	2,86E+04	6,05E+04	2,28E+04	5,60
KÜTTO3-5	1,68E+05	4,96E+05	1,77E+05	4,80	KÜTTO3-5	2,97E+04	5,71E+04	1,64E+04	5,53
KÜTTO3-6	2,50E+05	5,22E+05	2,15E+05	4,83	KÜTTO3-6	2,66E+04	5,77E+04	2,09E+04	5,13
KÜTTO3-7	1,88E+05	4,81E+05	1,82E+05	4,17	KÜTTO3-7	2,50E+04	5,94E+04	2,00E+04	5,63
KÜTTO3-8	3,10E+05	7,09E+05	2,77E+05	6,83	KÜTTO3-8	3,54E+04	6,69E+04	2,71E+04	6,13
KÜTTO3-9	2,23E+05	8,03E+05	4,00E+05	7,33	KÜTTO3-9	4,49E+04	7,47E+04	2,17E+04	7,60
KÜTTO3-10	1,99E+05	5,92E+05	2,55E+05	5,50	KÜTTO3-10	2,59E+04	5,93E+04	2,17E+04	5,23

Tablo 4 (devamı)

Algoritma	En iyi	Ortalama	STD	FMR	Algoritma	En iyi	Ortalama	STD	FMR
F5					F6				
ÜTTO	1,64E+05	2,50E+06	3,27E+06	8,73	ÜTTO	5,40E-01	9,33E+02	4,87E+03	8,77
KÜTTO3-1	6,31E+05	1,14E+06	3,49E+05	6,50	KÜTTO3-1	1,45E-02	2,87E+02	1,36E+03	5,53
KÜTTO3-2	3,53E+05	1,25E+06	5,02E+05	6,70	KÜTTO3-2	5,36E-03	1,37E+01	3,96E+01	6,33
KÜTTO3-3	2,55E+05	5,42E+05	3,19E+05	2,70	KÜTTO3-3	1,60E-03	1,53E+00	3,15E+00	4,00
KÜTTO3-4	1,85E+05	1,06E+06	6,70E+05	5,53	KÜTTO3-4	1,38E-02	1,31E+02	6,38E+02	6,20
KÜTTO3-5	1,77E+05	1,15E+06	6,45E+05	6,00	KÜTTO3-5	1,12E-02	2,37E+01	7,10E+01	5,93
KÜTTO3-6	5,52E+05	1,23E+06	8,08E+05	6,37	KÜTTO3-6	1,75E-02	6,30E+01	2,80E+02	5,73
KÜTTO3-7	1,71E+05	1,04E+06	6,27E+05	5,57	KÜTTO3-7	3,12E-02	4,44E+01	1,35E+02	5,73
KÜTTO3-8	2,98E+05	1,43E+06	7,96E+05	7,30	KÜTTO3-8	1,65E-02	2,41E+02	1,13E+03	7,50
KÜTTO3-9	2,10E+05	6,97E+05	4,87E+05	3,67	KÜTTO3-9	1,97E-03	7,46E-01	1,38E+00	3,57
KÜTTO3-10	1,32E+05	1,35E+06	8,48E+05	6,93	KÜTTO3-10	1,12E-01	3,18E+01	1,35E+02	6,70
F7					F8				
ÜTTO	8,38E+02	2,37E+03	1,86E+03	10,03	ÜTTO	-9,18E+07	-7,95E+07	4,25E+06	6,67
KÜTTO3-1	2,28E+02	8,50E+02	3,05E+02	6,57	KÜTTO3-1	-9,07E+07	-8,02E+07	4,50E+06	5,70
KÜTTO3-2	3,36E+02	7,20E+02	3,19E+02	4,67	KÜTTO3-2	-9,38E+07	-7,97E+07	4,81E+06	6,60
KÜTTO3-3	5,38E+02	1,18E+03	4,11E+02	8,63	KÜTTO3-3	-9,40E+07	-8,10E+07	4,93E+06	5,13
KÜTTO3-4	3,07E+02	7,02E+02	2,57E+02	5,10	KÜTTO3-4	-8,78E+07	-7,99E+07	3,82E+06	6,07
KÜTTO3-5	2,08E+02	7,16E+02	3,51E+02	5,13	KÜTTO3-5	-9,17E+07	-8,11E+07	4,29E+06	5,37
KÜTTO3-6	3,41E+02	6,95E+02	3,19E+02	4,67	KÜTTO3-6	-8,96E+07	-8,14E+07	4,32E+06	5,03
KÜTTO3-7	2,20E+02	6,37E+02	2,92E+02	3,97	KÜTTO3-7	-8,97E+07	-7,99E+07	4,50E+06	6,07
KÜTTO3-8	3,81E+02	6,82E+02	2,79E+02	4,40	KÜTTO3-8	-8,89E+07	-7,87E+07	4,19E+06	6,93
KÜTTO3-9	5,01E+02	1,25E+03	4,37E+02	8,50	KÜTTO3-9	-9,16E+07	-7,97E+07	4,40E+06	5,97
KÜTTO3-10	2,31E+02	6,54E+02	3,14E+02	4,33	KÜTTO3-10	-8,45E+07	-7,91E+07	3,60E+06	6,47
F9					F10				
ÜTTO	1,79E+05	2,93E+05	8,32E+04	6,42	ÜTTO	3,23E+04	7,62E+04	1,90E+04	9,43
KÜTTO3-1	1,79E+05	2,44E+05	4,73E+04	4,33	KÜTTO3-1	3,46E+04	5,86E+04	1,37E+04	6,53
KÜTTO3-2	1,80E+05	2,72E+05	5,90E+04	5,75	KÜTTO3-2	3,35E+04	5,33E+04	1,38E+04	5,27
KÜTTO3-3	1,49E+05	3,32E+05	1,08E+05	7,32	KÜTTO3-3	3,46E+04	6,21E+04	1,29E+04	7,00
KÜTTO3-4	1,59E+05	2,61E+05	5,30E+04	5,43	KÜTTO3-4	2,89E+04	5,34E+04	1,32E+04	5,03
KÜTTO3-5	1,49E+05	2,84E+05	8,77E+04	6,08	KÜTTO3-5	2,96E+04	5,09E+04	1,66E+04	4,23
KÜTTO3-6	1,29E+05	2,55E+05	6,97E+04	4,98	KÜTTO3-6	2,41E+04	5,00E+04	1,23E+04	4,30
KÜTTO3-7	1,49E+05	2,96E+05	1,17E+05	6,05	KÜTTO3-7	2,66E+04	5,13E+04	1,44E+04	4,88
KÜTTO3-8	1,29E+05	3,24E+05	1,08E+05	7,70	KÜTTO3-8	2,66E+04	6,42E+04	1,45E+04	7,37
KÜTTO3-9	1,79E+05	3,07E+05	1,07E+05	6,45	KÜTTO3-9	4,21E+04	6,18E+04	1,41E+04	6,87
KÜTTO3-10	1,89E+05	2,61E+05	5,20E+04	5,48	KÜTTO3-10	2,81E+04	5,38E+04	1,17E+04	5,08

Tablo 4 (devamı)

Algoritma	En iyi	Ortalama	STD	FMR	Algoritma	En iyi	Ortalama	STD	FMR
F11					F12				
ÜTTO	3,22E-01	5,34E+02	6,66E+02	9,43	ÜTTO	6,12E-02	2,15E+04	2,77E+04	5,90
KÜTTO3-1	1,00E-02	1,27E+02	1,73E+02	5,87	KÜTTO3-1	6,98E+00	2,03E+04	1,79E+04	6,57
KÜTTO3-2	1,79E-02	8,65E+01	1,24E+02	5,87	KÜTTO3-2	2,82E-02	2,90E+04	3,22E+04	6,60
KÜTTO3-3	6,91E-04	6,49E+01	9,01E+01	4,37	KÜTTO3-3	2,10E-02	1,23E+04	1,88E+04	4,33
KÜTTO3-4	1,27E-03	2,03E+02	3,94E+02	6,65	KÜTTO3-4	7,90E+00	2,70E+04	3,11E+04	6,43
KÜTTO3-5	2,18E-03	1,04E+02	1,39E+02	5,43	KÜTTO3-5	3,21E-02	1,59E+04	1,54E+04	5,43
KÜTTO3-6	8,61E-03	7,66E+01	1,10E+02	5,33	KÜTTO3-6	5,11E-01	1,80E+04	1,67E+04	6,07
KÜTTO3-7	1,27E-03	8,94E+01	1,02E+02	5,73	KÜTTO3-7	4,02E+00	1,59E+04	1,95E+04	5,23
KÜTTO3-8	3,24E-03	1,04E+02	1,13E+02	5,97	KÜTTO3-8	1,78E+01	1,80E+04	1,51E+04	6,73
KÜTTO3-9	5,83E-04	1,30E+02	1,50E+02	5,72	KÜTTO3-9	7,73E-02	1,76E+04	1,90E+04	5,80
KÜTTO3-10	3,71E-03	6,93E+01	8,03E+01	5,63	KÜTTO3-10	2,92E+00	2,87E+04	2,78E+04	6,90
F13					F14				
ÜTTO	2,56E+03	6,27E+04	5,11E+04	9,30	ÜTTO	9,98E+03	9,98E+03	0.0000e+00	5,8
KÜTTO3-1	1,65E+02	3,20E+04	8,57E+04	4,83	KÜTTO3-1	9,98E+03	1,03E+04	1,81E+03	5,98
KÜTTO3-2	3,39E-01	1,48E+04	3,47E+04	4,43	KÜTTO3-2	9,98E+03	1,06E+04	2,52E+03	6,15
KÜTTO3-3	1,07E+02	5,25E+04	6,57E+04	7,50	KÜTTO3-3	9,98E+03	1,03E+04	1,81E+03	5,97
KÜTTO3-4	3,46E-01	2,24E+04	6,20E+04	4,53	KÜTTO3-4	9,98E+03	1,03E+04	1,81E+03	5,98
KÜTTO3-5	2,65E+00	1,13E+04	2,06E+04	5,43	KÜTTO3-5	9,98E+03	1,03E+04	1,81E+03	5,98
KÜTTO3-6	7,42E+01	9,84E+03	3,21E+04	4,43	KÜTTO3-6	9,98E+03	1,03E+04	1,81E+03	5,98
KÜTTO3-7	4,88E+00	2,87E+04	6,17E+04	6,03	KÜTTO3-7	9,98E+03	9,98E+03	0.0000e+00	5,8
KÜTTO3-8	3,27E+02	1,51E+04	2,62E+04	6,13	KÜTTO3-8	9,98E+03	1,03E+04	1,81E+03	5,98
KÜTTO3-9	1,99E+01	5,53E+04	6,08E+04	8,03	KÜTTO3-9	9,98E+03	1,29E+04	9,75E+03	6,57
KÜTTO3-10	2,18E+02	2,53E+04	8,95E+04	5,33	KÜTTO3-10	9,98E+03	9,98E+03	0.0000e+00	5,8
F15					F16				
ÜTTO	3,07E+00	3,62E+00	1,11E+00	4,63	ÜTTO	-1,03E+04	-1,03E+04	6,78E-12	6,00
KÜTTO3-1	3,07E+00	4,75E+00	2,85E+00	5,50	KÜTTO3-1	-1,03E+04	-1,03E+04	6,71E-12	6,00
KÜTTO3-2	3,07E+00	4,38E+00	2,17E+00	6,35	KÜTTO3-2	-1,03E+04	-1,03E+04	6,78E-12	6,00
KÜTTO3-3	3,07E+00	5,95E+00	3,80E+00	6,58	KÜTTO3-3	-1,03E+04	-1,03E+04	6,71E-12	6,00
KÜTTO3-4	3,07E+00	4,12E+00	1,77E+00	5,27	KÜTTO3-4	-1,03E+04	-1,03E+04	6,78E-12	6,00
KÜTTO3-5	3,07E+00	5,65E+00	3,57E+00	6,00	KÜTTO3-5	-1,03E+04	-1,03E+04	6,78E-12	6,00
KÜTTO3-6	3,07E+00	4,16E+00	2,52E+00	5,00	KÜTTO3-6	-1,03E+04	-1,03E+04	6,78E-12	6,00
KÜTTO3-7	3,07E+00	4,88E+00	2,81E+00	7,08	KÜTTO3-7	-1,03E+04	-1,03E+04	6,78E-12	6,00
KÜTTO3-8	3,07E+00	4,90E+00	3,11E+00	5,92	KÜTTO3-8	-1,03E+04	-1,03E+04	6,78E-12	6,00
KÜTTO3-9	3,07E+00	5,02E+00	2,87E+00	7,43	KÜTTO3-9	-1,03E+04	-1,03E+04	6,71E-12	6,00
KÜTTO3-10	3,07E+00	4,70E+00	2,27E+00	6,23	KÜTTO3-10	-1,03E+04	-1,03E+04	6,78E-12	6,00

Tablo 4 (devamı)

Algoritma	En iyi	Ortalama	STD	FMR	Algoritma	En iyi	Ortalama	STD	FMR
F17					F18				
ÜTTO	3,98E+03	3,98E+03	0.0000e+00	6,00	ÜTTO	3,00E+04	3,00E+04	1,29E-11	6,00
KÜTTO3-1	3,98E+03	3,98E+03	0.0000e+00	6,00	KÜTTO3-1	3,00E+04	3,00E+04	6,70E-12	6,00
KÜTTO3-2	3,98E+03	3,98E+03	0.0000e+00	6,00	KÜTTO3-2	3,00E+04	3,00E+04	1,29E-11	6,00
KÜTTO3-3	3,98E+03	3,98E+03	0.0000e+00	6,00	KÜTTO3-3	3,00E+04	3,00E+04	1,25E-11	6,00
KÜTTO3-4	3,98E+03	3,98E+03	0.0000e+00	6,00	KÜTTO3-4	3,00E+04	3,00E+04	1,34E-11	6,00
KÜTTO3-5	3,98E+03	3,98E+03	0.0000e+00	6,00	KÜTTO3-5	3,00E+04	3,00E+04	1,27E-11	6,00
KÜTTO3-6	3,98E+03	3,98E+03	0.0000e+00	6,00	KÜTTO3-6	3,00E+04	3,00E+04	4,20E-12	6,00
KÜTTO3-7	3,98E+03	3,98E+03	0.0000e+00	6,00	KÜTTO3-7	3,00E+04	3,00E+04	1,32E-11	6,00
KÜTTO3-8	3,98E+03	3,98E+03	0.0000e+00	6,00	KÜTTO3-8	3,00E+04	3,00E+04	1,24E-11	6,00
KÜTTO3-9	3,98E+03	3,98E+03	0.0000e+00	6,00	KÜTTO3-9	3,00E+04	3,00E+04	5,34E-12	6,00
KÜTTO3-10	3,98E+03	3,98E+03	0.0000e+00	6,00	KÜTTO3-10	3,00E+04	3,00E+04	6,06E-12	6,00
F19					F20				
ÜTTO	-3,86E+04	-3,86E+04	2,71E-11	6,00	ÜTTO	-3,32E+04	-3,32E+04	9,74E+00	6,00
KÜTTO3-1	-3,86E+04	-3,86E+04	2,67E-11	6,00	KÜTTO3-1	-3,32E+04	-3,32E+04	6,02E-05	6,00
KÜTTO3-2	-3,86E+04	-3,86E+04	2,70E-11	6,00	KÜTTO3-2	-3,32E+04	-3,32E+04	1,75E+00	6,00
KÜTTO3-3	-3,86E+04	-3,86E+04	2,70E-11	6,00	KÜTTO3-3	-3,32E+04	-3,32E+04	1,41E-11	6,00
KÜTTO3-4	-3,86E+04	-3,86E+04	2,70E-11	6,00	KÜTTO3-4	-3,32E+04	-3,32E+04	1,53E-01	6,00
KÜTTO3-5	-3,86E+04	-3,86E+04	2,71E-11	6,00	KÜTTO3-5	-3,32E+04	-3,32E+04	2,21E-08	6,00
KÜTTO3-6	-3,86E+04	-3,86E+04	2,71E-11	6,00	KÜTTO3-6	-3,32E+04	-3,32E+04	1,44E-11	6,00
KÜTTO3-7	-3,86E+04	-3,86E+04	2,70E-11	6,00	KÜTTO3-7	-3,32E+04	-3,32E+04	4,23E-01	6,00
KÜTTO3-8	-3,86E+04	-3,86E+04	2,70E-11	6,00	KÜTTO3-8	-3,32E+04	-3,32E+04	5,68E-09	6,00
KÜTTO3-9	-3,86E+04	-3,86E+04	2,70E-11	6,00	KÜTTO3-9	-3,32E+04	-3,32E+04	1,49E-11	6,00
KÜTTO3-10	-3,86E+04	-3,86E+04	2,71E-11	6,00	KÜTTO3-10	-3,32E+04	-3,32E+04	8,00E-12	6,00
F21					F22				
ÜTTO	-1,02E+05	-1,02E+05	6,51E-11	6,00	ÜTTO	-1,04E+05	-1,04E+05	4,48E+02	6,00
KÜTTO3-1	-1,02E+05	-1,02E+05	6,51E-11	6,00	KÜTTO3-1	-1,04E+05	-1,04E+05	8,73E-12	6,00
KÜTTO3-2	-1,02E+05	-1,02E+05	6,74E-11	6,00	KÜTTO3-2	-1,04E+05	-1,04E+05	9,33E-12	6,00
KÜTTO3-3	-1,02E+05	-9,98E+04	9,31E+03	6,00	KÜTTO3-3	-1,04E+05	-1,00E+05	1,35E+04	6,00
KÜTTO3-4	-1,02E+05	-1,02E+05	6,68E-11	6,00	KÜTTO3-4	-1,04E+05	-1,04E+05	8,73E-12	6,00
KÜTTO3-5	-1,02E+05	-1,02E+05	6,90E-11	6,00	KÜTTO3-5	-1,04E+05	-1,04E+05	1,19E-11	6,00
KÜTTO3-6	-1,02E+05	-1,02E+05	6,85E-11	6,00	KÜTTO3-6	-1,04E+05	-1,04E+05	1,09E-11	6,00
KÜTTO3-7	-1,02E+05	-1,02E+05	6,56E-11	6,00	KÜTTO3-7	-1,04E+05	-1,04E+05	9,33E-12	6,00
KÜTTO3-8	-1,02E+05	-1,02E+05	6,51E-11	6,00	KÜTTO3-8	-1,04E+05	-1,04E+05	9,33E-12	6,00
KÜTTO3-9	-1,02E+05	-9,98E+04	9,31E+03	6,00	KÜTTO3-9	-1,04E+05	-1,04E+05	2,42E-11	6,00
KÜTTO3-10	-1,02E+05	-1,02E+05	6,68E-11	6,00	KÜTTO3-10	-1,04E+05	-1,04E+05	8,73E-12	6,00

Tablo 4 (devamı)

Algoritma	En iyi	Ortalama	STD	FMR
F23				
ÜTTO	-1,05E+05	-1,05E+05	8,73E-12	6,00
KÜTTO3-1	-1,05E+05	-1,05E+05	2,56E-11	6,00
KÜTTO3-2	-1,05E+05	-1,05E+05	2,06E-11	6,00
KÜTTO3-3	-1,05E+05	-1,05E+05	5,11E+01	6,00
KÜTTO3-4	-1,05E+05	-1,05E+05	1,84E-11	6,00
KÜTTO3-5	-1,05E+05	-1,05E+05	2,14E-11	6,00
KÜTTO3-6	-1,05E+05	-1,05E+05	2,58E-06	6,00
KÜTTO3-7	-1,05E+05	-1,05E+05	2,29E-11	6,00
KÜTTO3-8	-1,05E+05	-1,05E+05	2,29E-11	6,00
KÜTTO3-9	-1,05E+05	-1,04E+05	9,87E+03	6,00
KÜTTO3-10	-1,05E+05	-1,05E+05	2,29E-11	6,00

KÜTTO3 yönteminin yakınsama başarısı, tek modlu fonksiyonlar üzerindeki testlerle değerlendirilmiş; F1, F2 ve F5 fonksiyonlarında, KÜTTO3-3 (Gauss kaotik varyasyonu) en iyi performansı göstermiştir. Bu varyasyon, çözüm uzayında keşif-sömürü dengesini kurma açısından diğer varyasyonlardan ayrılarak öne çıkmıştır. Çok modlu fonksiyonlar üzerinde, F6’da KÜTTO3-9 (sinüzoidal varyasyon) ve F8, F10, F13 fonksiyonlarında KÜTTO3-6 (parçalı kaotik varyasyon) düşük sıralama, düşük ortalama ve düşük standart sapma değerleriyle dikkat çekmiştir. Hibrit fonksiyonlar üzerinde ise test sonuçları birbirine oldukça yakın değerler üretmiş ve genel olarak düşük performans sergilemiştir. Genel olarak değerlendirildiğinde, KÜTTO3 yöntemindeki tüm kaotik varyasyonlar, hem tek hem de çok modlu fonksiyonlar üzerinde orijinal ÜTTO yöntemine kıyasla daha iyi sonuçlar elde etmiştir.

Tablo 5 KÜTTO4 klasik benchmark fonksiyonları deney sonuçları

Algoritma	En iyi	Ortalama	STD	FMR	Algoritma	En iyi	Ortalama	STD	FMR
F1					F2				
ÜTTO	1,51E-01	2,54E+03	1,03E+04	8,90	ÜTTO	1,36E+00	8,63E+02	2,89E+03	6,27
KÜTTO4-1	1,86E-02	5,42E+00	1,97E+01	5,70	KÜTTO4-1	3,77E+00	1,18E+03	2,77E+03	7,00
KÜTTO4-2	2,84E-02	4,89E+00	1,86E+01	5,40	KÜTTO4-2	1,96E+00	8,00E+02	1,37E+03	6,27
KÜTTO4-3	1,03E-03	6,08E-01	1,40E+00	3,77	KÜTTO4-3	6,23E-01	1,56E+02	2,80E+02	5,30
KÜTTO4-4	1,75E-02	6,79E+00	1,97E+01	5,37	KÜTTO4-4	5,19E-01	1,15E+03	2,89E+03	5,10
KÜTTO4-5	1,20E-02	1,68E+01	7,66E+01	5,87	KÜTTO4-5	1,24E+00	3,96E+02	1,01E+03	5,40
KÜTTO4-6	3,81E-02	8,76E+01	4,25E+02	6,33	KÜTTO4-6	3,76E+00	6,01E+02	2,04E+03	6,97
KÜTTO4-7	8,83E-03	8,08E+01	3,06E+02	6,60	KÜTTO4-7	2,91E+00	1,93E+03	5,61E+03	6,80
KÜTTO4-8	7,49E-03	4,91E+01	2,12E+02	7,43	KÜTTO4-8	9,79E-01	4,23E+02	8,48E+02	5,73
KÜTTO4-9	2,93E-03	1,40E+00	3,66E+00	3,87	KÜTTO4-9	2,60E-01	4,01E+02	8,06E+02	5,70
KÜTTO4-10	5,08E-03	1,77E+02	6,21E+02	6,77	KÜTTO4-10	1,41E+00	3,42E+02	1,22E+03	5,47

Tablo 5 (devamı)

Algoritma	En iyi	Ortalama	STD	FMR	Algoritma	En iyi	Ortalama	STD	FMR
F3					F4				
ÜTTO	2,25E+05	1,73E+06	1,16E+06	9,37	ÜTTO	2,97E+04	6,38E+04	1,60E+04	6,50
KÜTTO4-1	1,77E+05	5,03E+05	2,24E+05	4,97	KÜTTO4-1	2,41E+04	5,67E+04	1,77E+04	5,43
KÜTTO4-2	1,70E+05	4,94E+05	2,27E+05	4,67	KÜTTO4-2	3,21E+04	5,72E+04	2,09E+04	5,40
KÜTTO4-3	1,71E+05	8,65E+05	5,28E+05	7,53	KÜTTO4-3	3,75E+04	7,26E+04	2,65E+04	7,50
KÜTTO4-4	1,31E+05	5,11E+05	2,16E+05	5,00	KÜTTO4-4	2,62E+04	5,84E+04	1,78E+04	5,70
KÜTTO4-5	2,02E+05	5,43E+05	2,86E+05	4,90	KÜTTO4-5	2,98E+04	5,61E+04	2,43E+04	4,97
KÜTTO4-6	1,65E+05	5,91E+05	2,88E+05	5,50	KÜTTO4-6	2,71E+04	6,15E+04	2,51E+04	6,07
KÜTTO4-7	1,55E+05	5,70E+05	2,60E+05	5,40	KÜTTO4-7	2,87E+04	6,41E+04	2,27E+04	6,63
KÜTTO4-8	2,37E+05	6,71E+05	2,98E+05	6,50	KÜTTO4-8	3,12E+04	6,02E+04	1,85E+04	6,00
KÜTTO4-9	1,64E+05	8,52E+05	6,18E+05	6,97	KÜTTO4-9	3,59E+04	6,81E+04	2,12E+04	7,10
KÜTTO4-10	1,28E+05	5,58E+05	2,79E+05	5,20	KÜTTO4-10	2,80E+04	5,38E+04	1,99E+04	4,70
F5					F6				
ÜTTO	7,83E+05	5,42E+06	9,56E+06	9,63	ÜTTO	2,62E-02	4,32E+02	1,00E+03	8,87
KÜTTO4-1	1,47E+05	1,10E+06	7,13E+05	5,73	KÜTTO4-1	2,62E-02	4,32E+02	1,00E+03	4,77
KÜTTO4-2	7,18E+05	1,45E+06	8,22E+05	7,43	KÜTTO4-2	2,62E-02	4,32E+02	1,00E+03	7,73
KÜTTO4-3	2,30E+05	6,64E+05	4,67E+05	3,33	KÜTTO4-3	3,68E-03	8,13E-01	2,65E+00	3,47
KÜTTO4-4	1,42E+05	1,19E+06	8,48E+05	5,97	KÜTTO4-4	1,02E-02	3,05E+01	1,42E+02	5,97
KÜTTO4-5	2,31E+05	1,00E+06	6,92E+05	4,90	KÜTTO4-5	7,03E-03	3,60E+00	1,00E+01	5,57
KÜTTO4-6	2,94E+05	1,92E+06	3,35E+06	6,63	KÜTTO4-6	7,51E-02	5,42E+00	1,76E+01	6,63
KÜTTO4-7	2,41E+05	1,22E+06	5,73E+05	6,40	KÜTTO4-7	9,37E-03	1,90E+01	7,32E+01	5,43
KÜTTO4-8	5,69E+05	1,45E+06	7,61E+05	6,97	KÜTTO4-8	2,94E-02	1,52E+01	3,46E+01	6,43
KÜTTO4-9	1,87E+05	6,14E+05	4,03E+05	3,10	KÜTTO4-9	8,96E-03	1,18E+00	3,25E+00	4,20
KÜTTO4-10	2,50E+05	1,07E+06	4,83E+05	5,90	KÜTTO4-10	1,98E-02	7,55E+00	1,85E+01	6,93
F7					F8				
ÜTTO	5,62E+02	2,77E+03	2,26E+03	10,10	ÜTTO	-8,88E+07	-7,97E+07	4,33E+06	6,10
KÜTTO4-1	2,56E+02	7,36E+02	2,60E+02	5,33	KÜTTO4-1	-9,51E+07	-8,05E+07	5,07E+06	5,70
KÜTTO4-2	1,76E+02	5,17E+02	2,06E+02	3,20	KÜTTO4-2	-9,13E+07	-7,97E+07	5,24E+06	6,03
KÜTTO4-3	6,14E+02	1,23E+03	4,09E+02	8,80	KÜTTO4-3	-9,26E+07	-8,06E+07	4,34E+06	5,43
KÜTTO4-4	2,25E+02	6,89E+02	2,91E+02	4,70	KÜTTO4-4	-8,65E+07	-7,87E+07	4,03E+06	6,63
KÜTTO4-5	3,12E+02	7,23E+02	3,64E+02	4,93	KÜTTO4-5	-9,35E+07	-7,98E+07	3,76E+06	6,23
KÜTTO4-6	1,91E+02	7,24E+02	2,95E+02	5,23	KÜTTO4-6	-8,48E+07	-7,87E+07	3,60E+06	6,60
KÜTTO4-7	2,32E+02	5,89E+02	1,91E+02	3,90	KÜTTO4-7	-8,83E+07	-8,04E+07	4,55E+06	5,30
KÜTTO4-8	2,52E+02	8,37E+02	4,46E+02	5,77	KÜTTO4-8	-8,96E+07	-8,05E+07	3,87E+06	5,30
KÜTTO4-9	7,48E+02	1,42E+03	3,82E+02	9,40	KÜTTO4-9	-8,86E+07	-8,07E+07	4,19E+06	5,53
KÜTTO4-10	2,50E+02	6,45E+02	2,56E+02	4,63	KÜTTO4-10	-8,80E+07	-7,78E+07	4,41E+06	7,13

Tablo 5 (devamı)

Algoritma	En iyi	Ortalama	STD	FMR	Algoritma	En iyi	Ortalama	STD	FMR
F9					F10				
ÜTTO	1,69E+05	2,79E+05	6,04E+04	6,02	ÜTTO	5,02E+04	7,90E+04	1,70E+04	9,77
KÜTTO4-1	1,39E+05	2,69E+05	8,89E+04	5,08	KÜTTO4-1	3,09E+04	5,21E+04	9,55E+03	5,37
KÜTTO4-2	1,69E+05	2,74E+05	8,63E+04	5,12	KÜTTO4-2	2,41E+04	4,82E+04	1,24E+04	4,28
KÜTTO4-3	1,79E+05	3,39E+05	8,56E+04	7,93	KÜTTO4-3	2,96E+04	6,12E+04	1,94E+04	6,88
KÜTTO4-4	1,39E+05	2,77E+05	7,37E+04	5,67	KÜTTO4-4	2,66E+04	5,04E+04	1,06E+04	5,00
KÜTTO4-5	1,39E+05	2,68E+05	8,05E+04	5,62	KÜTTO4-5	3,35E+04	5,40E+04	1,21E+04	5,23
KÜTTO4-6	1,09E+05	2,71E+05	8,42E+04	5,50	KÜTTO4-6	2,89E+04	4,97E+04	1,18E+04	4,52
KÜTTO4-7	1,39E+05	2,62E+05	9,13E+04	5,02	KÜTTO4-7	3,28E+04	5,18E+04	1,19E+04	4,87
KÜTTO4-8	1,59E+05	2,91E+05	7,16E+04	6,50	KÜTTO4-8	4,03E+04	6,10E+04	1,32E+04	6,92
KÜTTO4-9	2,29E+05	3,25E+05	7,98E+04	7,58	KÜTTO4-9	3,35E+04	6,07E+04	1,79E+04	6,92
KÜTTO4-10	1,59E+05	2,82E+05	6,96E+04	5,97	KÜTTO4-10	3,22E+04	5,58E+04	1,31E+04	6,25
F11					F12				
ÜTTO	3,22E-02	3,16E+02	3,29E+02	8,27	ÜTTO	1,86E+01	1,96E+04	2,09E+04	5,67
KÜTTO4-1	3,79E-03	9,18E+01	8,71E+01	5,93	KÜTTO4-1	3,58E-01	2,92E+04	3,21E+04	6,47
KÜTTO4-2	1,46E-03	8,84E+01	1,18E+02	5,90	KÜTTO4-2	4,09E+00	2,03E+04	2,56E+04	5,27
KÜTTO4-3	1,32E-04	1,20E+02	1,12E+02	6,27	KÜTTO4-3	2,22E-02	2,85E+04	3,24E+04	6,00
KÜTTO4-4	3,00E-03	1,11E+02	1,24E+02	6,07	KÜTTO4-4	1,04E+03	2,68E+04	3,03E+04	5,97
KÜTTO4-5	2,43E-03	6,78E+01	7,67E+01	5,13	KÜTTO4-5	2,33E+01	2,85E+04	2,65E+04	6,80
KÜTTO4-6	5,91E-03	9,06E+01	1,07E+02	5,63	KÜTTO4-6	2,01E+00	2,98E+04	4,08E+04	6,03
KÜTTO4-7	1,33E-03	6,44E+01	8,84E+01	5,20	KÜTTO4-7	3,10E+00	2,01E+04	1,86E+04	5,70
KÜTTO4-8	7,97E-03	1,35E+02	1,60E+02	6,57	KÜTTO4-8	6,67E-01	2,16E+04	2,15E+04	6,13
KÜTTO4-9	1,04E-03	9,37E+01	1,08E+02	5,27	KÜTTO4-9	3,20E-02	1,95E+04	1,75E+04	5,60
KÜTTO4-10	4,56E-03	9,88E+01	1,13E+02	5,77	KÜTTO4-10	4,77E+01	2,52E+04	2,50E+04	6,37
F13					F14				
ÜTTO	1,09E+03	7,94E+04	5,50E+04	9,90	ÜTTO	9,98E+03	9,98E+03	0.0000e+00	6,00
KÜTTO4-1	1,11E+02	2,30E+04	8,01E+04	5,03	KÜTTO4-1	9,98E+03	1,06E+04	2,52E+03	6,00
KÜTTO4-2	1,10E+02	6,47E+03	1,29E+04	5,00	KÜTTO4-2	9,98E+03	1,06E+04	3,62E+03	6,00
KÜTTO4-3	1,15E+02	3,41E+04	6,06E+04	6,80	KÜTTO4-3	9,98E+03	1,20E+04	9,12E+03	6,00
KÜTTO4-4	2,06E+00	2,65E+04	7,11E+04	6,03	KÜTTO4-4	9,98E+03	9,98E+03	8,25E-13	6,00
KÜTTO4-5	1,05E+02	1,22E+04	3,44E+04	5,27	KÜTTO4-5	9,98E+03	9,98E+03	0.0000e+00	6,00
KÜTTO4-6	1,14E+02	9,93E+03	1,72E+04	5,60	KÜTTO4-6	9,98E+03	1,03E+04	1,81E+03	6,00
KÜTTO4-7	1,41E+02	1,34E+04	3,08E+04	5,13	KÜTTO4-7	9,98E+03	9,98E+03	0.0000e+00	6,00
KÜTTO4-8	6,69E+00	1,81E+04	2,98E+04	6,50	KÜTTO4-8	9,98E+03	9,98E+03	0.0000e+00	6,00
KÜTTO4-9	5,08E+00	5,01E+04	1,18E+05	6,47	KÜTTO4-9	9,98E+03	1,03E+04	1,81E+03	6,00
KÜTTO4-10	5,22E+00	3,83E+03	4,62E+03	4,27	KÜTTO4-10	9,98E+03	9,98E+03	0.0000e+00	6,00

Tablo 5 (devamı)

Algoritma	En iyi	Ortalama	STD	FMR	Algoritma	En iyi	Ortalama	STD	FMR
F15					F16				
ÜTTO	3,07E+00	4,41E+00	2,61E+00	4,95	ÜTTO	-1,03E+04	-1,03E+04	6,78E-12	6,00
KÜTTO4-1	3,07E+00	4,10E+00	1,96E+00	5,22	KÜTTO4-1	-1,03E+04	-1,03E+04	6,71E-12	6,00
KÜTTO4-2	3,07E+00	4,92E+00	2,67E+00	6,17	KÜTTO4-2	-1,03E+04	-1,03E+04	6,78E-12	6,00
KÜTTO4-3	3,07E+00	4,51E+00	2,18E+00	5,77	KÜTTO4-3	-1,03E+04	-1,03E+04	6,78E-12	6,00
KÜTTO4-4	3,07E+00	4,44E+00	2,46E+00	5,88	KÜTTO4-4	-1,03E+04	-1,03E+04	6,78E-12	6,00
KÜTTO4-5	3,07E+00	5,76E+00	3,34E+00	6,78	KÜTTO4-5	-1,03E+04	-1,03E+04	6,78E-12	6,00
KÜTTO4-6	3,07E+00	5,82E+00	3,06E+00	7,32	KÜTTO4-6	-1,03E+04	-1,03E+04	6,71E-12	6,00
KÜTTO4-7	3,07E+00	4,30E+00	2,49E+00	5,02	KÜTTO4-7	-1,03E+04	-1,03E+04	6,71E-12	6,00
KÜTTO4-8	3,07E+00	5,03E+00	2,83E+00	5,95	KÜTTO4-8	-1,03E+04	-1,03E+04	6,78E-12	6,00
KÜTTO4-9	3,07E+00	5,11E+00	2,75E+00	6,88	KÜTTO4-9	-1,03E+04	-1,03E+04	6,78E-12	6,00
KÜTTO4-10	3,07E+00	4,87E+00	2,61E+00	6,07	KÜTTO4-10	-1,03E+04	-1,03E+04	6,78E-12	6,00
F17					F18				
ÜTTO	3,98E+03	3,98E+03	0.0000e+00	6,00	ÜTTO	3,00E+04	3,00E+04	1,31E-11	6,00
KÜTTO4-1	3,98E+03	3,98E+03	0.0000e+00	6,00	KÜTTO4-1	3,00E+04	3,00E+04	1,48E-11	6,00
KÜTTO4-2	3,98E+03	3,98E+03	0.0000e+00	6,00	KÜTTO4-2	3,00E+04	3,00E+04	1,29E-11	6,00
KÜTTO4-3	3,98E+03	3,98E+03	0.0000e+00	6,00	KÜTTO4-3	3,00E+04	3,00E+04	1,35E-11	6,00
KÜTTO4-4	3,98E+03	3,98E+03	0.0000e+00	6,00	KÜTTO4-4	3,00E+04	3,00E+04	1,33E-11	6,00
KÜTTO4-5	3,98E+03	3,98E+03	0.0000e+00	6,00	KÜTTO4-5	3,00E+04	3,00E+04	1,27E-11	6,00
KÜTTO4-6	3,98E+03	3,98E+03	0.0000e+00	6,00	KÜTTO4-6	3,00E+04	3,00E+04	1,34E-11	6,00
KÜTTO4-7	3,98E+03	3,98E+03	0.0000e+00	6,00	KÜTTO4-7	3,00E+04	3,00E+04	5,89E-12	6,00
KÜTTO4-8	3,98E+03	3,98E+03	0.0000e+00	6,00	KÜTTO4-8	3,00E+04	3,00E+04	1,38E-11	6,00
KÜTTO4-9	3,98E+03	3,98E+03	0.0000e+00	6,00	KÜTTO4-9	3,00E+04	3,00E+04	2,11E-11	6,00
KÜTTO4-10	3,98E+03	3,98E+03	0.0000e+00	6,00	KÜTTO4-10	3,00E+04	3,00E+04	1,41E-11	6,00
F19					F20				
ÜTTO	-3,86E+04	-3,86E+04	2,67E-11	6,00	ÜTTO	-3,32E+04	-3,31E+04	3,29E+02	6,00
KÜTTO4-1	-3,86E+04	-3,86E+04	2,71E-11	6,00	KÜTTO4-1	-3,32E+04	-3,32E+04	5,93E-07	6,00
KÜTTO4-2	-3,86E+04	-3,86E+04	2,71E-11	6,00	KÜTTO4-2	-3,32E+04	-3,32E+04	2,17E+02	6,00
KÜTTO4-3	-3,86E+04	-3,86E+04	2,70E-11	6,00	KÜTTO4-3	-3,32E+04	-3,32E+04	1,36E-11	6,00
KÜTTO4-4	-3,86E+04	-3,86E+04	2,71E-11	6,00	KÜTTO4-4	-3,32E+04	-3,32E+04	1,16E-01	6,00
KÜTTO4-5	-3,86E+04	-3,86E+04	2,68E-11	6,00	KÜTTO4-5	-3,32E+04	-3,32E+04	2,95E-11	6,00
KÜTTO4-6	-3,86E+04	-3,86E+04	2,71E-11	6,00	KÜTTO4-6	-3,32E+04	-3,32E+04	1,41E-11	6,00
KÜTTO4-7	-3,86E+04	-3,86E+04	2,71E-11	6,00	KÜTTO4-7	-3,32E+04	-3,32E+04	7,19E-11	6,00
KÜTTO4-8	-3,86E+04	-3,86E+04	2,71E-11	6,00	KÜTTO4-8	-3,32E+04	-3,32E+04	2,17E+02	6,00
KÜTTO4-9	-3,86E+04	-3,86E+04	2,70E-11	6,00	KÜTTO4-9	-3,32E+04	-3,32E+04	1,41E-11	6,00
KÜTTO4-10	-3,86E+04	-3,86E+04	2,71E-11	6,00	KÜTTO4-10	-3,32E+04	-3,32E+04	2,17E+02	6,00

Tablo 5 (devamı)

Algoritma	En iyi	Ortalama	STD	FMR	Algoritma	En iyi	Ortalama	STD	FMR
F21					F22				
ÜTTO	-1,02E+05	-1,02E+05	6,51E-11	6,00	ÜTTO	-1,04E+05	-1,04E+05	8,73E-12	6,00
KÜTTO4-1	-1,02E+05	-1,02E+05	6,79E-11	6,00	KÜTTO4-1	-1,04E+05	-1,04E+05	9,90E-12	6,00
KÜTTO4-2	-1,02E+05	-1,02E+05	6,85E-11	6,00	KÜTTO4-2	-1,04E+05	-1,04E+05	1,09E-11	6,00
KÜTTO4-3	-1,02E+05	-1,02E+05	9,47E-04	6,00	KÜTTO4-3	-1,04E+05	-1,04E+05	6,55E-08	6,00
KÜTTO4-4	-1,02E+05	-1,02E+05	6,56E-11	6,00	KÜTTO4-4	-1,04E+05	-1,04E+05	1,04E-11	6,00
KÜTTO4-5	-1,02E+05	-1,02E+05	6,56E-11	6,00	KÜTTO4-5	-1,04E+05	-1,04E+05	9,33E-12	6,00
KÜTTO4-6	-1,02E+05	-1,02E+05	6,74E-11	6,00	KÜTTO4-6	-1,04E+05	-1,04E+05	8,08E-12	6,00
KÜTTO4-7	-1,02E+05	-1,02E+05	6,96E-11	6,00	KÜTTO4-7	-1,04E+05	-1,04E+05	1,09E-11	6,00
KÜTTO4-8	-1,02E+05	-1,02E+05	7,01E-11	6,00	KÜTTO4-8	-1,04E+05	-1,04E+05	1,04E-11	6,00
KÜTTO4-9	-1,02E+05	-1,02E+05	4,20E-02	6,00	KÜTTO4-9	-1,04E+05	-1,04E+05	1,14E+03	6,00
KÜTTO4-10	-1,02E+05	-1,02E+05	6,58E-11	6,00	KÜTTO4-10	-1,04E+05	-1,04E+05	7,38E-12	6,00
F23									
ÜTTO	-1,05E+05	-1,03E+05	1,02E+04	6,17					
KÜTTO4-1	-1,05E+05	-1,05E+05	2,14E-11	5,98					
KÜTTO4-2	-1,05E+05	-1,05E+05	1,89E-11	5,98					
KÜTTO4-3	-1,05E+05	-1,05E+05	1,62E-11	5,98					
KÜTTO4-4	-1,05E+05	-1,05E+05	2,14E-11	5,98					
KÜTTO4-5	-1,05E+05	-1,05E+05	2,06E-11	5,98					
KÜTTO4-6	-1,05E+05	-1,05E+05	1,98E-11	5,98					
KÜTTO4-7	-1,05E+05	-1,05E+05	2,06E-11	5,98					
KÜTTO4-8	-1,05E+05	-1,05E+05	2,53E-11	5,98					
KÜTTO4-9	-1,05E+05	-1,05E+05	6,08E+02	5,98					
KÜTTO4-10	-1,05E+05	-1,05E+05	2,14E-11	5,98					

KÜTTO4 yönteminin yakınsama başarısı, tek modlu fonksiyonlar üzerindeki testlerle değerlendirilmiş; F1 fonksiyonunda, KÜTTO4-3 (Gauss harita kaotik varyasyonu) en iyi performansı göstermiştir. Bu varyasyon, çözüm uzayında keşif-sömürü dengesini sağlama açısından diğer varyasyonlardan daha başarılı olmuştur. Çok modlu fonksiyonlar üzerinde, F6 fonksiyonunda KÜTTO4-3 (Gauss kaotik varyasyonu), F7, F10 ve F12 fonksiyonlarında ise KÜTTO4-2 (daire kaotik varyasyonu) en düşük sıralama ve ortalama değerlerle öne çıkmıştır. Hibrit fonksiyonlar içinde, F15 fonksiyonu üzerinde orijinal ÜTTO algoritması; en düşük sıralama ve ortalama değeri elde ederek aynı türdeki kaotik varyasyonlara kıyasla daha üstün performans sergilemiştir.

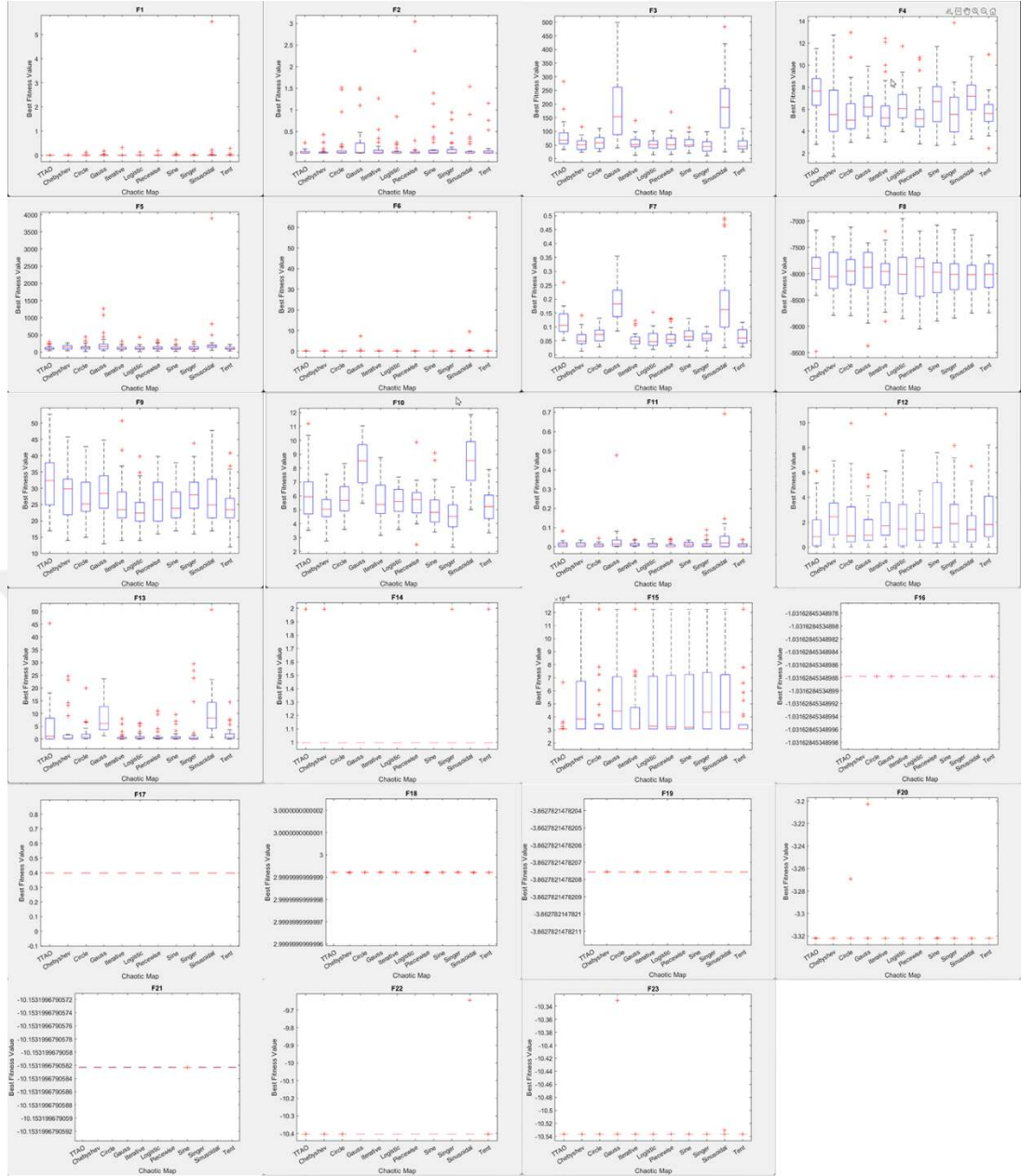
ÜTTO algoritması orijinal olarak birçok problemde tatmin edici sonuçlar ürettiği halde klasik benchmark fonksiyonların büyük bir kısmında algoritma başarı sıralamasında KÜTTO varyasyonlarına göre geride kalmıştır. Ayrıca bazı durumlarda

gözlenen yüksek standart sapma değeri algoritmanın kararsızlık eğilimine sahip olabileceğini göstermektedir. Özellikle F3 ve F7 fonksiyonlarında ÜTTO'nun STD değerinin oldukça yüksek olması sonuçların kararsız olduğunu göstermektedir.

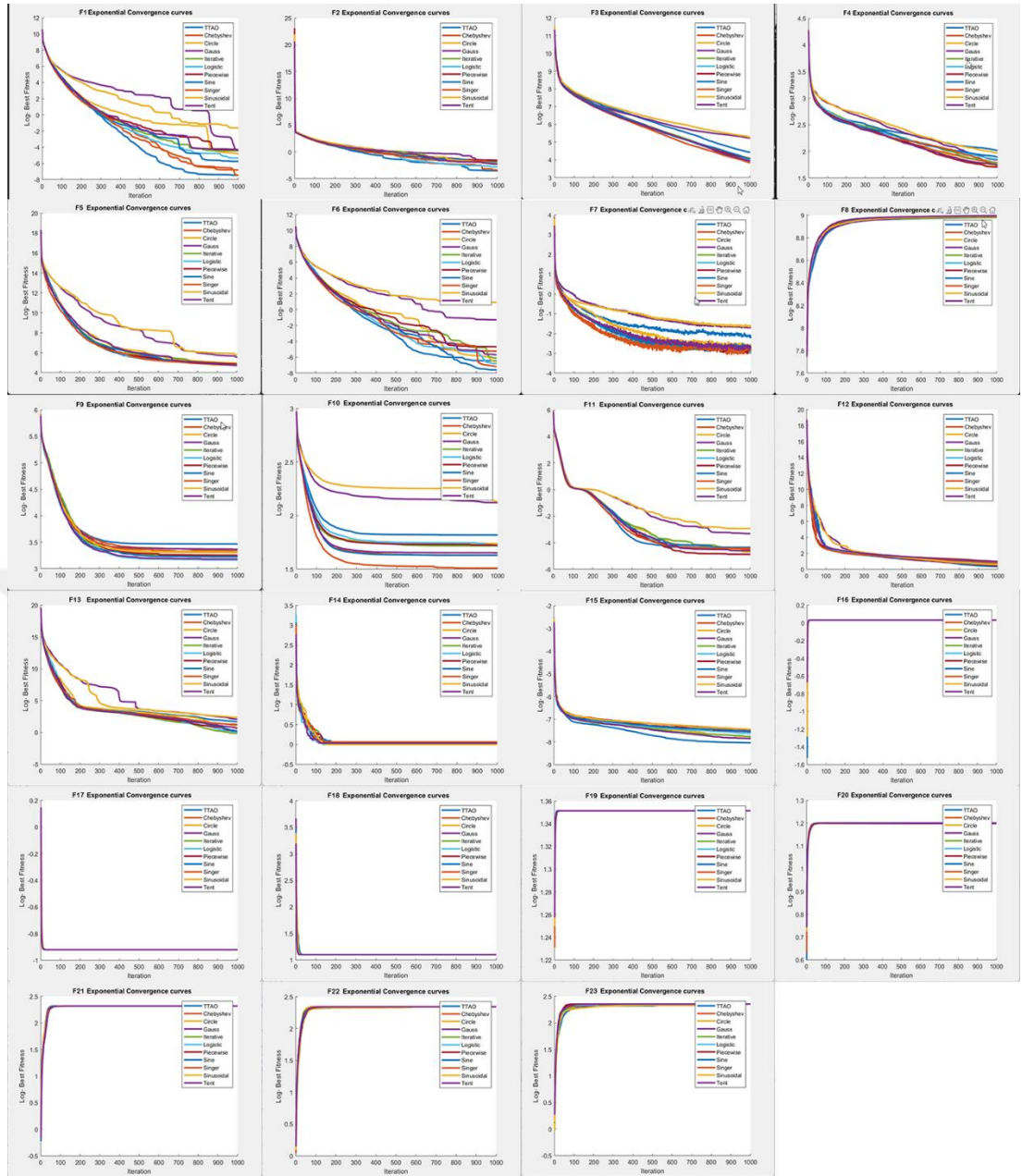
10 farklı kaotik haritanın entegre edildiği KÜTTO1- KÜTTO4 versiyonları, klasik benchmark fonksiyonları ile test edildiğinde ÜTTO algoritmasına kıyasla daha düşük ortalama ve standart sapma değerleri üretmiştir. Bu durum kaotik başlangıç yaklaşımlarının algoritmaya daha dengeli ve keşif yoğun bir yapı kazandırdığını göstermektedir. Örneğin, F3 fonksiyonu üzerinde KÜTTO3-2 ve KÜTTO4-2 varyasyonları daha düşük standart sapma ve ortalama değerleriyle tutarlı ve kaliteli çözümler üretmiştir. Benzer şekilde F1, F2 ve F11 fonksiyonları üzerinde KÜTTO versiyonları en iyi ve ortalama değerleri bakımından ÜTTO'nun önüne geçmiştir. Bu durum kaotik haritaların erken evrede çözüm uzayının verimli taranmasında etkili olduğunu göstermektedir.

Friedman sıralama puanı (FMR), bir algoritmanın diğer algoritmalara kıyasla göreceli başarı bilgisini verir. KÜTTO versiyonlarının FMR puanları incelendiğinde, ÜTTO'ya göre bir çok fonksiyonda daha iyi sıralamalarda yer aldığı görülmektedir. Örneğin, F1 fonksiyonu üzerinde KÜTTO3-3 FMR=2.90 puanı ile en düşük sırayı alarak en başarılı yaklaşımı ortaya koymuştur.

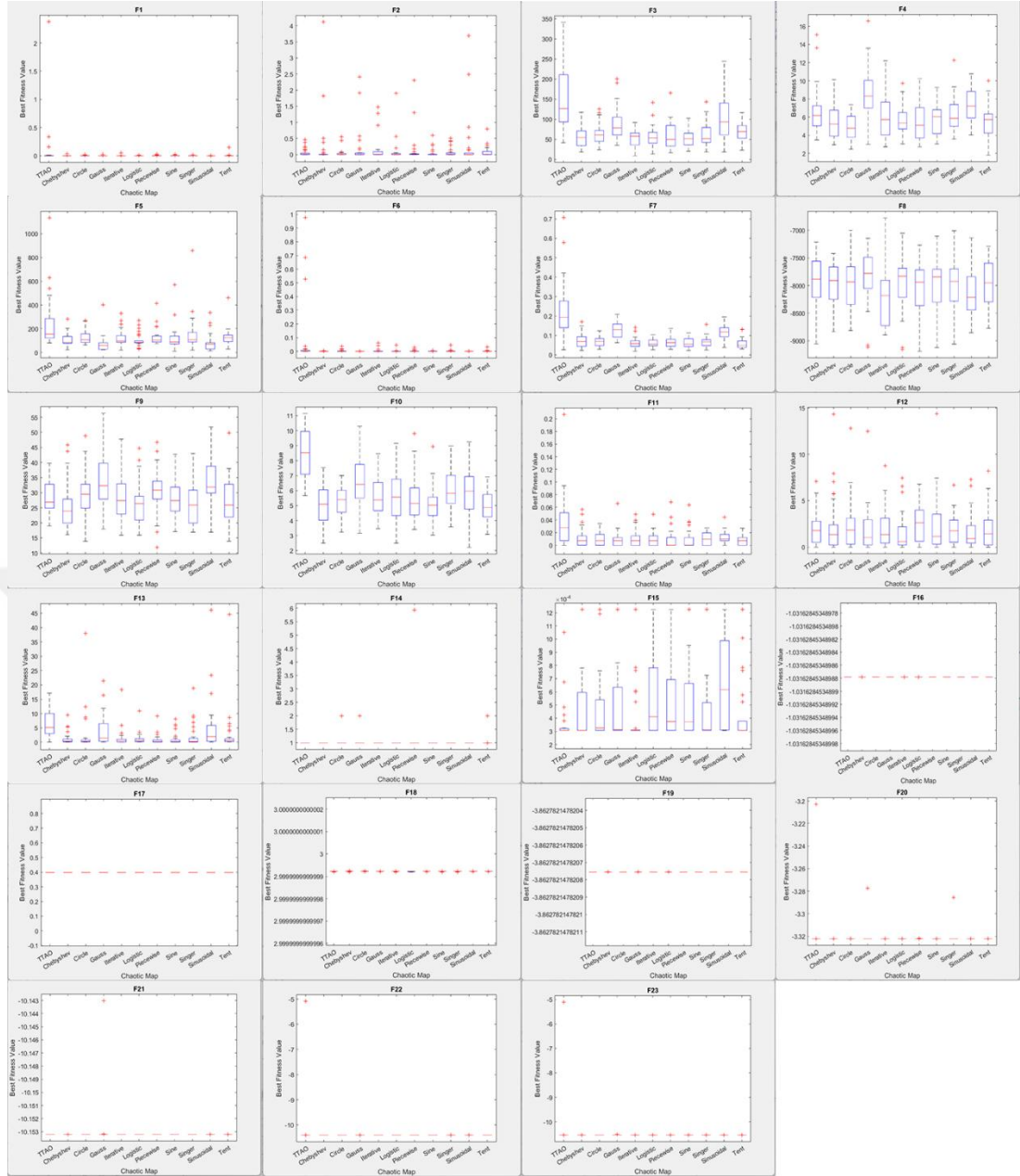
İstikrar ve kararlılık yönünden değerlendirildiğinde, KÜTTO3-3 ve KÜTTO4-3 varyasyonları; düşük ortalama ve düşük standart sapma değerleriyle öne çıkmakta, bu sayede hem kaliteli çözümler üretmekte hem de farklı klasik fonksiyonlar üzerinde bu istikrarlılıklarını sürdürdükleri gözlenmektedir. Öte yandan, KÜTTO1-9 ve KÜTTO3-9 gibi bazı versiyonlar ise bazı fonksiyonlarda yüksek değerler ile tutarsız sonuçlar vermiştir. Bu versiyonlarda kullanılan kaotik haritaların, çözüm uzayında tutarlı gezinme sağlayamadığı görülmektedir. F16-F23 aralığındaki fonksiyonlarda tüm sonuçların aynı değerler ile üretildiği gözlenmiştir. Bu fonksiyonlar üzerinde, kullanılan kaotik haritalar arasında anlamlı bir performans farkı gözlenmemiştir.



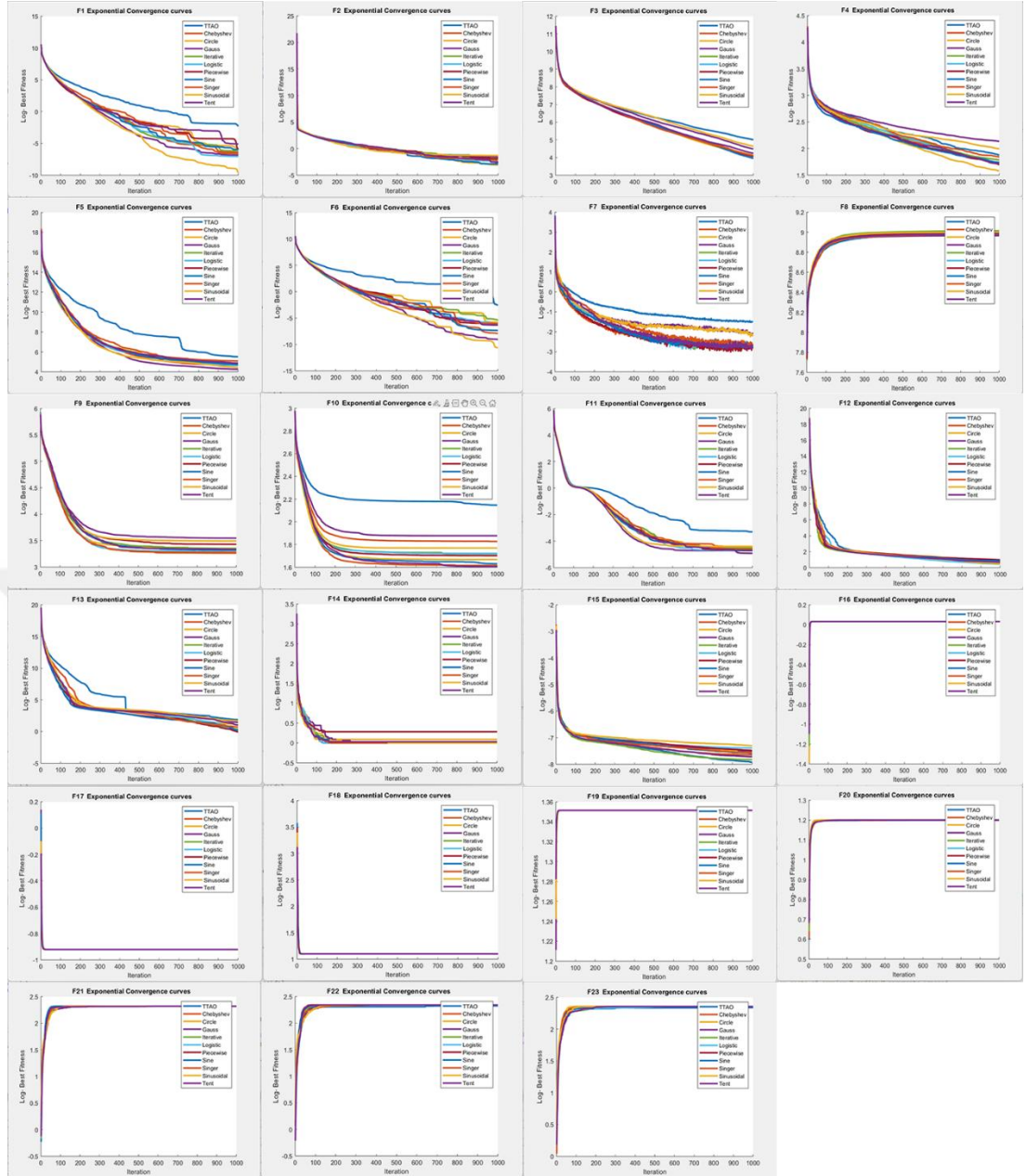
Şekil 11 KÜTTO1 klasik benchmark fonksiyonlarının kutu grafiği



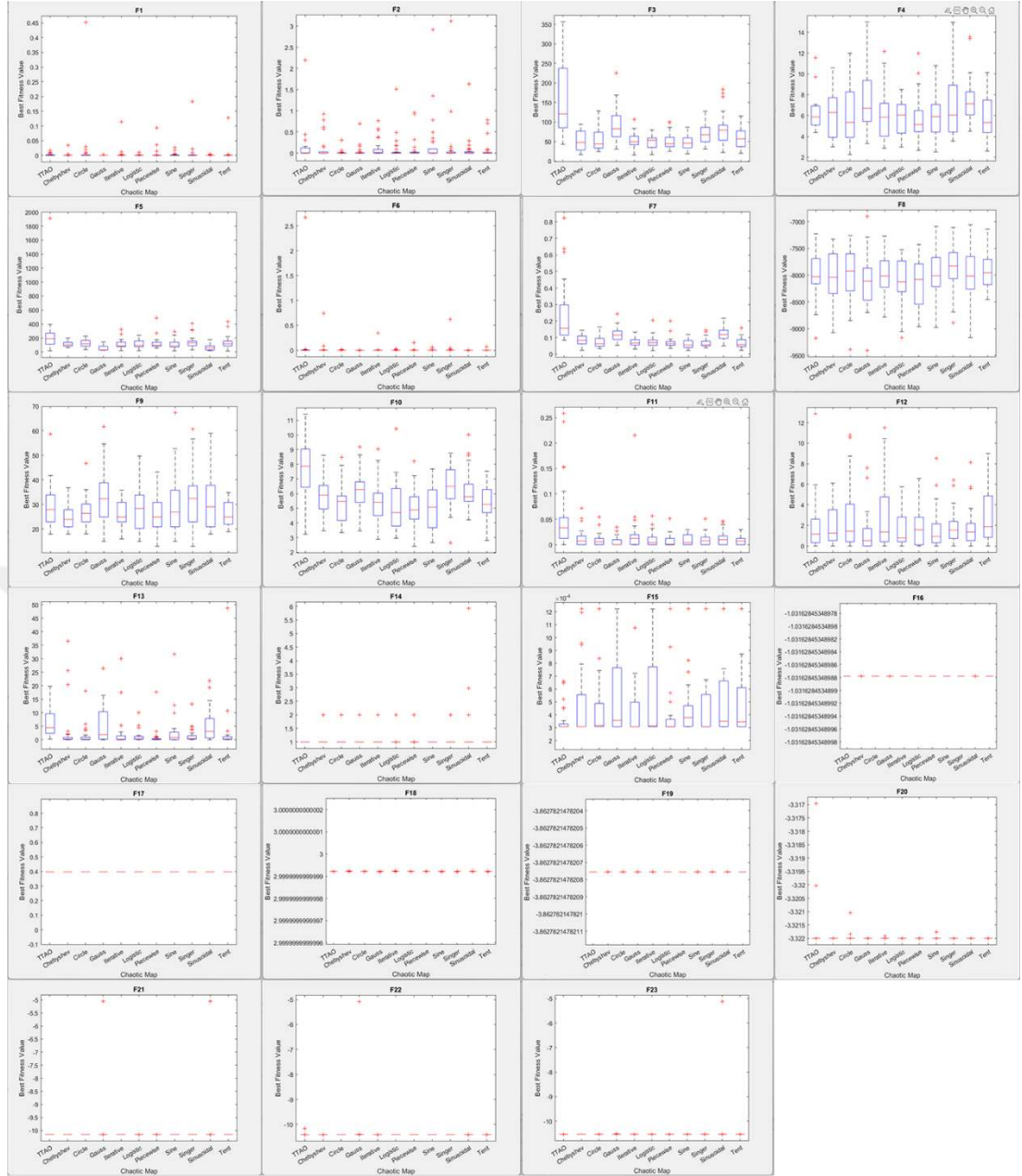
Şekil 12 KÜTTO1 klasik benchmark fonksiyonlarının yakınsama eğrisi grafiği



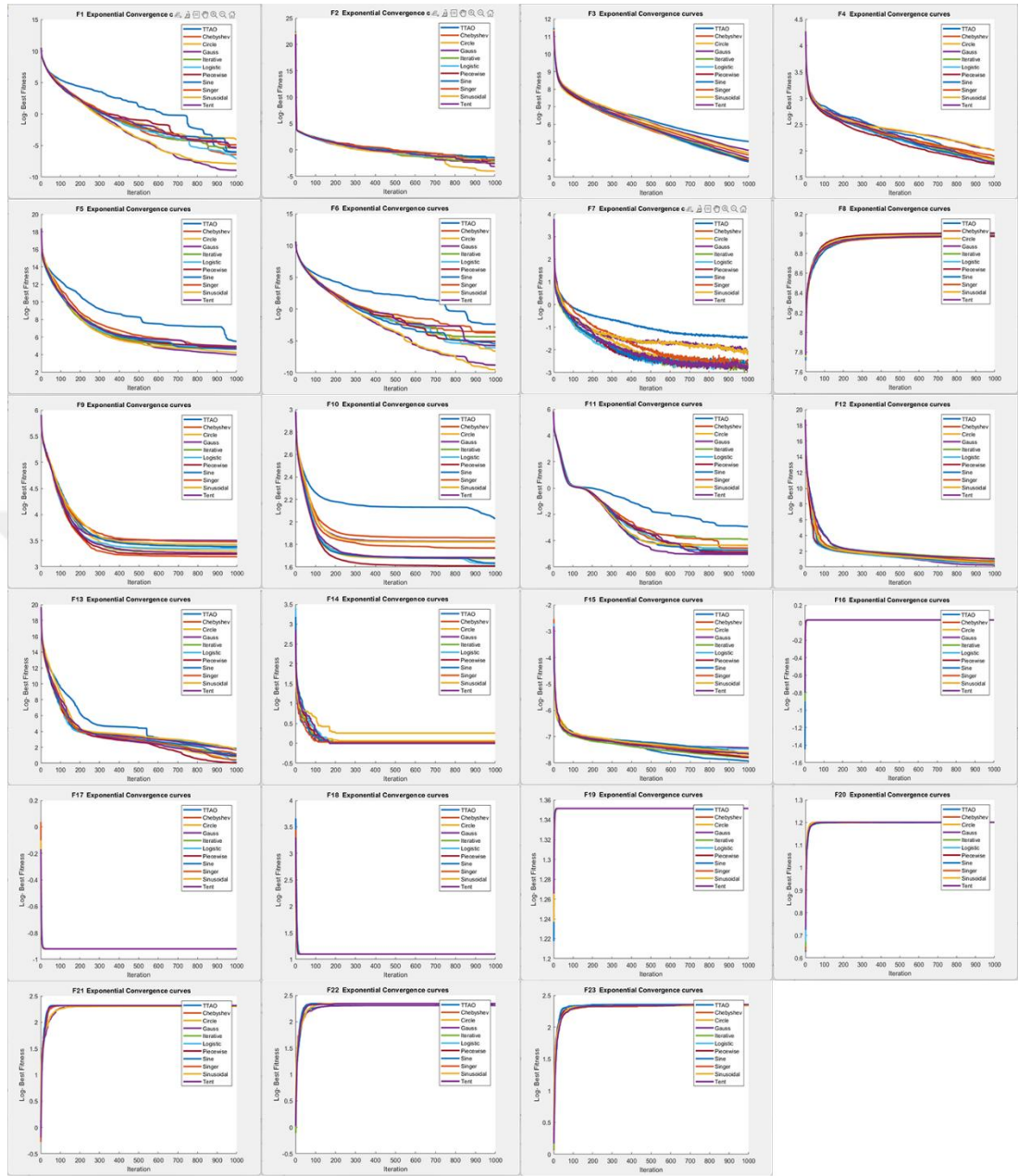
Şekil 13 KÜTTO2 klasik benchmark fonksiyonlarının kutu grafiği



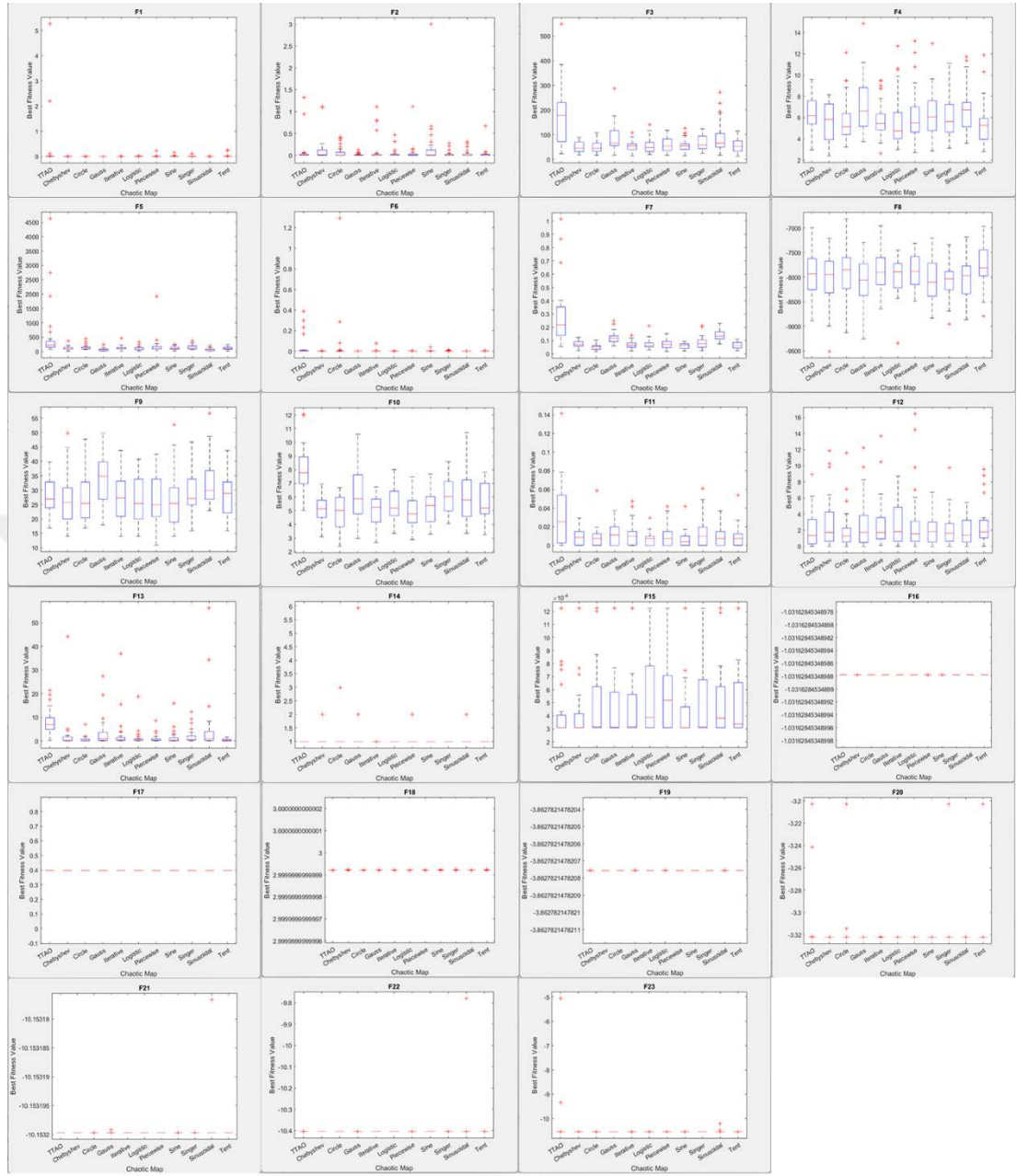
Şekil 14 KÜTTO2 klasik benchmark fonksiyonlarının yakınsama eğrisi grafiği



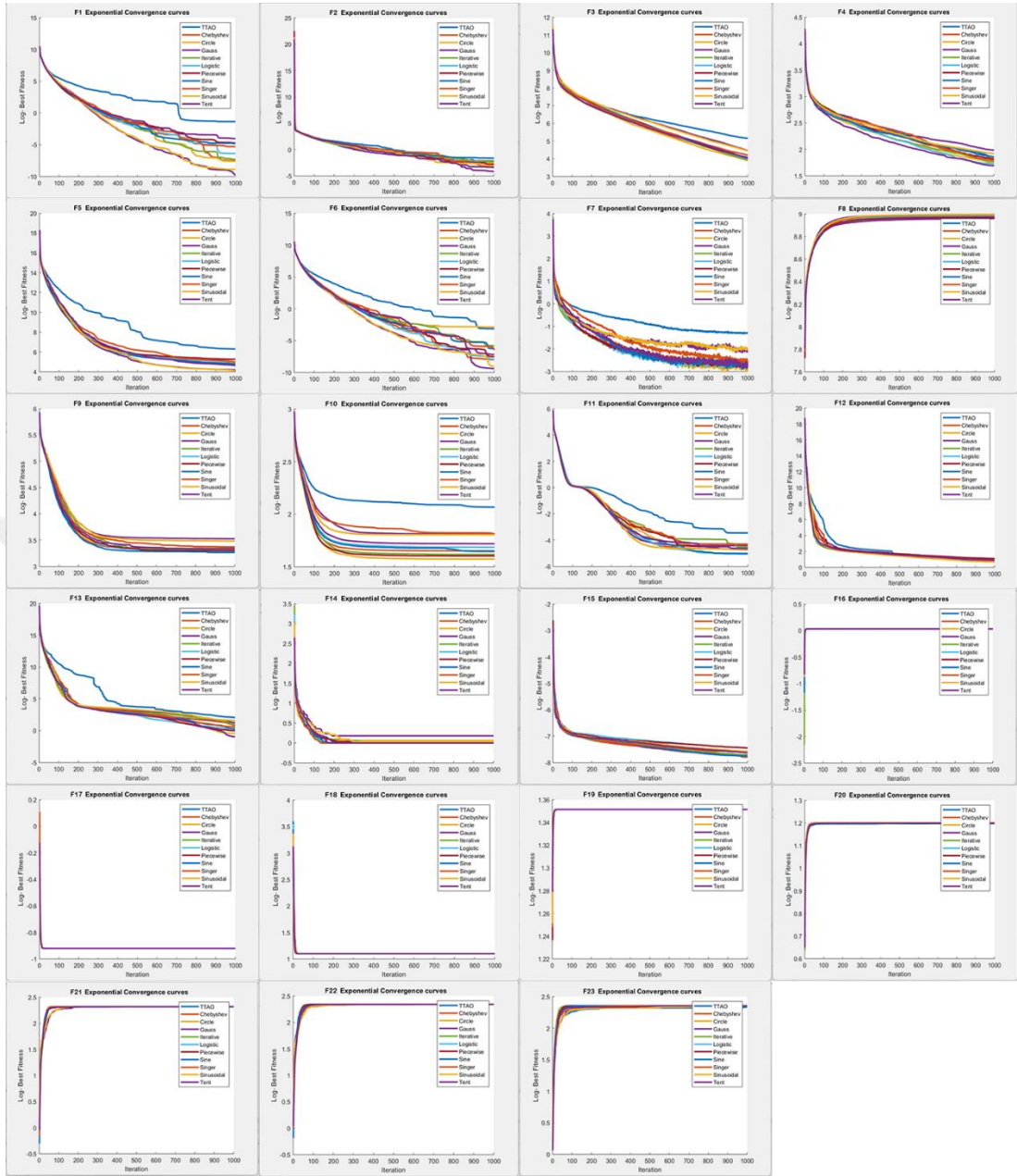
Şekil 15 KÜTTO3 klasik benchmark fonksiyonlarının kutu grafiği



Şekil 16 KÜTTO3 klasik benchmark fonksiyonlarının yakınsama eğrisi grafiği



Şekil 17 KÜTTO4 klasik benchmark fonksiyonlarının kutu grafiği



Şekil 18 KÜTTO4 klasik benchmark fonksiyonlarının yakınsama eğrisi grafiği.

5.2.CEC'17 Test Fonksiyonları

Bu bölümde, önerilen 10 farklı KÜTTO versiyonu ile orijinal ÜTTO algoritmasının IEEE Congress On Evolutionary Computation (CEC) tarafından sunulan CEC'17 test fonksiyonları kullanılarak karşılaştırılmalı olarak değerlendirilmiştir. CEC'17 test paketi; tek modlu, çok modlu, hibrit ve birleşim fonksiyonlardan oluşan 29 farklı test fonksiyonundan oluşmaktadır. Deneysel sonuçlar, KÜTTO versiyonlarının büyük çoğunluğunun ÜTTO algoritmasına kıyasla ortalama başarı (mean) ve kararlılık (standart sapma - STD) açısından daha iyi performans sergilediğini göstermektedir. Özellikle F1–F10 aralığındaki, göreceli olarak daha az karmaşık yapıya sahip fonksiyonlar üzerinde birçok kaotik harita

varyasyonu, ÜTTO'nun ulaştığı ortalama değerlerin altında sonuçlar üretmiştir. Bu bulgu, kaotik haritaların çözüm uzayının erken aşamalarında daha etkili bir tarama sağladığını ortaya koymaktadır. Elde edilen deneysel sonuçlara ait ortalama ve standart sapma değerleri Tablo 6, 7, 8 ve 9'da; yakınsama eğrisi grafikleri Tablo 19, 21, 23 ve 25'te; kutu grafikleri ise Tablo 20, 22, 24 ve 26'da sunulmuştur.

Tablo 6 KÜTTO1 CEC'17 test fonksiyonları üzerinde deney sonuçları

Algoritma	En iyi	Ortalama	STD	FMR	Algoritma	En iyi	Ortalama	STD	FMR
F1					F3				
ÜTTO	1,97E+02	3,34E+03	3,36E+03	4,53	ÜTTO	9,82E+03	1,83E+04	4,39E+03	9,33
KÜTTO1-1	1,82E+02	4,65E+03	7,05E+03	4,57	KÜTTO1-1	6,60E+03	1,25E+04	3,74E+03	5,23
KÜTTO1-2	2,61E+02	2,28E+04	5,51E+04	6,93	KÜTTO1-2	6,11E+03	1,23E+04	4,10E+03	4,90
KÜTTO1-3	1,87E+03	9,07E+04	2,27E+05	8,40	KÜTTO1-3	6,51E+03	1,41E+04	4,19E+03	6,73
KÜTTO1-4	4,90E+02	6,38E+03	9,57E+03	5,60	KÜTTO1-4	5,81E+03	1,20E+04	3,72E+03	4,80
KÜTTO1-5	3,80E+02	1,05E+04	2,72E+04	5,20	KÜTTO1-5	7,26E+03	1,25E+04	3,05E+03	5,53
KÜTTO1-6	3,32E+02	6,03E+03	8,73E+03	5,87	KÜTTO1-6	5,18E+03	1,29E+04	3,52E+03	6,13
KÜTTO1-7	3,87E+02	1,61E+04	4,20E+04	5,17	KÜTTO1-7	8,22E+03	1,33E+04	3,21E+03	6,30
KÜTTO1-8	4,04E+02	1,01E+04	2,58E+04	5,43	KÜTTO1-8	6,63E+03	1,30E+04	3,64E+03	5,67
KÜTTO1-9	3,86E+02	2,28E+06	8,09E+06	9,07	KÜTTO1-9	6,26E+03	1,32E+04	2,61E+03	6,27
KÜTTO1-10	2,71E+02	7,62E+03	1,25E+04	5,23	KÜTTO1-10	4,58E+03	1,21E+04	3,56E+03	5,10
F4					F5				
ÜTTO	4,72E+02	4,99E+02	2,03E+01	5,43	ÜTTO	6,08E+02	6,65E+02	2,65E+01	7,73
KÜTTO1-1	4,01E+02	5,02E+02	2,44E+01	6,40	KÜTTO1-1	6,09E+02	6,55E+02	2,27E+01	6,83
KÜTTO1-2	4,07E+02	5,08E+02	3,26E+01	6,30	KÜTTO1-2	5,81E+02	6,48E+02	2,75E+01	5,90
KÜTTO1-3	4,72E+02	5,10E+02	1,94E+01	7,50	KÜTTO1-3	5,81E+02	6,32E+02	2,49E+01	4,03
KÜTTO1-4	4,70E+02	4,98E+02	1,84E+01	5,03	KÜTTO1-4	5,90E+02	6,52E+02	3,23E+01	6,50
KÜTTO1-5	4,70E+02	5,08E+02	2,55E+01	6,00	KÜTTO1-5	5,76E+02	6,40E+02	2,88E+01	5,30
KÜTTO1-6	4,68E+02	5,09E+02	2,20E+01	5,97	KÜTTO1-6	5,81E+02	6,50E+02	2,93E+01	6,27
KÜTTO1-7	4,69E+02	5,02E+02	1,92E+01	5,40	KÜTTO1-7	6,05E+02	6,54E+02	2,80E+01	6,70
KÜTTO1-8	4,72E+02	5,04E+02	1,95E+01	5,70	KÜTTO1-8	5,99E+02	6,56E+02	2,90E+01	7,03
KÜTTO1-9	4,70E+02	5,11E+02	2,22E+01	6,97	KÜTTO1-9	5,74E+02	6,28E+02	2,85E+01	3,67
KÜTTO1-10	4,71E+02	5,01E+02	1,93E+01	5,30	KÜTTO1-10	5,82E+02	6,49E+02	2,70E+01	6,03
F6					F7				
ÜTTO	6,06E+02	6,28E+02	1,03E+01	8,17	ÜTTO	8,44E+02	8,86E+02	2,49E+01	7,90
KÜTTO1-1	6,09E+02	6,22E+02	7,46E+00	6,03	KÜTTO1-1	8,04E+02	8,69E+02	2,84E+01	6,10
KÜTTO1-2	6,05E+02	6,20E+02	8,28E+00	5,43	KÜTTO1-2	7,90E+02	8,55E+02	3,60E+01	4,67
KÜTTO1-3	6,05E+02	6,22E+02	7,47E+00	6,20	KÜTTO1-3	8,06E+02	8,64E+02	3,90E+01	5,73
KÜTTO1-4	6,06E+02	6,19E+02	6,74E+00	4,73	KÜTTO1-4	8,07E+02	8,65E+02	3,02E+01	5,70
KÜTTO1-5	6,08E+02	6,23E+02	6,62E+00	6,73	KÜTTO1-5	8,25E+02	8,77E+02	2,30E+01	7,23
KÜTTO1-6	6,05E+02	6,21E+02	1,04E+01	5,30	KÜTTO1-6	8,02E+02	8,69E+02	3,24E+01	6,00
KÜTTO1-7	6,08E+02	6,20E+02	8,15E+00	5,27	KÜTTO1-7	8,15E+02	8,70E+02	3,42E+01	6,03
KÜTTO1-8	6,07E+02	6,24E+02	1,02E+01	6,37	KÜTTO1-8	8,15E+02	8,75E+02	3,51E+01	6,50
KÜTTO1-9	6,05E+02	6,19E+02	6,43E+00	4,87	KÜTTO1-9	7,99E+02	8,60E+02	3,61E+01	5,37
KÜTTO1-10	6,12E+02	6,26E+02	8,95E+00	6,90	KÜTTO1-10	8,03E+02	8,58E+02	3,35E+01	4,77

Tablo 6 (devamı)

Algoritma	En iyi	Ortalama	STD	FMR	Algoritma	En iyi	Ortalama	STD	FMR
F8					F9				
ÜTTO	8,72E+02	9,20E+02	2,11E+01	5,30	ÜTTO	9,47E+02	3,13E+03	1,12E+03	9,03
KÜTTO1-1	8,57E+02	9,19E+02	2,23E+01	5,53	KÜTTO1-1	9,48E+02	2,20E+03	1,33E+03	6,23
KÜTTO1-2	8,89E+02	9,27E+02	2,22E+01	6,23	KÜTTO1-2	9,42E+02	1,83E+03	1,06E+03	5,30
KÜTTO1-3	8,65E+02	9,14E+02	2,53E+01	4,87	KÜTTO1-3	9,26E+02	1,30E+03	3,89E+02	3,53
KÜTTO1-4	8,80E+02	9,28E+02	2,00E+01	7,13	KÜTTO1-4	9,55E+02	2,04E+03	9,41E+02	6,13
KÜTTO1-5	8,73E+02	9,16E+02	2,31E+01	5,47	KÜTTO1-5	9,70E+02	2,29E+03	9,68E+02	6,73
KÜTTO1-6	8,77E+02	9,27E+02	2,30E+01	6,73	KÜTTO1-6	9,91E+02	2,09E+03	1,22E+03	5,97
KÜTTO1-7	8,59E+02	9,22E+02	2,37E+01	6,07	KÜTTO1-7	9,82E+02	2,10E+03	1,03E+03	6,30
KÜTTO1-8	8,91E+02	9,31E+02	2,13E+01	7,20	KÜTTO1-8	9,35E+02	2,31E+03	1,10E+03	6,93
KÜTTO1-9	8,82E+02	9,14E+02	2,10E+01	4,93	KÜTTO1-9	9,40E+02	1,25E+03	3,34E+02	3,13
KÜTTO1-10	8,96E+02	9,26E+02	1,83E+01	6,53	KÜTTO1-10	1,00E+03	2,32E+03	1,17E+03	6,70
F10					F11				
ÜTTO	4,75E+03	5,33E+03	3,38E+02	5,17	ÜTTO	1,16E+03	1,21E+03	3,45E+01	6,07
KÜTTO1-1	4,34E+03	5,40E+03	3,64E+02	5,70	KÜTTO1-1	1,15E+03	1,21E+03	4,01E+01	5,77
KÜTTO1-2	4,48E+03	5,42E+03	3,59E+02	5,90	KÜTTO1-2	1,14E+03	1,20E+03	4,06E+01	5,00
KÜTTO1-3	5,62E+03	6,48E+03	4,12E+02	10,37	KÜTTO1-3	1,14E+03	1,21E+03	3,96E+01	6,77
KÜTTO1-4	4,01E+03	5,20E+03	4,60E+02	4,57	KÜTTO1-4	1,17E+03	1,20E+03	2,55E+01	5,90
KÜTTO1-5	4,79E+03	5,38E+03	2,68E+02	5,63	KÜTTO1-5	1,14E+03	1,21E+03	4,08E+01	5,40
KÜTTO1-6	4,43E+03	5,25E+03	4,54E+02	4,43	KÜTTO1-6	1,14E+03	1,21E+03	3,83E+01	6,17
KÜTTO1-7	4,74E+03	5,33E+03	3,53E+02	5,33	KÜTTO1-7	1,13E+03	1,21E+03	4,27E+01	5,73
KÜTTO1-8	3,99E+03	4,98E+03	4,64E+02	3,23	KÜTTO1-8	1,15E+03	1,21E+03	3,65E+01	6,60
KÜTTO1-9	5,90E+03	6,52E+03	3,27E+02	10,43	KÜTTO1-9	1,14E+03	1,22E+03	4,02E+01	6,83
KÜTTO1-10	3,98E+03	5,31E+03	4,75E+02	5,23	KÜTTO1-10	1,15E+03	1,21E+03	3,55E+01	5,77
F12					F13				
ÜTTO	1,29E+05	5,49E+05	3,95E+05	6,40	ÜTTO	2,28E+03	7,70E+03	4,65E+03	5,20
KÜTTO1-1	6,45E+04	6,31E+05	5,56E+05	6,40	KÜTTO1-1	2,15E+03	1,35E+04	1,01E+04	6,87
KÜTTO1-2	9,28E+04	4,60E+05	2,91E+05	5,93	KÜTTO1-2	1,48E+03	1,10E+04	9,13E+03	6,10
KÜTTO1-3	4,53E+04	5,33E+05	5,06E+05	5,60	KÜTTO1-3	1,51E+03	1,61E+04	1,25E+04	7,20
KÜTTO1-4	2,12E+04	5,42E+05	3,83E+05	5,93	KÜTTO1-4	1,58E+03	1,22E+04	1,21E+04	5,97
KÜTTO1-5	7,36E+04	5,05E+05	4,69E+05	5,30	KÜTTO1-5	2,29E+03	9,11E+03	6,26E+03	5,53
KÜTTO1-6	6,09E+04	6,84E+05	5,64E+05	6,47	KÜTTO1-6	2,11E+03	9,48E+03	8,85E+03	5,27
KÜTTO1-7	4,96E+04	4,48E+05	3,46E+05	5,57	KÜTTO1-7	2,62E+03	1,48E+04	1,22E+04	7,23
KÜTTO1-8	4,87E+04	7,04E+05	6,10E+05	6,70	KÜTTO1-8	2,07E+03	8,46E+03	6,64E+03	5,07
KÜTTO1-9	2,94E+04	5,25E+05	6,14E+05	5,13	KÜTTO1-9	1,51E+03	1,25E+04	1,27E+04	6,03
KÜTTO1-10	7,05E+04	6,00E+05	3,98E+05	6,57	KÜTTO1-10	2,17E+03	9,14E+03	8,07E+03	5,53

Tablo 6 (devamı)

Algoritma	En iyi	Ortalama	STD	FMR	Algoritma	En iyi	Ortalama	STD	FMR
F14					F15				
ÜTTO	2,14E+03	9,76E+03	7,78E+03	6,20	ÜTTO	1,62E+03	5,03E+03	5,38E+03	6,13
KÜTTO1-1	2,37E+03	8,27E+03	7,85E+03	5,20	KÜTTO1-1	1,63E+03	3,96E+03	2,95E+03	6,10
KÜTTO1-2	2,25E+03	1,12E+04	8,27E+03	6,33	KÜTTO1-2	1,63E+03	3,75E+03	3,01E+03	5,47
KÜTTO1-3	2,06E+03	1,19E+04	1,02E+04	7,00	KÜTTO1-3	1,59E+03	3,75E+03	2,74E+03	5,53
KÜTTO1-4	1,87E+03	9,31E+03	4,99E+03	6,57	KÜTTO1-4	1,61E+03	4,04E+03	3,67E+03	5,80
KÜTTO1-5	2,37E+03	8,15E+03	4,87E+03	5,53	KÜTTO1-5	1,65E+03	3,93E+03	4,38E+03	5,83
KÜTTO1-6	2,14E+03	8,85E+03	6,58E+03	5,53	KÜTTO1-6	1,57E+03	3,42E+03	2,35E+03	5,50
KÜTTO1-7	2,00E+03	1,09E+04	1,20E+04	5,90	KÜTTO1-7	1,71E+03	3,55E+03	1,80E+03	5,83
KÜTTO1-8	1,83E+03	7,84E+03	4,13E+03	5,90	KÜTTO1-8	1,65E+03	5,25E+03	3,86E+03	7,07
KÜTTO1-9	3,20E+03	1,02E+04	7,26E+03	6,23	KÜTTO1-9	1,56E+03	4,45E+03	4,46E+03	6,23
KÜTTO1-10	2,62E+03	7,92E+03	4,30E+03	5,60	KÜTTO1-10	1,60E+03	4,72E+03	4,12E+03	6,50
F16					F17				
ÜTTO	2,18E+03	2,67E+03	2,48E+02	5,87	ÜTTO	1,81E+03	2,03E+03	1,38E+02	5,70
KÜTTO1-1	2,39E+03	2,73E+03	1,64E+02	6,53	KÜTTO1-1	1,83E+03	2,03E+03	1,06E+02	6,20
KÜTTO1-2	2,29E+03	2,67E+03	2,33E+02	5,77	KÜTTO1-2	1,82E+03	1,99E+03	1,09E+02	5,00
KÜTTO1-3	2,29E+03	2,69E+03	1,94E+02	6,17	KÜTTO1-3	1,82E+03	2,00E+03	1,05E+02	5,40
KÜTTO1-4	2,19E+03	2,71E+03	2,18E+02	6,23	KÜTTO1-4	1,88E+03	2,05E+03	1,01E+02	6,57
KÜTTO1-5	2,08E+03	2,64E+03	2,29E+02	5,37	KÜTTO1-5	1,83E+03	2,03E+03	1,33E+02	5,97
KÜTTO1-6	2,21E+03	2,68E+03	2,72E+02	6,07	KÜTTO1-6	1,87E+03	2,04E+03	9,98E+01	6,30
KÜTTO1-7	2,38E+03	2,70E+03	2,19E+02	5,73	KÜTTO1-7	1,78E+03	2,04E+03	1,14E+02	6,80
KÜTTO1-8	2,10E+03	2,61E+03	2,48E+02	4,70	KÜTTO1-8	1,85E+03	2,03E+03	1,04E+02	6,10
KÜTTO1-9	2,04E+03	2,71E+03	2,57E+02	6,33	KÜTTO1-9	1,79E+03	2,01E+03	1,43E+02	5,40
KÜTTO1-10	2,37E+03	2,78E+03	1,83E+02	7,23	KÜTTO1-10	1,81E+03	2,04E+03	1,23E+02	6,57
F18					F19				
ÜTTO	4,22E+04	1,65E+05	1,07E+05	5,50	ÜTTO	1,95E+03	5,88E+03	4,50E+03	5,03
KÜTTO1-1	3,18E+04	1,34E+05	8,65E+04	4,70	KÜTTO1-1	2,01E+03	6,85E+03	4,49E+03	6,30
KÜTTO1-2	8,44E+04	1,77E+05	9,41E+04	6,47	KÜTTO1-2	2,71E+03	8,06E+03	6,70E+03	6,83
KÜTTO1-3	7,64E+04	1,85E+05	8,29E+04	6,90	KÜTTO1-3	1,98E+03	7,87E+03	6,78E+03	6,53
KÜTTO1-4	6,32E+04	1,46E+05	6,19E+04	5,87	KÜTTO1-4	2,10E+03	6,64E+03	5,14E+03	5,97
KÜTTO1-5	4,51E+04	1,36E+05	6,14E+04	4,90	KÜTTO1-5	2,01E+03	6,74E+03	4,83E+03	5,93
KÜTTO1-6	6,32E+04	1,61E+05	6,77E+04	6,27	KÜTTO1-6	2,02E+03	6,17E+03	4,79E+03	5,57
KÜTTO1-7	4,71E+04	1,67E+05	1,10E+05	5,63	KÜTTO1-7	2,01E+03	5,07E+03	3,95E+03	4,53
KÜTTO1-8	4,17E+04	1,53E+05	6,35E+04	6,13	KÜTTO1-8	2,13E+03	6,20E+03	3,78E+03	6,07
KÜTTO1-9	5,14E+04	2,07E+05	9,91E+04	7,40	KÜTTO1-9	2,01E+03	6,17E+03	3,42E+03	5,73
KÜTTO1-10	5,86E+04	1,59E+05	6,58E+04	6,23	KÜTTO1-10	2,00E+03	9,73E+03	6,81E+03	7,50

Tablo 6 (devamı)

Algoritma	En iyi	Ortalama	STD	FMR	Algoritma	En iyi	Ortalama	STD	FMR
F20					F21				
ÜTTO	2,29E+03	2,45E+03	8,55E+01	6,23	ÜTTO	2,37E+03	2,42E+03	2,62E+01	6,40
KÜTTO1-1	2,33E+03	2,43E+03	7,15E+01	5,77	KÜTTO1-1	2,24E+03	2,41E+03	3,80E+01	5,80
KÜTTO1-2	2,23E+03	2,46E+03	1,13E+02	6,37	KÜTTO1-2	2,38E+03	2,41E+03	2,10E+01	5,67
KÜTTO1-3	2,30E+03	2,43E+03	9,33E+01	5,43	KÜTTO1-3	2,34E+03	2,41E+03	3,14E+01	6,03
KÜTTO1-4	2,29E+03	2,44E+03	9,21E+01	5,87	KÜTTO1-4	2,22E+03	2,41E+03	4,09E+01	6,13
KÜTTO1-5	2,15E+03	2,41E+03	1,14E+02	5,07	KÜTTO1-5	2,37E+03	2,41E+03	2,39E+01	5,73
KÜTTO1-6	2,26E+03	2,44E+03	9,50E+01	6,07	KÜTTO1-6	2,40E+03	2,43E+03	2,05E+01	7,60
KÜTTO1-7	2,33E+03	2,49E+03	8,18E+01	7,53	KÜTTO1-7	2,38E+03	2,42E+03	2,14E+01	6,27
KÜTTO1-8	2,27E+03	2,43E+03	1,08E+02	5,53	KÜTTO1-8	2,38E+03	2,42E+03	2,02E+01	5,97
KÜTTO1-9	2,27E+03	2,45E+03	1,00E+02	5,97	KÜTTO1-9	2,35E+03	2,40E+03	3,05E+01	4,03
KÜTTO1-10	2,25E+03	2,46E+03	1,19E+02	6,17	KÜTTO1-10	2,24E+03	2,42E+03	4,08E+01	6,37
F22					F23				
ÜTTO	2,30E+03	2,75E+03	1,37E+03	4,13	ÜTTO	2,74E+03	2,80E+03	3,33E+01	7,17
KÜTTO1-1	2,30E+03	2,44E+03	7,79E+02	5,47	KÜTTO1-1	2,73E+03	2,78E+03	3,41E+01	5,27
KÜTTO1-2	2,30E+03	2,45E+03	8,32E+02	5,10	KÜTTO1-2	2,74E+03	2,78E+03	3,57E+01	4,80
KÜTTO1-3	2,30E+03	2,47E+03	8,79E+02	7,80	KÜTTO1-3	2,73E+03	2,78E+03	2,93E+01	4,90
KÜTTO1-4	2,30E+03	2,74E+03	1,35E+03	5,80	KÜTTO1-4	2,74E+03	2,81E+03	3,46E+01	7,83
KÜTTO1-5	2,30E+03	2,58E+03	1,07E+03	5,53	KÜTTO1-5	2,69E+03	2,78E+03	3,84E+01	5,20
KÜTTO1-6	2,30E+03	2,45E+03	7,97E+02	5,43	KÜTTO1-6	2,74E+03	2,79E+03	3,24E+01	6,00
KÜTTO1-7	2,30E+03	2,76E+03	1,42E+03	5,47	KÜTTO1-7	2,73E+03	2,79E+03	3,44E+01	6,03
KÜTTO1-8	2,30E+03	2,70E+03	1,22E+03	5,87	KÜTTO1-8	2,74E+03	2,79E+03	2,96E+01	6,23
KÜTTO1-9	2,30E+03	2,87E+03	1,72E+03	8,50	KÜTTO1-9	2,73E+03	2,79E+03	2,97E+01	5,60
KÜTTO1-10	2,30E+03	2,76E+03	1,39E+03	6,90	KÜTTO1-10	2,72E+03	2,80E+03	3,45E+01	6,97
F24					F25				
ÜTTO	2,90E+03	2,95E+03	2,90E+01	6,30	ÜTTO	2,88E+03	2,90E+03	1,59E+01	4,30
KÜTTO1-1	2,89E+03	2,94E+03	2,67E+01	5,47	KÜTTO1-1	2,88E+03	2,91E+03	2,23E+01	5,73
KÜTTO1-2	2,90E+03	2,94E+03	1,98E+01	5,07	KÜTTO1-2	2,88E+03	2,92E+03	2,25E+01	6,47
KÜTTO1-3	2,92E+03	2,96E+03	2,24E+01	7,70	KÜTTO1-3	2,89E+03	2,93E+03	2,28E+01	8,33
KÜTTO1-4	2,88E+03	2,94E+03	2,68E+01	5,17	KÜTTO1-4	2,88E+03	2,91E+03	1,88E+01	6,03
KÜTTO1-5	2,89E+03	2,94E+03	2,28E+01	6,17	KÜTTO1-5	2,88E+03	2,91E+03	2,13E+01	5,00
KÜTTO1-6	2,90E+03	2,94E+03	2,31E+01	5,53	KÜTTO1-6	2,88E+03	2,91E+03	2,05E+01	5,03
KÜTTO1-7	2,91E+03	2,95E+03	2,60E+01	6,60	KÜTTO1-7	2,89E+03	2,91E+03	1,96E+01	6,07
KÜTTO1-8	2,88E+03	2,94E+03	3,22E+01	5,13	KÜTTO1-8	2,88E+03	2,91E+03	2,08E+01	5,93
KÜTTO1-9	2,90E+03	2,95E+03	2,45E+01	7,33	KÜTTO1-9	2,89E+03	2,93E+03	2,15E+01	8,17
KÜTTO1-10	2,90E+03	2,94E+03	2,19E+01	5,53	KÜTTO1-10	2,88E+03	2,91E+03	1,87E+01	4,93

Tablo 6 (devamı)

Algoritma	En iyi	Ortalama	STD	FMR	Algoritma	En iyi	Ortalama	STD	FMR
F26					F27				
ÜTTO	2,80E+03	4,84E+03	1,11E+03	6,30	ÜTTO	3,20E+03	3,25E+03	1,76E+01	6,33
KÜTTO1-1	2,80E+03	4,79E+03	1,17E+03	6,20	KÜTTO1-1	3,22E+03	3,24E+03	1,23E+01	5,20
KÜTTO1-2	2,80E+03	5,00E+03	1,19E+03	6,90	KÜTTO1-2	3,22E+03	3,25E+03	1,44E+01	6,47
KÜTTO1-3	2,80E+03	4,60E+03	1,10E+03	5,30	KÜTTO1-3	3,22E+03	3,24E+03	1,32E+01	5,40
KÜTTO1-4	2,80E+03	4,94E+03	9,01E+02	6,17	KÜTTO1-4	3,21E+03	3,25E+03	1,64E+01	6,20
KÜTTO1-5	2,80E+03	4,80E+03	1,03E+03	5,93	KÜTTO1-5	3,22E+03	3,26E+03	1,87E+01	7,63
KÜTTO1-6	2,80E+03	4,99E+03	1,11E+03	6,90	KÜTTO1-6	3,22E+03	3,24E+03	1,49E+01	5,37
KÜTTO1-7	2,80E+03	4,83E+03	1,06E+03	5,80	KÜTTO1-7	3,22E+03	3,24E+03	1,68E+01	5,53
KÜTTO1-8	2,80E+03	4,84E+03	1,32E+03	6,10	KÜTTO1-8	3,22E+03	3,25E+03	2,32E+01	6,50
KÜTTO1-9	2,80E+03	4,56E+03	1,04E+03	4,87	KÜTTO1-9	3,22E+03	3,25E+03	1,65E+01	5,80
KÜTTO1-10	2,80E+03	4,66E+03	1,19E+03	5,53	KÜTTO1-10	3,22E+03	3,25E+03	1,59E+01	5,57
F28					F29				
ÜTTO	3,14E+03	3,24E+03	2,87E+01	5,50	ÜTTO	3,59E+03	3,92E+03	1,80E+02	6,53
KÜTTO1-1	3,20E+03	3,24E+03	2,55E+01	6,23	KÜTTO1-1	3,60E+03	3,86E+03	1,62E+02	5,37
KÜTTO1-2	3,20E+03	3,24E+03	2,42E+01	5,70	KÜTTO1-2	3,65E+03	3,90E+03	1,40E+02	5,77
KÜTTO1-3	3,21E+03	3,25E+03	2,43E+01	7,03	KÜTTO1-3	3,47E+03	3,80E+03	1,56E+02	4,00
KÜTTO1-4	3,20E+03	3,23E+03	2,43E+01	4,77	KÜTTO1-4	3,57E+03	3,89E+03	1,44E+02	5,67
KÜTTO1-5	3,20E+03	3,24E+03	2,16E+01	6,00	KÜTTO1-5	3,62E+03	3,94E+03	1,50E+02	6,80
KÜTTO1-6	3,20E+03	3,23E+03	2,51E+01	5,57	KÜTTO1-6	3,46E+03	3,89E+03	1,70E+02	5,63
KÜTTO1-7	3,20E+03	3,23E+03	2,29E+01	5,20	KÜTTO1-7	3,54E+03	3,94E+03	1,74E+02	6,50
KÜTTO1-8	3,20E+03	3,24E+03	2,10E+01	6,43	KÜTTO1-8	3,69E+03	3,94E+03	1,38E+02	6,93
KÜTTO1-9	3,21E+03	3,25E+03	2,46E+01	7,67	KÜTTO1-9	3,58E+03	3,91E+03	2,12E+02	6,13
KÜTTO1-10	3,21E+03	3,24E+03	2,37E+01	5,90	KÜTTO1-10	3,63E+03	3,92E+03	1,55E+02	6,67
F30									
ÜTTO	5,58E+03	8,72E+03	2,72E+03	5,67					
KÜTTO1-1	5,96E+03	8,36E+03	1,67E+03	5,73					
KÜTTO1-2	5,79E+03	9,08E+03	3,39E+03	5,7					
KÜTTO1-3	6,02E+03	9,39E+03	2,65E+03	6,7					
KÜTTO1-4	5,41E+03	8,58E+03	2,12E+03	5,4					
KÜTTO1-5	6,02E+03	9,02E+03	2,69E+03	5,97					
KÜTTO1-6	6,00E+03	9,41E+03	3,36E+03	6,33					
KÜTTO1-7	5,95E+03	8,95E+03	1,68E+03	6,47					
KÜTTO1-8	6,17E+03	9,06E+03	2,87E+03	6,37					
KÜTTO1-9	6,77E+03	9,02E+03	2,18E+03	6,27					
KÜTTO1-10	5,71E+03	8,42E+03	2,29E+03	5,4					

KÜTTO1 yönteminin yakınsama başarısını test eden tek modlu fonksiyonlardan (F1–F3) özellikle F1 fonksiyonunda, orijinal ÜTTO yöntemi düşük sıralama ve ortalama başarıda üstünlüğünü korumuştur. Ancak çok modlu

fonksiyonlar (F4–F10) üzerinde yapılan değerlendirmelerde, KÜTTO1 yöntemi tüm fonksiyonlarda ÜTTO'ya kıyasla daha başarılı sonuçlar üretmiştir. F5, F8 ve F9'da KÜTTO1-9 (sinuzoidal kaotik varyasyon) en düşük sıralama, düşük ortalama ve en düşük standart sapma değerleri ile öne çıkmıştır. Hibrit fonksiyon türlerinden (F11-F15) arasında F11 ve F15'te KÜTTO1-2 (daire kaotik haritası) en düşük sonuçları elde ederek en başarılı varyasyon olmuştur. Birleşim fonksiyonları (F16 -F30) arasında F25 dışındaki tüm fonksiyonlarda, en az bir KÜTTO varyasyonu ÜTTO algoritmasına kıyasla daha iyi performans sergilemiştir. Özellikle F17, F23 ve F24'te KÜTTO1-2 (daire kaotik harita) düşük sıralama ve ortalama değerleri ile birden fazla testte dikkat çekici bir performans ortaya koymuştur.

Tablo 7 KÜTTO2 CEC'17 test fonksiyonları üzerinde deney sonuçları

Algoritma	En iyi	Ortalama	STD	FMR	Algoritma	En iyi	Ortalama	STD	FMR
F1					F3				
ÜTTO	4,25E+02	2,92E+06	7,96E+06	9,13	ÜTTO	4,45E+03	1,19E+04	3,33E+03	5,13
KÜTTO2-1	2,42E+02	5,39E+03	7,28E+03	5,67	KÜTTO2-1	8,29E+03	1,38E+04	3,34E+03	6,6
KÜTTO2-2	2,24E+02	4,17E+04	1,55E+05	6,8	KÜTTO2-2	7,90E+03	1,28E+04	3,95E+03	5,27
KÜTTO2-3	1,24E+02	2,74E+03	2,98E+03	4,27	KÜTTO2-3	9,64E+03	1,88E+04	5,86E+03	8,73
KÜTTO2-4	2,84E+02	3,72E+04	1,48E+05	5,83	KÜTTO2-4	7,36E+03	1,29E+04	4,41E+03	5,3
KÜTTO2-5	2,40E+02	3,06E+04	1,26E+05	5,47	KÜTTO2-5	6,02E+03	1,22E+04	2,52E+03	5,4
KÜTTO2-6	8,49E+02	1,58E+04	5,10E+04	6,17	KÜTTO2-6	5,88E+03	1,14E+04	2,72E+03	4,63
KÜTTO2-7	1,76E+02	6,31E+03	9,86E+03	5,63	KÜTTO2-7	5,32E+03	1,37E+04	4,16E+03	6,07
KÜTTO2-8	6,04E+02	2,20E+04	5,49E+04	7	KÜTTO2-8	2,70E+03	1,19E+04	4,65E+03	5,03
KÜTTO2-9	1,57E+02	1,81E+03	1,66E+03	3,1	KÜTTO2-9	7,97E+03	1,77E+04	5,65E+03	8,3
KÜTTO2-10	1,27E+03	4,91E+04	1,55E+05	6,93	KÜTTO2-10	5,77E+03	1,29E+04	3,69E+03	5,53
F4					F5				
ÜTTO	4,27E+02	5,01E+02	2,04E+01	6,13	ÜTTO	5,74E+02	6,38E+02	2,66E+01	5,1
KÜTTO2-1	4,69E+02	5,01E+02	1,93E+01	5,67	KÜTTO2-1	5,75E+02	6,58E+02	2,74E+01	7,43
KÜTTO2-2	4,71E+02	5,05E+02	1,69E+01	6,6	KÜTTO2-2	6,07E+02	6,50E+02	2,23E+01	6,43
KÜTTO2-3	4,05E+02	4,91E+02	2,44E+01	4,3	KÜTTO2-3	6,05E+02	6,50E+02	2,50E+01	5,97
KÜTTO2-4	4,72E+02	5,00E+02	1,70E+01	5,57	KÜTTO2-4	6,05E+02	6,45E+02	2,38E+01	5,77
KÜTTO2-5	4,10E+02	5,00E+02	2,37E+01	6	KÜTTO2-5	5,93E+02	6,56E+02	2,58E+01	6,83
KÜTTO2-6	4,71E+02	5,04E+02	1,97E+01	5,93	KÜTTO2-6	5,82E+02	6,44E+02	2,79E+01	5,73
KÜTTO2-7	4,70E+02	5,06E+02	2,41E+01	6,4	KÜTTO2-7	5,64E+02	6,44E+02	3,06E+01	5,57
KÜTTO2-8	4,74E+02	5,09E+02	1,63E+01	7,37	KÜTTO2-8	5,87E+02	6,42E+02	3,31E+01	5,37
KÜTTO2-9	4,05E+02	5,07E+02	3,07E+01	6,77	KÜTTO2-9	5,99E+02	6,62E+02	3,42E+01	7,03
KÜTTO2-10	4,67E+02	5,00E+02	2,16E+01	5,27	KÜTTO2-10	5,94E+02	6,39E+02	2,44E+01	4,77

Tablo 7 (devamı)

Algoritma	En iyi	Ortalama	STD	FMR	Algoritma	En iyi	Ortalama	STD	FMR
F6					F7				
ÜTTO	6,04E+02	6,21E+02	7,37E+00	5,5	ÜTTO	7,83E+02	8,51E+02	4,67E+01	4,97
KÜTTO2-1	6,10E+02	6,23E+02	8,20E+00	5,43	KÜTTO2-1	7,99E+02	8,61E+02	2,97E+01	5,23
KÜTTO2-2	6,05E+02	6,25E+02	1,01E+01	5,83	KÜTTO2-2	8,25E+02	8,72E+02	2,46E+01	6,5
KÜTTO2-3	6,10E+02	6,24E+02	9,58E+00	6,4	KÜTTO2-3	8,08E+02	8,82E+02	3,37E+01	7,37
KÜTTO2-4	6,08E+02	6,23E+02	7,63E+00	6,6	KÜTTO2-4	7,92E+02	8,63E+02	3,67E+01	5,37
KÜTTO2-5	6,03E+02	6,22E+02	1,16E+01	5,47	KÜTTO2-5	8,19E+02	8,72E+02	2,76E+01	6,4
KÜTTO2-6	6,12E+02	6,21E+02	6,51E+00	5,13	KÜTTO2-6	7,83E+02	8,62E+02	3,23E+01	5,67
KÜTTO2-7	6,08E+02	6,25E+02	8,91E+00	6,87	KÜTTO2-7	8,18E+02	8,55E+02	2,43E+01	4,73
KÜTTO2-8	6,04E+02	6,20E+02	8,44E+00	4,83	KÜTTO2-8	7,90E+02	8,72E+02	3,82E+01	6,07
KÜTTO2-9	6,14E+02	6,30E+02	9,50E+00	8	KÜTTO2-9	8,31E+02	8,85E+02	2,72E+01	7,5
KÜTTO2-10	6,10E+02	6,22E+02	8,18E+00	5,93	KÜTTO2-10	7,76E+02	8,69E+02	3,45E+01	6,2
F8					F9				
ÜTTO	8,55E+02	9,06E+02	2,11E+01	3,6	ÜTTO	9,41E+02	1,67E+03	9,04E+02	4,43
KÜTTO2-1	8,91E+02	9,27E+02	1,88E+01	6,9	KÜTTO2-1	9,31E+02	2,10E+03	9,39E+02	6,1
KÜTTO2-2	8,81E+02	9,18E+02	1,91E+01	5,6	KÜTTO2-2	9,13E+02	2,12E+03	1,18E+03	5,83
KÜTTO2-3	8,90E+02	9,26E+02	2,07E+01	6,6	KÜTTO2-3	1,14E+03	2,67E+03	1,13E+03	8,13
KÜTTO2-4	8,79E+02	9,27E+02	1,94E+01	7,1	KÜTTO2-4	9,42E+02	2,05E+03	1,03E+03	6
KÜTTO2-5	8,94E+02	9,29E+02	2,61E+01	6,7	KÜTTO2-5	9,67E+02	2,02E+03	9,81E+02	5,73
KÜTTO2-6	8,95E+02	9,24E+02	2,00E+01	6,17	KÜTTO2-6	9,38E+02	1,92E+03	1,01E+03	5,4
KÜTTO2-7	8,97E+02	9,22E+02	1,76E+01	5,9	KÜTTO2-7	9,46E+02	1,94E+03	9,79E+02	5,6
KÜTTO2-8	8,92E+02	9,23E+02	1,69E+01	6,23	KÜTTO2-8	1,01E+03	2,26E+03	1,18E+03	6,6
KÜTTO2-9	8,70E+02	9,18E+02	1,73E+01	5,53	KÜTTO2-9	1,07E+03	2,79E+03	1,35E+03	7,57
KÜTTO2-10	8,96E+02	9,23E+02	1,97E+01	5,67	KÜTTO2-10	9,39E+02	1,61E+03	8,15E+02	4,6
F10					F11				
ÜTTO	5,77E+03	6,46E+03	3,90E+02	10,93	ÜTTO	1,17E+03	1,23E+03	3,97E+01	7,67
KÜTTO2-1	4,45E+03	5,27E+03	3,46E+02	4,93	KÜTTO2-1	1,14E+03	1,21E+03	4,53E+01	5,87
KÜTTO2-2	4,45E+03	5,24E+03	3,79E+02	4,97	KÜTTO2-2	1,15E+03	1,22E+03	4,53E+01	6,53
KÜTTO2-3	4,57E+03	5,37E+03	4,15E+02	5,87	KÜTTO2-3	1,14E+03	1,21E+03	4,46E+01	5,87
KÜTTO2-4	4,55E+03	5,35E+03	3,36E+02	5,83	KÜTTO2-4	1,14E+03	1,20E+03	4,01E+01	5,9
KÜTTO2-5	4,66E+03	5,40E+03	3,78E+02	5,93	KÜTTO2-5	1,15E+03	1,21E+03	3,80E+01	5,67
KÜTTO2-6	4,34E+03	5,25E+03	4,14E+02	5,27	KÜTTO2-6	1,15E+03	1,20E+03	3,41E+01	5,13
KÜTTO2-7	4,38E+03	5,23E+03	3,81E+02	4,93	KÜTTO2-7	1,14E+03	1,20E+03	3,53E+01	5,5
KÜTTO2-8	4,72E+03	5,52E+03	4,21E+02	6,87	KÜTTO2-8	1,16E+03	1,20E+03	3,19E+01	5,67
KÜTTO2-9	4,04E+03	5,21E+03	4,71E+02	5,17	KÜTTO2-9	1,15E+03	1,21E+03	3,98E+01	6
KÜTTO2-10	4,36E+03	5,29E+03	4,13E+02	5,3	KÜTTO2-10	1,16E+03	1,21E+03	4,68E+01	6,2

Tablo 7 (devamı)

Algoritma	En iyi	Ortalama	STD	FMR	Algoritma	En iyi	Ortalama	STD	FMR
F12					F13				
ÜTTO	8,45E+04	7,01E+05	6,48E+05	6,6	ÜTTO	1,58E+03	8,62E+03	6,26E+03	5,6
KÜTTO2-1	3,59E+04	4,98E+05	4,35E+05	5,1	KÜTTO2-1	1,96E+03	1,18E+04	1,19E+04	5,8
KÜTTO2-2	4,48E+04	5,38E+05	4,93E+05	5,73	KÜTTO2-2	1,64E+03	1,27E+04	1,11E+04	6,17
KÜTTO2-3	7,22E+04	6,33E+05	5,19E+05	6	KÜTTO2-3	2,64E+03	1,48E+04	1,19E+04	7,47
KÜTTO2-4	7,37E+04	4,82E+05	3,67E+05	5,5	KÜTTO2-4	2,05E+03	1,17E+04	1,08E+04	6
KÜTTO2-5	4,87E+04	5,64E+05	5,74E+05	5,87	KÜTTO2-5	1,68E+03	9,73E+03	8,38E+03	5,53
KÜTTO2-6	8,43E+04	4,69E+05	4,13E+05	5,37	KÜTTO2-6	1,61E+03	1,21E+04	1,20E+04	6,07
KÜTTO2-7	7,45E+04	5,92E+05	4,08E+05	6,47	KÜTTO2-7	1,62E+03	8,83E+03	8,66E+03	5,13
KÜTTO2-8	1,13E+05	7,06E+05	5,70E+05	7,17	KÜTTO2-8	1,52E+03	1,11E+04	9,98E+03	5,83
KÜTTO2-9	6,68E+04	5,56E+05	2,61E+05	6,77	KÜTTO2-9	2,42E+03	1,31E+04	1,09E+04	6,57
KÜTTO2-10	5,91E+04	4,77E+05	3,79E+05	5,43	KÜTTO2-10	1,79E+03	9,72E+03	7,85E+03	5,83
F14					F15				
ÜTTO	2,06E+03	1,08E+04	1,44E+04	6,2	ÜTTO	1,63E+03	4,75E+03	4,33E+03	5,83
KÜTTO2-1	2,14E+03	8,12E+03	6,49E+03	5,73	KÜTTO2-1	1,71E+03	5,02E+03	4,04E+03	6,87
KÜTTO2-2	1,99E+03	1,11E+04	1,23E+04	6,3	KÜTTO2-2	1,59E+03	3,58E+03	2,26E+03	5,43
KÜTTO2-3	2,01E+03	1,03E+04	7,64E+03	6,77	KÜTTO2-3	1,71E+03	3,66E+03	2,43E+03	6,03
KÜTTO2-4	1,83E+03	6,11E+03	2,91E+03	4,87	KÜTTO2-4	1,62E+03	3,74E+03	2,34E+03	5,63
KÜTTO2-5	2,40E+03	9,25E+03	6,85E+03	6,5	KÜTTO2-5	1,56E+03	4,48E+03	3,22E+03	6,8
KÜTTO2-6	2,44E+03	8,84E+03	5,85E+03	6	KÜTTO2-6	1,58E+03	5,13E+03	5,15E+03	5,83
KÜTTO2-7	2,09E+03	1,05E+04	7,91E+03	6,4	KÜTTO2-7	1,68E+03	3,10E+03	1,90E+03	4,87
KÜTTO2-8	2,02E+03	8,42E+03	5,57E+03	6,07	KÜTTO2-8	1,63E+03	4,82E+03	4,80E+03	6,6
KÜTTO2-9	2,47E+03	8,58E+03	8,83E+03	5,2	KÜTTO2-9	1,72E+03	3,52E+03	2,51E+03	5,83
KÜTTO2-10	2,95E+03	8,77E+03	6,64E+03	5,97	KÜTTO2-10	1,67E+03	4,60E+03	3,77E+03	6,27
F16					F17				
ÜTTO	2,17E+03	2,63E+03	2,51E+02	5,43	ÜTTO	1,79E+03	1,99E+03	1,18E+02	5,33
KÜTTO2-1	2,30E+03	2,65E+03	1,99E+02	5,37	KÜTTO2-1	1,81E+03	2,01E+03	1,13E+02	6,23
KÜTTO2-2	2,41E+03	2,67E+03	1,82E+02	5,37	KÜTTO2-2	1,77E+03	2,01E+03	9,89E+01	6,33
KÜTTO2-3	2,02E+03	2,66E+03	2,36E+02	6,37	KÜTTO2-3	1,85E+03	2,01E+03	1,08E+02	5,77
KÜTTO2-4	2,23E+03	2,70E+03	1,81E+02	6,77	KÜTTO2-4	1,79E+03	1,97E+03	1,13E+02	4,97
KÜTTO2-5	2,35E+03	2,68E+03	2,10E+02	6,03	KÜTTO2-5	1,83E+03	2,04E+03	1,36E+02	6,97
KÜTTO2-6	2,18E+03	2,71E+03	2,36E+02	6,47	KÜTTO2-6	1,79E+03	2,01E+03	1,30E+02	6,03
KÜTTO2-7	2,31E+03	2,71E+03	2,09E+02	6,33	KÜTTO2-7	1,76E+03	2,02E+03	1,35E+02	6,77
KÜTTO2-8	2,02E+03	2,65E+03	2,54E+02	5,63	KÜTTO2-8	1,79E+03	2,00E+03	1,13E+02	5,53
KÜTTO2-9	2,24E+03	2,73E+03	2,41E+02	6,17	KÜTTO2-9	1,80E+03	2,00E+03	1,22E+02	5,67
KÜTTO2-10	2,17E+03	2,67E+03	2,01E+02	6,07	KÜTTO2-10	1,78E+03	2,00E+03	9,51E+01	6,4

Tablo 7 (devamı)

Algoritma	En iyi	Ortalama	STD	FMR	Algoritma	En iyi	Ortalama	STD	FMR
F18					F19				
ÜTTO	9,41E+04	2,27E+05	7,65E+04	8,57	ÜTTO	2,03E+03	6,51E+03	4,14E+03	6,2
KÜTTO2-1	4,15E+04	1,50E+05	8,73E+04	4,77	KÜTTO2-1	1,95E+03	5,95E+03	4,14E+03	5,57
KÜTTO2-2	6,07E+04	1,61E+05	8,18E+04	5,4	KÜTTO2-2	2,17E+03	7,12E+03	4,87E+03	6,17
KÜTTO2-3	3,54E+04	1,54E+05	7,52E+04	5,43	KÜTTO2-3	1,99E+03	6,73E+03	4,04E+03	6,13
KÜTTO2-4	5,00E+04	1,71E+05	1,13E+05	5,8	KÜTTO2-4	1,97E+03	6,62E+03	5,35E+03	5,47
KÜTTO2-5	6,28E+04	1,73E+05	1,01E+05	6	KÜTTO2-5	2,11E+03	7,98E+03	5,99E+03	6,77
KÜTTO2-6	2,76E+04	1,53E+05	9,68E+04	5,13	KÜTTO2-6	1,98E+03	5,67E+03	4,16E+03	4,87
KÜTTO2-7	7,45E+04	1,82E+05	7,86E+04	6,53	KÜTTO2-7	2,08E+03	7,47E+03	5,55E+03	6,23
KÜTTO2-8	8,41E+04	1,65E+05	5,79E+04	6,23	KÜTTO2-8	2,25E+03	6,08E+03	3,12E+03	5,93
KÜTTO2-9	6,26E+04	2,06E+05	1,42E+05	6,47	KÜTTO2-9	2,00E+03	7,92E+03	6,39E+03	6,63
KÜTTO2-10	5,91E+04	1,61E+05	8,51E+04	5,67	KÜTTO2-10	2,00E+03	6,81E+03	4,73E+03	6,03
F20					F21				
ÜTTO	2,24E+03	2,43E+03	7,44E+01	5,97	ÜTTO	2,37E+03	2,41E+03	2,24E+01	5,53
KÜTTO2-1	2,31E+03	2,44E+03	7,99E+01	5,97	KÜTTO2-1	2,38E+03	2,41E+03	1,86E+01	6,03
KÜTTO2-2	2,26E+03	2,47E+03	9,96E+01	7	KÜTTO2-2	2,38E+03	2,42E+03	1,80E+01	5,93
KÜTTO2-3	2,26E+03	2,44E+03	1,00E+02	6,2	KÜTTO2-3	2,39E+03	2,42E+03	1,93E+01	6,8
KÜTTO2-4	2,17E+03	2,45E+03	1,21E+02	6,23	KÜTTO2-4	2,39E+03	2,42E+03	2,25E+01	6,1
KÜTTO2-5	2,26E+03	2,44E+03	9,53E+01	6	KÜTTO2-5	2,38E+03	2,42E+03	2,14E+01	6,97
KÜTTO2-6	2,25E+03	2,44E+03	1,06E+02	5,4	KÜTTO2-6	2,37E+03	2,41E+03	1,97E+01	4,83
KÜTTO2-7	2,29E+03	2,46E+03	9,27E+01	6,87	KÜTTO2-7	2,39E+03	2,42E+03	2,00E+01	6,53
KÜTTO2-8	2,28E+03	2,44E+03	9,93E+01	5,77	KÜTTO2-8	2,37E+03	2,42E+03	1,88E+01	6
KÜTTO2-9	2,30E+03	2,43E+03	8,38E+01	5,87	KÜTTO2-9	2,38E+03	2,41E+03	1,71E+01	5,57
KÜTTO2-10	2,23E+03	2,40E+03	8,54E+01	4,73	KÜTTO2-10	2,24E+03	2,41E+03	3,70E+01	5,7
F22					F23				
ÜTTO	2,30E+03	2,48E+03	9,31E+02	8,37	ÜTTO	2,70E+03	2,77E+03	3,13E+01	3,93
KÜTTO2-1	2,30E+03	2,71E+03	1,25E+03	5,2	KÜTTO2-1	2,73E+03	2,78E+03	3,11E+01	5,87
KÜTTO2-2	2,30E+03	2,58E+03	1,07E+03	5,8	KÜTTO2-2	2,73E+03	2,78E+03	2,79E+01	6
KÜTTO2-3	2,30E+03	2,88E+03	1,50E+03	4,3	KÜTTO2-3	2,74E+03	2,79E+03	3,09E+01	6,1
KÜTTO2-4	2,30E+03	2,61E+03	1,17E+03	6,8	KÜTTO2-4	2,73E+03	2,78E+03	3,56E+01	6,03
KÜTTO2-5	2,30E+03	2,88E+03	1,49E+03	7	KÜTTO2-5	2,74E+03	2,80E+03	3,45E+01	7,77
KÜTTO2-6	2,30E+03	2,42E+03	6,57E+02	5,63	KÜTTO2-6	2,74E+03	2,79E+03	3,35E+01	6,5
KÜTTO2-7	2,30E+03	2,44E+03	7,76E+02	4,83	KÜTTO2-7	2,72E+03	2,79E+03	3,64E+01	6,4
KÜTTO2-8	2,30E+03	2,61E+03	1,18E+03	6,27	KÜTTO2-8	2,72E+03	2,77E+03	3,44E+01	4,93
KÜTTO2-9	2,30E+03	2,76E+03	1,41E+03	4,57	KÜTTO2-9	2,74E+03	2,78E+03	3,04E+01	6,03
KÜTTO2-10	2,30E+03	2,74E+03	1,35E+03	7,23	KÜTTO2-10	2,73E+03	2,79E+03	2,72E+01	6,43

Tablo 7 (devamı)

Algoritma	En iyi	Ortalama	STD	FMR	Algoritma	En iyi	Ortalama	STD	FMR
F24					F25				
ÜTTO	2,86E+03	2,95E+03	2,54E+01	7,77	ÜTTO	2,89E+03	2,91E+03	1,81E+01	6,5
KÜTTO2-1	2,90E+03	2,95E+03	2,28E+01	6,73	KÜTTO2-1	2,88E+03	2,91E+03	2,17E+01	5,87
KÜTTO2-2	2,90E+03	2,93E+03	2,69E+01	4,87	KÜTTO2-2	2,88E+03	2,91E+03	1,97E+01	5,97
KÜTTO2-3	2,88E+03	2,94E+03	2,16E+01	5,83	KÜTTO2-3	2,88E+03	2,91E+03	2,39E+01	6,43
KÜTTO2-4	2,87E+03	2,94E+03	3,30E+01	5,47	KÜTTO2-4	2,88E+03	2,91E+03	2,18E+01	6
KÜTTO2-5	2,90E+03	2,95E+03	2,61E+01	6,13	KÜTTO2-5	2,89E+03	2,91E+03	2,19E+01	6,07
KÜTTO2-6	2,90E+03	2,94E+03	2,14E+01	5,5	KÜTTO2-6	2,88E+03	2,91E+03	1,95E+01	5,23
KÜTTO2-7	2,90E+03	2,95E+03	2,68E+01	6,13	KÜTTO2-7	2,88E+03	2,91E+03	2,23E+01	5,9
KÜTTO2-8	2,90E+03	2,94E+03	2,93E+01	5,87	KÜTTO2-8	2,88E+03	2,91E+03	2,23E+01	5,97
KÜTTO2-9	2,88E+03	2,94E+03	2,43E+01	6	KÜTTO2-9	2,88E+03	2,92E+03	2,27E+01	6,87
KÜTTO2-10	2,88E+03	2,94E+03	2,94E+01	5,7	KÜTTO2-10	2,89E+03	2,90E+03	1,89E+01	5,2
F26					F27				
ÜTTO	2,84E+03	4,69E+03	8,32E+02	4,83	ÜTTO	3,23E+03	3,25E+03	1,64E+01	6,5
KÜTTO2-1	2,80E+03	4,84E+03	1,16E+03	6,37	KÜTTO2-1	3,22E+03	3,24E+03	1,62E+01	5,6
KÜTTO2-2	2,80E+03	4,84E+03	1,19E+03	6,03	KÜTTO2-2	3,21E+03	3,25E+03	2,01E+01	7,03
KÜTTO2-3	2,80E+03	4,89E+03	1,25E+03	6,37	KÜTTO2-3	3,21E+03	3,24E+03	2,04E+01	5,53
KÜTTO2-4	2,80E+03	4,76E+03	9,93E+02	5,5	KÜTTO2-4	3,21E+03	3,24E+03	1,90E+01	5
KÜTTO2-5	2,80E+03	4,83E+03	1,06E+03	6	KÜTTO2-5	3,21E+03	3,25E+03	2,24E+01	6,13
KÜTTO2-6	2,80E+03	4,89E+03	1,14E+03	6,27	KÜTTO2-6	3,22E+03	3,25E+03	1,61E+01	6,2
KÜTTO2-7	2,90E+03	5,12E+03	8,77E+02	6,83	KÜTTO2-7	3,22E+03	3,25E+03	1,48E+01	6,13
KÜTTO2-8	2,80E+03	4,66E+03	1,06E+03	5,3	KÜTTO2-8	3,21E+03	3,25E+03	1,77E+01	5,43
KÜTTO2-9	2,90E+03	4,83E+03	1,09E+03	6,6	KÜTTO2-9	3,21E+03	3,24E+03	1,73E+01	5,37
KÜTTO2-10	2,80E+03	4,82E+03	1,23E+03	5,9	KÜTTO2-10	3,21E+03	3,25E+03	1,87E+01	7,07
F28					F29				
ÜTTO	3,21E+03	3,26E+03	2,74E+01	8,4	ÜTTO	3,54E+03	3,85E+03	1,89E+02	5,07
KÜTTO2-1	3,20E+03	3,24E+03	2,64E+01	6,57	KÜTTO2-1	3,62E+03	3,89E+03	1,62E+02	5,6
KÜTTO2-2	3,20E+03	3,24E+03	2,45E+01	6,33	KÜTTO2-2	3,60E+03	3,86E+03	1,51E+02	5,2
KÜTTO2-3	3,20E+03	3,23E+03	2,03E+01	5,13	KÜTTO2-3	3,68E+03	3,96E+03	1,75E+02	7,1
KÜTTO2-4	3,20E+03	3,24E+03	2,25E+01	6,03	KÜTTO2-4	3,60E+03	3,84E+03	1,48E+02	4,9
KÜTTO2-5	3,20E+03	3,23E+03	2,22E+01	4,77	KÜTTO2-5	3,58E+03	3,96E+03	1,70E+02	6,87
KÜTTO2-6	3,20E+03	3,23E+03	2,10E+01	5,63	KÜTTO2-6	3,46E+03	3,91E+03	2,12E+02	6,17
KÜTTO2-7	3,20E+03	3,24E+03	2,64E+01	5,8	KÜTTO2-7	3,60E+03	3,90E+03	1,49E+02	6,07
KÜTTO2-8	3,21E+03	3,25E+03	2,19E+01	7,17	KÜTTO2-8	3,63E+03	3,90E+03	1,73E+02	5,63
KÜTTO2-9	3,20E+03	3,23E+03	2,24E+01	4,57	KÜTTO2-9	3,59E+03	3,95E+03	1,76E+02	7,17
KÜTTO2-10	3,20E+03	3,24E+03	2,36E+01	5,6	KÜTTO2-10	3,51E+03	3,91E+03	1,89E+02	6,23

Tablo 7 (devamı)

Algoritma	En iyi	Ortalama	STD	FMR
F30				
ÜTTO	6,43E+03	8,81E+03	3,88E+03	5,6
KÜTTO2-1	5,28E+03	8,52E+03	2,27E+03	6,13
KÜTTO2-2	6,06E+03	8,30E+03	1,77E+03	5,9
KÜTTO2-3	6,47E+03	9,27E+03	1,99E+03	7,23
KÜTTO2-4	5,67E+03	9,53E+03	3,64E+03	6,73
KÜTTO2-5	6,32E+03	8,10E+03	1,52E+03	5,53
KÜTTO2-6	5,46E+03	8,67E+03	2,55E+03	5,8
KÜTTO2-7	5,80E+03	9,03E+03	2,31E+03	6,67
KÜTTO2-8	5,39E+03	8,25E+03	2,20E+03	5,27
KÜTTO2-9	5,58E+03	8,10E+03	1,74E+03	5,43
KÜTTO2-10	5,50E+03	8,33E+03	1,81E+03	5,7

Tek modlu fonksiyonlar arasında F1 fonksiyonu üzerinde, KÜTTO2-8 (sinüzoidal kaotik varyasyon) hedefe yakın sonuçlar üretmiş ve bu sonuçları istikrarlı bir şekilde tekrar edebilmiştir. Çok modlu fonksiyonlar arasında, F7 ve F10 üzerinde KÜTTO2-7 (sinüs kaotik varyasyon), F5 ve F9 üzerinde ise KÜTTO2-10 (çadır kaotik varyasyon) en başarılı performansı sergilemiştir. Hibrit fonksiyon türlerinde, F13 ve F15 fonksiyonlarında KÜTTO2-7 (sinüs kaotik varyasyon) düşük ortalama ve kararlı sonuçlarıyla öne çıkmıştır. Birleşim fonksiyonlarında ise F23 fonksiyonunda orijinal ÜTTO algoritması en iyi sıralamayı elde etmiştir. F17, F27 ve F29 fonksiyonlarında ise KÜTTO2-4 (iteratif kaotik varyasyon), en iyi sıralama ve en yüksek ortalama başarı olarak öne çıkmışlardır.

Tablo 8 KÜTTO3 CEC'17 test fonksiyonları üzerinde deney sonuçları

Algoritma	En iyi	Ortalama	STD	FMR	Algoritma	En iyi	Ortalama	STD	FMR
F1					F3				
ÜTTO	1,91E+03	1,05E+06	5,15E+06	7,17	ÜTTO	8,44E+03	1,83E+04	5,07E+03	7,97
KÜTTO3-1	1,76E+03	8,77E+05	2,71E+06	6,27	KÜTTO3-1	5,89E+03	1,44E+04	4,53E+03	5,50
KÜTTO3-2	5,26E+02	3,92E+04	8,30E+04	5,07	KÜTTO3-2	6,29E+03	1,26E+04	3,25E+03	4,43
KÜTTO3-3	2,48E+02	2,20E+05	5,04E+05	6,37	KÜTTO3-3	1,02E+04	1,94E+04	5,47E+03	8,57
KÜTTO3-4	5,36E+02	1,06E+05	3,01E+05	5,53	KÜTTO3-4	7,12E+03	1,42E+04	4,68E+03	5,00
KÜTTO3-5	8,95E+02	3,10E+04	4,53E+04	5,57	KÜTTO3-5	8,51E+03	1,42E+04	3,68E+03	5,40
KÜTTO3-6	9,41E+02	3,02E+05	1,23E+06	5,47	KÜTTO3-6	9,65E+03	1,39E+04	3,45E+03	4,77
KÜTTO3-7	1,03E+03	2,42E+05	7,10E+05	6,43	KÜTTO3-7	7,69E+03	1,43E+04	3,32E+03	5,70
KÜTTO3-8	1,59E+03	1,33E+06	4,69E+06	5,80	KÜTTO3-8	7,87E+03	1,56E+04	4,82E+03	6,40
KÜTTO3-9	2,91E+03	3,85E+05	1,30E+06	6,53	KÜTTO3-9	9,49E+03	1,82E+04	5,50E+03	7,80
KÜTTO3-10	1,61E+03	5,67E+05	2,22E+06	5,80	KÜTTO3-10	4,94E+03	1,32E+04	3,70E+03	4,47

Tablo 8 (devamı)

Algoritma	En iyi	Ortalama	STD	FMR	Algoritma	En iyi	Ortalama	STD	FMR
F4					F5				
ÜTTO	8,44E+03	1,83E+04	5,07E+03	7,97	ÜTTO	5,85E+02	6,37E+02	2,72E+01	5,57
KÜTTO3-1	5,89E+03	1,44E+04	4,53E+03	5,50	KÜTTO3-1	5,77E+02	6,43E+02	3,67E+01	5,77
KÜTTO3-2	6,29E+03	1,26E+04	3,25E+03	4,43	KÜTTO3-2	5,89E+02	6,53E+02	3,82E+01	6,57
KÜTTO3-3	1,02E+04	1,94E+04	5,47E+03	8,57	KÜTTO3-3	5,91E+02	6,41E+02	2,98E+01	5,50
KÜTTO3-4	7,12E+03	1,42E+04	4,68E+03	5,00	KÜTTO3-4	5,97E+02	6,41E+02	2,77E+01	5,43
KÜTTO3-5	8,51E+03	1,42E+04	3,68E+03	5,40	KÜTTO3-5	6,01E+02	6,36E+02	2,54E+01	4,97
KÜTTO3-6	9,65E+03	1,39E+04	3,45E+03	4,77	KÜTTO3-6	6,02E+02	6,48E+02	2,56E+01	6,13
KÜTTO3-7	7,69E+03	1,43E+04	3,32E+03	5,70	KÜTTO3-7	5,94E+02	6,53E+02	2,71E+01	6,97
KÜTTO3-8	7,87E+03	1,56E+04	4,82E+03	6,40	KÜTTO3-8	5,97E+02	6,47E+02	2,81E+01	6,60
KÜTTO3-9	9,49E+03	1,82E+04	5,50E+03	7,80	KÜTTO3-9	5,74E+02	6,36E+02	3,39E+01	5,00
KÜTTO3-10	4,94E+03	1,32E+04	3,70E+03	4,47	KÜTTO3-10	5,71E+02	6,59E+02	3,52E+01	7,50
F6					F7				
ÜTTO	6,09E+02	6,19E+02	8,30E+00	5,80	ÜTTO	7,82E+02	8,55E+02	4,48E+01	5,17
KÜTTO3-1	6,07E+02	6,21E+02	7,13E+00	6,43	KÜTTO3-1	7,96E+02	8,68E+02	4,67E+01	6,00
KÜTTO3-2	6,07E+02	6,18E+02	5,06E+00	5,47	KÜTTO3-2	8,02E+02	8,88E+02	4,17E+01	7,27
KÜTTO3-3	6,02E+02	6,17E+02	8,34E+00	5,17	KÜTTO3-3	7,80E+02	8,54E+02	4,07E+01	4,87
KÜTTO3-4	6,05E+02	6,19E+02	7,44E+00	5,80	KÜTTO3-4	7,78E+02	8,65E+02	4,83E+01	5,63
KÜTTO3-5	6,10E+02	6,22E+02	5,52E+00	7,47	KÜTTO3-5	7,82E+02	8,74E+02	5,01E+01	6,33
KÜTTO3-6	6,09E+02	6,20E+02	7,76E+00	6,20	KÜTTO3-6	7,89E+02	8,64E+02	3,89E+01	5,77
KÜTTO3-7	6,08E+02	6,21E+02	7,02E+00	6,57	KÜTTO3-7	8,11E+02	8,79E+02	3,59E+01	6,87
KÜTTO3-8	6,06E+02	6,20E+02	6,85E+00	6,57	KÜTTO3-8	8,00E+02	8,85E+02	4,31E+01	7,23
KÜTTO3-9	6,07E+02	6,16E+02	5,37E+00	4,37	KÜTTO3-9	7,78E+02	8,56E+02	4,12E+01	5,13
KÜTTO3-10	6,07E+02	6,20E+02	6,23E+00	6,17	KÜTTO3-10	7,89E+02	8,63E+02	4,67E+01	5,73
F8					F9				
ÜTTO	8,61E+02	9,13E+02	2,41E+01	4,97	ÜTTO	9,52E+02	2,12E+03	9,92E+02	7,07
KÜTTO3-1	8,80E+02	9,29E+02	2,48E+01	6,93	KÜTTO3-1	9,27E+02	1,85E+03	1,05E+03	5,93
KÜTTO3-2	8,62E+02	9,22E+02	2,21E+01	6,03	KÜTTO3-2	9,27E+02	1,77E+03	1,12E+03	5,70
KÜTTO3-3	8,74E+02	9,14E+02	2,53E+01	4,77	KÜTTO3-3	9,33E+02	1,88E+03	8,48E+02	6,70
KÜTTO3-4	8,82E+02	9,32E+02	2,21E+01	7,13	KÜTTO3-4	9,37E+02	1,83E+03	9,92E+02	5,83
KÜTTO3-5	8,75E+02	9,20E+02	2,45E+01	5,47	KÜTTO3-5	9,55E+02	1,83E+03	8,42E+02	6,10
KÜTTO3-6	8,52E+02	9,30E+02	2,71E+01	6,87	KÜTTO3-6	9,21E+02	1,47E+03	6,85E+02	4,57
KÜTTO3-7	8,78E+02	9,25E+02	2,53E+01	6,43	KÜTTO3-7	9,15E+02	1,79E+03	1,15E+03	5,23
KÜTTO3-8	8,90E+02	9,32E+02	2,26E+01	7,10	KÜTTO3-8	9,49E+02	1,73E+03	7,06E+02	6,17
KÜTTO3-9	8,66E+02	9,12E+02	2,30E+01	4,37	KÜTTO3-9	9,87E+02	1,86E+03	1,03E+03	6,43
KÜTTO3-10	8,72E+02	9,22E+02	2,85E+01	5,93	KÜTTO3-10	9,45E+02	1,69E+03	6,49E+02	6,27

Tablo 8 (devamı)

Algoritma	En iyi	Ortalama	STD	FMR	Algoritma	En iyi	Ortalama	STD	FMR
F10					F11				
ÜTTO	6,04E+03	6,51E+03	2,74E+02	9,13	ÜTTO	1,16E+03	1,21E+03	3,18E+01	6,57
KÜTTO3-1	4,78E+03	5,89E+03	4,14E+02	5,00	KÜTTO3-1	1,15E+03	1,21E+03	3,61E+01	6,00
KÜTTO3-2	5,09E+03	5,76E+03	3,63E+02	3,93	KÜTTO3-2	1,13E+03	1,21E+03	3,61E+01	5,50
KÜTTO3-3	6,11E+03	6,59E+03	2,80E+02	9,57	KÜTTO3-3	1,14E+03	1,22E+03	3,91E+01	6,60
KÜTTO3-4	4,86E+03	5,89E+03	3,94E+02	4,77	KÜTTO3-4	1,16E+03	1,22E+03	4,31E+01	6,63
KÜTTO3-5	5,41E+03	6,03E+03	3,10E+02	5,37	KÜTTO3-5	1,16E+03	1,21E+03	3,72E+01	5,33
KÜTTO3-6	4,97E+03	5,87E+03	3,70E+02	4,70	KÜTTO3-6	1,15E+03	1,21E+03	3,80E+01	6,13
KÜTTO3-7	4,76E+03	5,77E+03	4,58E+02	4,00	KÜTTO3-7	1,13E+03	1,20E+03	3,69E+01	4,87
KÜTTO3-8	4,81E+03	5,85E+03	4,36E+02	4,70	KÜTTO3-8	1,15E+03	1,21E+03	4,14E+01	6,10
KÜTTO3-9	6,10E+03	6,73E+03	3,49E+02	9,97	KÜTTO3-9	1,16E+03	1,22E+03	3,91E+01	6,60
KÜTTO3-10	5,28E+03	5,89E+03	2,68E+02	4,87	KÜTTO3-10	1,14E+03	1,21E+03	3,60E+01	5,67
F12					F13				
ÜTTO	6,94E+04	7,56E+05	6,49E+05	6,63	ÜTTO	1,87E+03	6,27E+03	4,12E+03	5,17
KÜTTO3-1	4,81E+04	7,80E+05	7,22E+05	6,67	KÜTTO3-1	1,77E+03	1,55E+04	1,60E+04	6,47
KÜTTO3-2	2,01E+04	4,69E+05	4,04E+05	5,07	KÜTTO3-2	1,60E+03	1,14E+04	1,12E+04	5,90
KÜTTO3-3	4,11E+04	5,11E+05	4,75E+05	5,03	KÜTTO3-3	1,63E+03	1,57E+04	1,29E+04	7,27
KÜTTO3-4	9,28E+04	7,10E+05	6,18E+05	6,13	KÜTTO3-4	2,14E+03	9,24E+03	7,78E+03	5,57
KÜTTO3-5	4,21E+04	4,53E+05	5,31E+05	4,17	KÜTTO3-5	1,69E+03	1,05E+04	1,12E+04	5,70
KÜTTO3-6	3,97E+04	7,30E+05	7,36E+05	6,23	KÜTTO3-6	1,69E+03	8,26E+03	4,52E+03	5,93
KÜTTO3-7	4,49E+04	9,27E+05	9,34E+05	6,37	KÜTTO3-7	1,94E+03	1,13E+04	8,27E+03	6,60
KÜTTO3-8	6,49E+04	7,84E+05	6,06E+05	6,93	KÜTTO3-8	2,21E+03	1,03E+04	9,18E+03	6,03
KÜTTO3-9	4,73E+04	5,27E+05	3,55E+05	5,63	KÜTTO3-9	1,78E+03	1,32E+04	1,13E+04	6,53
KÜTTO3-10	1,61E+05	8,11E+05	5,89E+05	7,13	KÜTTO3-10	1,73E+03	8,44E+03	1,06E+04	4,83
F14					F15				
ÜTTO	2,30E+03	1,37E+04	7,36E+03	7,77	ÜTTO	1,65E+03	3,50E+03	3,26E+03	5,70
KÜTTO3-1	1,99E+03	9,42E+03	6,92E+03	5,63	KÜTTO3-1	1,68E+03	3,91E+03	4,37E+03	5,37
KÜTTO3-2	2,43E+03	1,04E+04	5,45E+03	6,70	KÜTTO3-2	1,66E+03	3,27E+03	2,31E+03	5,53
KÜTTO3-3	1,97E+03	1,03E+04	5,76E+03	6,17	KÜTTO3-3	1,69E+03	4,17E+03	3,31E+03	6,73
KÜTTO3-4	2,56E+03	7,72E+03	3,95E+03	4,90	KÜTTO3-4	1,67E+03	4,04E+03	3,21E+03	6,10
KÜTTO3-5	2,64E+03	1,12E+04	8,06E+03	6,20	KÜTTO3-5	1,65E+03	4,39E+03	3,80E+03	6,40
KÜTTO3-6	2,49E+03	9,95E+03	9,91E+03	5,40	KÜTTO3-6	1,63E+03	3,38E+03	2,25E+03	5,47
KÜTTO3-7	2,44E+03	1,02E+04	9,74E+03	5,23	KÜTTO3-7	1,64E+03	3,78E+03	2,36E+03	6,57
KÜTTO3-8	2,13E+03	8,95E+03	4,55E+03	5,87	KÜTTO3-8	1,70E+03	6,42E+03	7,73E+03	6,70
KÜTTO3-9	1,86E+03	1,01E+04	6,42E+03	6,30	KÜTTO3-9	1,68E+03	3,59E+03	2,63E+03	5,43
KÜTTO3-10	1,95E+03	9,99E+03	5,89E+03	5,83	KÜTTO3-10	1,71E+03	4,75E+03	5,35E+03	6,00

Tablo 8 (devamı)

Algoritma	En iyi	Ortalama	STD	FMR	Algoritma	En iyi	Ortalama	STD	FMR
F16					F17				
ÜTTO	2,12E+03	2,63E+03	2,51E+02	6,03	ÜTTO	1,83E+03	2,01E+03	1,08E+02	5,63
KÜTTO3-1	2,21E+03	2,59E+03	1,94E+02	5,10	KÜTTO3-1	1,77E+03	2,00E+03	1,14E+02	5,50
KÜTTO3-2	2,05E+03	2,62E+03	2,14E+02	6,33	KÜTTO3-2	1,78E+03	2,00E+03	1,20E+02	5,57
KÜTTO3-3	2,11E+03	2,66E+03	2,50E+02	5,93	KÜTTO3-3	1,83E+03	2,06E+03	1,44E+02	6,43
KÜTTO3-4	2,23E+03	2,66E+03	1,94E+02	6,60	KÜTTO3-4	1,83E+03	2,04E+03	1,35E+02	6,63
KÜTTO3-5	2,09E+03	2,56E+03	2,83E+02	5,30	KÜTTO3-5	1,83E+03	2,02E+03	9,95E+01	6,07
KÜTTO3-6	2,32E+03	2,71E+03	1,82E+02	7,00	KÜTTO3-6	1,88E+03	2,06E+03	1,36E+02	6,70
KÜTTO3-7	2,20E+03	2,59E+03	1,65E+02	5,33	KÜTTO3-7	1,83E+03	2,00E+03	1,04E+02	5,70
KÜTTO3-8	2,03E+03	2,58E+03	2,35E+02	5,33	KÜTTO3-8	1,88E+03	2,00E+03	9,40E+01	5,47
KÜTTO3-9	2,30E+03	2,66E+03	2,37E+02	6,53	KÜTTO3-9	1,80E+03	2,00E+03	1,15E+02	5,80
KÜTTO3-10	2,23E+03	2,64E+03	2,29E+02	6,50	KÜTTO3-10	1,80E+03	2,04E+03	1,20E+02	6,50
F18					F19				
ÜTTO	7,14E+04	2,37E+05	1,16E+05	7,27	ÜTTO	1,98E+03	6,33E+03	4,72E+03	5,73
KÜTTO3-1	5,76E+04	1,75E+05	6,09E+04	5,27	KÜTTO3-1	1,97E+03	7,17E+03	6,55E+03	5,40
KÜTTO3-2	4,44E+04	1,68E+05	7,09E+04	5,07	KÜTTO3-2	1,99E+03	5,85E+03	4,69E+03	5,17
KÜTTO3-3	5,37E+04	2,23E+05	1,08E+05	6,73	KÜTTO3-3	1,97E+03	8,39E+03	8,04E+03	6,50
KÜTTO3-4	7,85E+04	1,75E+05	6,86E+04	4,93	KÜTTO3-4	1,98E+03	7,03E+03	4,55E+03	6,17
KÜTTO3-5	1,01E+05	1,82E+05	6,55E+04	5,53	KÜTTO3-5	1,95E+03	5,76E+03	3,85E+03	5,83
KÜTTO3-6	6,57E+04	1,79E+05	7,69E+04	5,53	KÜTTO3-6	2,05E+03	5,85E+03	2,92E+03	5,97
KÜTTO3-7	9,51E+04	2,01E+05	1,11E+05	6,03	KÜTTO3-7	2,03E+03	7,15E+03	4,52E+03	6,70
KÜTTO3-8	6,45E+04	1,79E+05	8,77E+04	5,13	KÜTTO3-8	1,94E+03	7,18E+03	4,87E+03	6,50
KÜTTO3-9	6,02E+04	2,98E+05	1,23E+05	8,87	KÜTTO3-9	2,04E+03	6,88E+03	4,46E+03	6,53
KÜTTO3-10	6,04E+04	1,85E+05	7,12E+04	5,63	KÜTTO3-10	1,99E+03	5,24E+03	3,84E+03	5,50
F20					F21				
ÜTTO	2,22E+03	2,43E+03	1,36E+02	5,43	ÜTTO	2,35E+03	2,42E+03	3,34E+01	5,70
KÜTTO3-1	2,22E+03	2,42E+03	1,12E+02	5,20	KÜTTO3-1	2,37E+03	2,42E+03	2,44E+01	5,80
KÜTTO3-2	2,20E+03	2,45E+03	1,01E+02	6,40	KÜTTO3-2	2,25E+03	2,42E+03	3,86E+01	6,23
KÜTTO3-3	2,21E+03	2,43E+03	1,11E+02	5,73	KÜTTO3-3	2,35E+03	2,41E+03	3,01E+01	5,07
KÜTTO3-4	2,22E+03	2,48E+03	1,24E+02	7,00	KÜTTO3-4	2,36E+03	2,42E+03	1,81E+01	5,80
KÜTTO3-5	2,25E+03	2,44E+03	7,13E+01	6,03	KÜTTO3-5	2,25E+03	2,42E+03	3,70E+01	6,33
KÜTTO3-6	2,21E+03	2,45E+03	1,03E+02	6,37	KÜTTO3-6	2,24E+03	2,42E+03	4,00E+01	6,73
KÜTTO3-7	2,17E+03	2,44E+03	1,07E+02	6,13	KÜTTO3-7	2,38E+03	2,42E+03	2,46E+01	6,73
KÜTTO3-8	2,32E+03	2,45E+03	8,18E+01	6,37	KÜTTO3-8	2,37E+03	2,42E+03	2,67E+01	6,63
KÜTTO3-9	2,32E+03	2,44E+03	8,97E+01	6,13	KÜTTO3-9	2,37E+03	2,41E+03	2,86E+01	4,70
KÜTTO3-10	2,31E+03	2,43E+03	1,06E+02	5,20	KÜTTO3-10	2,36E+03	2,42E+03	2,53E+01	6,27

Tablo 8 (devamı)

Algoritma	En iyi	Ortalama	STD	FMR	Algoritma	En iyi	Ortalama	STD	FMR
F22					F23				
ÜTTO	2,30E+03	2,49E+03	9,81E+02	6,50	ÜTTO	2,73E+03	2,78E+03	3,32E+01	5,60
KÜTTO3-1	2,30E+03	2,97E+03	1,74E+03	6,33	KÜTTO3-1	2,72E+03	2,79E+03	3,19E+01	6,97
KÜTTO3-2	2,30E+03	2,58E+03	1,06E+03	5,77	KÜTTO3-2	2,72E+03	2,78E+03	3,05E+01	6,33
KÜTTO3-3	2,30E+03	2,31E+03	6,76E+00	5,13	KÜTTO3-3	2,72E+03	2,78E+03	3,17E+01	5,13
KÜTTO3-4	2,30E+03	2,47E+03	8,67E+02	6,33	KÜTTO3-4	2,71E+03	2,79E+03	3,39E+01	6,47
KÜTTO3-5	2,30E+03	2,49E+03	1,03E+03	5,67	KÜTTO3-5	2,73E+03	2,79E+03	3,05E+01	6,17
KÜTTO3-6	2,30E+03	2,78E+03	1,46E+03	4,60	KÜTTO3-6	2,69E+03	2,79E+03	4,00E+01	6,47
KÜTTO3-7	2,30E+03	3,28E+03	1,98E+03	6,03	KÜTTO3-7	2,74E+03	2,79E+03	3,21E+01	6,20
KÜTTO3-8	2,30E+03	2,63E+03	1,24E+03	7,10	KÜTTO3-8	2,72E+03	2,78E+03	3,54E+01	6,10
KÜTTO3-9	2,30E+03	2,70E+03	1,49E+03	6,60	KÜTTO3-9	2,70E+03	2,77E+03	3,50E+01	4,57
KÜTTO3-10	2,30E+03	2,57E+03	1,00E+03	5,93	KÜTTO3-10	2,73E+03	2,79E+03	3,57E+01	6,00
F24					F25				
ÜTTO	2,90E+03	2,95E+03	2,76E+01	6,00	ÜTTO	2,89E+03	2,91E+03	2,11E+01	6,10
KÜTTO3-1	2,92E+03	2,95E+03	2,02E+01	5,87	KÜTTO3-1	2,89E+03	2,91E+03	1,86E+01	5,90
KÜTTO3-2	2,92E+03	2,96E+03	2,48E+01	7,13	KÜTTO3-2	2,88E+03	2,91E+03	2,13E+01	5,90
KÜTTO3-3	2,91E+03	2,95E+03	2,00E+01	6,33	KÜTTO3-3	2,89E+03	2,92E+03	2,19E+01	7,13
KÜTTO3-4	2,90E+03	2,95E+03	2,35E+01	6,13	KÜTTO3-4	2,88E+03	2,91E+03	2,05E+01	5,33
KÜTTO3-5	2,91E+03	2,95E+03	2,22E+01	5,87	KÜTTO3-5	2,89E+03	2,91E+03	1,99E+01	6,00
KÜTTO3-6	2,92E+03	2,95E+03	2,01E+01	5,40	KÜTTO3-6	2,88E+03	2,91E+03	1,92E+01	4,90
KÜTTO3-7	2,90E+03	2,95E+03	2,44E+01	5,70	KÜTTO3-7	2,88E+03	2,91E+03	2,15E+01	6,10
KÜTTO3-8	2,91E+03	2,95E+03	2,06E+01	6,47	KÜTTO3-8	2,88E+03	2,91E+03	2,03E+01	5,03
KÜTTO3-9	2,88E+03	2,95E+03	2,96E+01	6,17	KÜTTO3-9	2,89E+03	2,93E+03	1,96E+01	7,73
KÜTTO3-10	2,92E+03	2,94E+03	1,52E+01	4,93	KÜTTO3-10	2,88E+03	2,91E+03	2,05E+01	5,87
F26					F27				
ÜTTO	2,80E+03	4,75E+03	1,25E+03	6,17	ÜTTO	3,21E+03	3,25E+03	2,22E+01	6,37
KÜTTO3-1	2,80E+03	4,84E+03	1,09E+03	6,20	KÜTTO3-1	3,21E+03	3,25E+03	2,36E+01	6,70
KÜTTO3-2	2,80E+03	4,66E+03	1,22E+03	6,03	KÜTTO3-2	3,22E+03	3,25E+03	1,99E+01	5,83
KÜTTO3-3	2,83E+03	4,96E+03	1,19E+03	7,20	KÜTTO3-3	3,23E+03	3,25E+03	1,92E+01	6,63
KÜTTO3-4	2,80E+03	4,51E+03	1,27E+03	5,43	KÜTTO3-4	3,23E+03	3,25E+03	1,95E+01	6,13
KÜTTO3-5	2,80E+03	4,67E+03	1,10E+03	6,00	KÜTTO3-5	3,21E+03	3,24E+03	1,82E+01	4,07
KÜTTO3-6	2,81E+03	4,61E+03	1,11E+03	5,43	KÜTTO3-6	3,22E+03	3,25E+03	1,69E+01	5,53
KÜTTO3-7	2,80E+03	4,77E+03	1,03E+03	6,60	KÜTTO3-7	3,22E+03	3,25E+03	2,26E+01	5,63
KÜTTO3-8	2,80E+03	4,27E+03	1,23E+03	5,37	KÜTTO3-8	3,22E+03	3,25E+03	1,56E+01	6,13
KÜTTO3-9	2,80E+03	4,41E+03	1,28E+03	5,40	KÜTTO3-9	3,21E+03	3,25E+03	1,70E+01	5,90
KÜTTO3-10	2,80E+03	4,64E+03	1,10E+03	6,17	KÜTTO3-10	3,22E+03	3,25E+03	1,96E+01	7,07

Tablo 8 (devamı)

Algoritma	En iyi	Ortalama	STD	FMR	Algoritma	En iyi	Ortalama	STD	FMR
F28					F29				
ÜTTO	3,21E+03	3,26E+03	2,30E+01	7,37	ÜTTO	3,46E+03	3,85E+03	1,74E+02	5,87
KÜTTO3-1	3,20E+03	3,25E+03	2,58E+01	5,73	KÜTTO3-1	3,61E+03	3,88E+03	1,60E+02	6,03
KÜTTO3-2	3,20E+03	3,24E+03	2,59E+01	5,20	KÜTTO3-2	3,54E+03	3,85E+03	1,53E+02	5,90
KÜTTO3-3	3,21E+03	3,26E+03	2,95E+01	6,70	KÜTTO3-3	3,60E+03	3,84E+03	1,62E+02	5,47
KÜTTO3-4	3,21E+03	3,25E+03	2,43E+01	5,30	KÜTTO3-4	3,66E+03	3,83E+03	1,16E+02	5,13
KÜTTO3-5	3,21E+03	3,24E+03	2,51E+01	5,33	KÜTTO3-5	3,62E+03	3,91E+03	1,79E+02	6,77
KÜTTO3-6	3,21E+03	3,25E+03	2,43E+01	5,90	KÜTTO3-6	3,62E+03	3,91E+03	1,77E+02	6,80
KÜTTO3-7	3,21E+03	3,25E+03	2,81E+01	6,30	KÜTTO3-7	3,52E+03	3,86E+03	1,57E+02	5,87
KÜTTO3-8	3,21E+03	3,25E+03	2,37E+01	6,57	KÜTTO3-8	3,65E+03	3,88E+03	1,49E+02	6,17
KÜTTO3-9	3,22E+03	3,25E+03	2,21E+01	6,53	KÜTTO3-9	3,43E+03	3,81E+03	1,95E+02	5,23
KÜTTO3-10	3,20E+03	3,24E+03	2,40E+01	5,07	KÜTTO3-10	3,58E+03	3,89E+03	1,77E+02	6,77
F30									
ÜTTO	5,86E+03	8,74E+03	3,44E+03	5,67					
KÜTTO3-1	5,55E+03	9,22E+03	3,06E+03	6,6					
KÜTTO3-2	6,22E+03	9,09E+03	3,05E+03	6,4					
KÜTTO3-3	5,67E+03	7,93E+03	1,82E+03	5,03					
KÜTTO3-4	6,16E+03	9,00E+03	3,53E+03	5,77					
KÜTTO3-5	5,94E+03	8,73E+03	2,55E+03	6,2					
KÜTTO3-6	5,59E+03	8,32E+03	1,82E+03	5,87					
KÜTTO3-7	6,03E+03	9,05E+03	3,38E+03	5,83					
KÜTTO3-8	5,43E+03	9,16E+03	3,03E+03	6,23					
KÜTTO3-9	5,94E+03	8,73E+03	2,35E+03	6,1					
KÜTTO3-10	5,34E+03	9,09E+03	3,07E+03	6,3					

KÜTTO3 yönteminin yakınsama başarısını test eden tek modlu fonksiyonlar F1 ve F3'te KÜTTO3-2 (daire kaotik varyasyon) ile öne çıkmıştır. Global optimuma ulaşma becerisini değerlendiren çok modlu fonksiyonlar üzerinde ise genel olarak üstün performans sergilenmiştir. Özellikle F5, F6 ve F8 fonksiyonlarında KÜTTO3-9 (sinüzoidal kaotik varyasyon), en düşük sıralama ve ortalama değerlerle dikkat çekmiştir. Aynı grupta yer alan F4 ve F10 fonksiyonlarında ise KÜTTO3-2 (daire kaotik varyasyon), orijinal ÜTTO algoritmasına kıyasla daha yüksek başarı sıraları ve daha kararlı çözümler üretmiştir. Hibrit fonksiyonlar üzerinde yapılan testlerde, kaotik varyasyonların tamamı hem ortalama başarı hem de sıralama açısından orijinal ÜTTO algoritmasından daha iyi sonuçlar vermiştir. Birleşim fonksiyonları kapsamında ise tüm kaotik varyasyonlar, genel performans açısından ÜTTO'ya üstünlük sağlamıştır. Özellikle F19, F22 ve F25 fonksiyonlarında KÜTTO3-6 (parçalı kaotik varyasyon); F20, F24 ve F28 fonksiyonlarında ise KÜTTO3-10 (çadır kaotik varyasyon) düşük sıralama, düşük ortalama ve düşük standart sapma değerleriyle en başarılı çözümleri üretmiştir.

Tablo 9 KÜTTO4 CEC'17 test fonksiyonları üzerinde deney sonuçları

Algoritma	En iyi	Ortalama	STD	FMR	Algoritma	En iyi	Ortalama	STD	FMR
F1					F3				
ÜTTO	5,14E+07	8,44E+07	1,63E+07	11	ÜTTO	8,18E+04	1,15E+05	1,72E+04	11
KÜTTO4-1	2,12E+06	5,87E+06	1,93E+06	4,5	KÜTTO4-1	5,66E+02	9,42E+02	2,06E+02	5,83
KÜTTO4-2	2,32E+06	7,22E+06	2,55E+06	6,1	KÜTTO4-2	5,82E+02	7,95E+02	1,65E+02	3,8
KÜTTO4-3	4,94E+06	1,05E+07	3,12E+06	8,6	KÜTTO4-3	6,88E+02	1,51E+03	4,81E+02	9,17
KÜTTO4-4	2,71E+06	6,26E+06	2,54E+06	4,8	KÜTTO4-4	4,97E+02	8,36E+02	1,71E+02	4,53
KÜTTO4-5	1,95E+06	6,72E+06	2,72E+06	5,6	KÜTTO4-5	5,24E+02	9,19E+02	2,00E+02	5,57
KÜTTO4-6	2,52E+06	6,10E+06	1,87E+06	5	KÜTTO4-6	5,88E+02	8,14E+02	1,44E+02	4,47
KÜTTO4-7	3,27E+06	6,48E+06	2,11E+06	5,2	KÜTTO4-7	5,98E+02	8,70E+02	1,58E+02	5,3
KÜTTO4-8	1,29E+06	5,86E+06	2,56E+06	4,2	KÜTTO4-8	7,05E+02	8,96E+02	1,62E+02	5,63
KÜTTO4-9	2,74E+06	7,16E+06	2,40E+06	6,1	KÜTTO4-9	5,34E+02	9,02E+02	2,21E+02	5,77
KÜTTO4-10	3,36E+06	6,31E+06	2,67E+06	4,8	KÜTTO4-10	5,64E+02	8,75E+02	2,16E+02	4,93
F4					F5				
ÜTTO	4,57E+02	5,09E+02	1,64E+01	4,4	ÜTTO	7,64E+02	9,34E+02	7,32E+01	10,9
KÜTTO4-1	4,68E+02	5,26E+02	3,05E+01	6,8	KÜTTO4-1	6,50E+02	7,37E+02	5,25E+01	5,83
KÜTTO4-2	4,82E+02	5,29E+02	2,90E+01	6,6	KÜTTO4-2	6,81E+02	7,28E+02	3,25E+01	5,87
KÜTTO4-3	4,74E+02	5,14E+02	2,81E+01	5,2	KÜTTO4-3	7,02E+02	8,14E+02	8,31E+01	9,1
KÜTTO4-4	4,85E+02	5,21E+02	1,45E+01	6,1	KÜTTO4-4	6,22E+02	7,01E+02	4,11E+01	4
KÜTTO4-5	4,57E+02	5,16E+02	2,28E+01	5,9	KÜTTO4-5	6,66E+02	7,17E+02	3,75E+01	4,7
KÜTTO4-6	4,21E+02	5,08E+02	2,90E+01	4,9	KÜTTO4-6	6,22E+02	7,14E+02	4,76E+01	5,27
KÜTTO4-7	4,88E+02	5,20E+02	2,08E+01	6	KÜTTO4-7	6,72E+02	7,36E+02	3,45E+01	6,07
KÜTTO4-8	4,75E+02	5,20E+02	1,96E+01	6,1	KÜTTO4-8	6,45E+02	7,06E+02	2,86E+01	3,9
KÜTTO4-9	4,71E+02	5,33E+02	2,64E+01	7,6	KÜTTO4-9	6,49E+02	7,30E+02	4,66E+01	5,63
KÜTTO4-10	4,79E+02	5,23E+02	2,46E+01	6,4	KÜTTO4-10	6,33E+02	7,19E+02	4,49E+01	4,77
F6					F7				
ÜTTO	6,68E+02	6,91E+02	7,67E+00	11	ÜTTO	9,89E+02	1,07E+03	2,63E+01	10,7
KÜTTO4-1	6,38E+02	6,64E+02	9,11E+00	7,5	KÜTTO4-1	8,58E+02	9,54E+02	6,62E+01	5,73
KÜTTO4-2	6,32E+02	6,54E+02	8,92E+00	4,1	KÜTTO4-2	8,28E+02	9,21E+02	3,94E+01	3,9
KÜTTO4-3	6,50E+02	6,76E+02	9,96E+00	9,2	KÜTTO4-3	8,65E+02	9,45E+02	4,91E+01	6
KÜTTO4-4	6,36E+02	6,54E+02	8,23E+00	4,3	KÜTTO4-4	8,84E+02	9,70E+02	5,14E+01	7,07
KÜTTO4-5	6,36E+02	6,56E+02	9,08E+00	5	KÜTTO4-5	8,66E+02	9,74E+02	6,19E+01	7,1
KÜTTO4-6	6,35E+02	6,54E+02	8,52E+00	4,6	KÜTTO4-6	8,83E+02	9,41E+02	4,69E+01	5,27
KÜTTO4-7	6,31E+02	6,57E+02	1,09E+01	5,2	KÜTTO4-7	8,58E+02	9,47E+02	4,53E+01	5,57
KÜTTO4-8	6,28E+02	6,53E+02	8,29E+00	4,4	KÜTTO4-8	8,75E+02	9,43E+02	3,95E+01	5,3
KÜTTO4-9	6,34E+02	6,60E+02	9,10E+00	6,3	KÜTTO4-9	8,53E+02	9,42E+02	6,68E+01	5,13
KÜTTO4-10	6,20E+02	6,54E+02	1,05E+01	4,7	KÜTTO4-10	8,69E+02	9,21E+02	3,45E+01	4,23

Tablo 9 (devamı)

Algoritma	En iyi	Ortalama	STD	FMR	Algoritma	En iyi	Ortalama	STD	FMR
F8					F9				
ÜTTO	1,05E+03	1,17E+03	4,59E+01	11	ÜTTO	1,37E+04	1,94E+04	3,22E+03	10,9
KÜTTO4-1	9,13E+02	9,88E+02	3,26E+01	7,1	KÜTTO4-1	3,00E+03	6,22E+03	1,66E+03	6,43
KÜTTO4-2	9,18E+02	9,61E+02	3,01E+01	4,9	KÜTTO4-2	1,98E+03	4,90E+03	1,68E+03	4,17
KÜTTO4-3	9,98E+02	1,07E+03	4,96E+01	10	KÜTTO4-3	7,18E+03	1,30E+04	4,68E+03	10
KÜTTO4-4	8,80E+02	9,51E+02	2,87E+01	4,1	KÜTTO4-4	2,62E+03	5,47E+03	1,44E+03	5,7
KÜTTO4-5	9,04E+02	9,55E+02	2,69E+01	4,3	KÜTTO4-5	2,96E+03	6,45E+03	1,66E+03	6,73
KÜTTO4-6	9,23E+02	9,63E+02	3,19E+01	4,7	KÜTTO4-6	2,37E+03	4,71E+03	1,47E+03	3,83
KÜTTO4-7	8,87E+02	9,70E+02	3,59E+01	5,9	KÜTTO4-7	2,31E+03	5,75E+03	1,73E+03	5,8
KÜTTO4-8	8,95E+02	9,54E+02	2,44E+01	4,1	KÜTTO4-8	1,95E+03	4,57E+03	1,40E+03	4,03
KÜTTO4-9	8,79E+02	9,78E+02	3,21E+01	6,3	KÜTTO4-9	2,56E+03	4,90E+03	1,28E+03	4,47
KÜTTO4-10	8,98E+02	9,49E+02	2,55E+01	3,6	KÜTTO4-10	1,70E+03	4,42E+03	1,43E+03	3,93
F10					F11				
ÜTTO	4,61E+03	5,88E+03	4,67E+02	9,5	ÜTTO	1,32E+03	1,42E+03	5,10E+01	10,3
KÜTTO4-1	3,72E+03	5,26E+03	7,31E+02	5,9	KÜTTO4-1	1,19E+03	1,29E+03	5,24E+01	5,43
KÜTTO4-2	3,85E+03	5,13E+03	5,53E+02	6	KÜTTO4-2	1,19E+03	1,30E+03	5,05E+01	5,47
KÜTTO4-3	3,95E+03	5,46E+03	8,65E+02	6,9	KÜTTO4-3	1,24E+03	1,34E+03	6,35E+01	7,23
KÜTTO4-4	3,78E+03	5,05E+03	6,29E+02	5,3	KÜTTO4-4	1,20E+03	1,29E+03	4,76E+01	5,3
KÜTTO4-5	4,29E+03	5,48E+03	7,38E+02	7	KÜTTO4-5	1,18E+03	1,30E+03	7,32E+01	5,5
KÜTTO4-6	3,76E+03	4,96E+03	5,24E+02	4,9	KÜTTO4-6	1,18E+03	1,30E+03	5,62E+01	5,5
KÜTTO4-7	4,11E+03	5,07E+03	6,17E+02	5,5	KÜTTO4-7	1,20E+03	1,30E+03	5,96E+01	5,63
KÜTTO4-8	3,91E+03	4,87E+03	4,49E+02	4,5	KÜTTO4-8	1,21E+03	1,29E+03	5,49E+01	5,23
KÜTTO4-9	4,28E+03	5,10E+03	4,21E+02	5,4	KÜTTO4-9	1,22E+03	1,31E+03	5,02E+01	6,6
KÜTTO4-10	4,09E+03	5,04E+03	5,42E+02	5,2	KÜTTO4-10	1,20E+03	1,27E+03	3,76E+01	3,77
F12					F13				
ÜTTO	7,30E+06	1,79E+07	6,11E+06	4,6	ÜTTO	3,01E+05	1,03E+06	3,98E+05	11
KÜTTO4-1	3,75E+06	2,52E+07	1,69E+07	5,8	KÜTTO4-1	7,59E+04	1,87E+05	1,01E+05	5,43
KÜTTO4-2	3,31E+06	3,18E+07	2,41E+07	6,3	KÜTTO4-2	3,16E+04	1,71E+05	8,80E+04	5,07
KÜTTO4-3	7,04E+06	3,28E+07	2,41E+07	6,9	KÜTTO4-3	1,07E+05	3,87E+05	1,78E+05	8,73
KÜTTO4-4	2,07E+06	2,78E+07	1,57E+07	6,5	KÜTTO4-4	4,19E+04	1,75E+05	7,84E+04	5,2
KÜTTO4-5	4,01E+06	2,11E+07	1,28E+07	5,1	KÜTTO4-5	6,14E+04	2,06E+05	9,72E+04	5,93
KÜTTO4-6	2,97E+06	2,93E+07	2,39E+07	6	KÜTTO4-6	5,03E+04	1,90E+05	1,34E+05	4,8
KÜTTO4-7	5,51E+06	2,67E+07	1,60E+07	6,3	KÜTTO4-7	5,82E+04	1,85E+05	6,93E+04	5,57
KÜTTO4-8	9,15E+06	2,56E+07	1,31E+07	6,4	KÜTTO4-8	5,83E+04	1,78E+05	1,06E+05	5,07
KÜTTO4-9	6,23E+06	2,80E+07	1,80E+07	6,3	KÜTTO4-9	3,62E+04	1,90E+05	1,09E+05	5,43
KÜTTO4-10	2,01E+06	2,40E+07	1,60E+07	5,6	KÜTTO4-10	3,19E+04	1,34E+05	8,13E+04	3,8

Tablo 9 (devamı)

Algoritma	En iyi	Ortalama	STD	FMR	Algoritma	En iyi	Ortalama	STD	FMR
F14					F15				
ÜTTO	7,00E+03	2,23E+04	1,51E+04	9,1	ÜTTO	5,39E+04	1,94E+05	6,07E+04	10,5
KÜTTO4-1	1,82E+03	7,28E+03	5,25E+03	4,7	KÜTTO4-1	1,96E+04	4,07E+04	1,46E+04	4,7
KÜTTO4-2	1,76E+03	9,55E+03	5,96E+03	6,1	KÜTTO4-2	1,06E+04	4,12E+04	2,17E+04	4,6
KÜTTO4-3	2,65E+03	2,08E+04	1,88E+04	8	KÜTTO4-3	4,64E+04	1,67E+05	8,52E+04	9,97
KÜTTO4-4	2,30E+03	6,97E+03	4,56E+03	4,8	KÜTTO4-4	9,30E+03	4,36E+04	2,72E+04	4,47
KÜTTO4-5	2,07E+03	1,05E+04	6,25E+03	6,2	KÜTTO4-5	1,28E+04	4,34E+04	2,16E+04	5,13
KÜTTO4-6	1,96E+03	1,03E+04	1,06E+04	5,3	KÜTTO4-6	1,36E+04	4,95E+04	2,80E+04	5,6
KÜTTO4-7	2,05E+03	1,27E+04	9,53E+03	6,1	KÜTTO4-7	7,62E+03	4,16E+04	1,89E+04	4,77
KÜTTO4-8	1,78E+03	5,11E+03	3,78E+03	3,7	KÜTTO4-8	1,03E+04	5,10E+04	4,02E+04	5,1
KÜTTO4-9	2,41E+03	1,37E+04	1,05E+04	7	KÜTTO4-9	1,87E+04	5,86E+04	3,45E+04	6,13
KÜTTO4-10	1,80E+03	1,05E+04	1,17E+04	5,1	KÜTTO4-10	1,38E+04	4,64E+04	2,88E+04	5,07
F16					F17				
ÜTTO	2,76E+03	3,50E+03	3,05E+02	9	ÜTTO	2,09E+03	2,29E+03	1,25E+02	5,97
KÜTTO4-1	2,73E+03	3,26E+03	2,51E+02	7	KÜTTO4-1	1,98E+03	2,32E+03	2,34E+02	6,53
KÜTTO4-2	2,55E+03	3,07E+03	2,88E+02	4,9	KÜTTO4-2	1,94E+03	2,34E+03	2,46E+02	6,43
KÜTTO4-3	2,63E+03	3,48E+03	4,28E+02	8,6	KÜTTO4-3	2,01E+03	2,45E+03	2,87E+02	7,67
KÜTTO4-4	2,32E+03	3,14E+03	2,66E+02	6,2	KÜTTO4-4	1,92E+03	2,18E+03	1,27E+02	4,33
KÜTTO4-5	2,69E+03	3,21E+03	3,06E+02	6,5	KÜTTO4-5	2,03E+03	2,41E+03	2,01E+02	7,73
KÜTTO4-6	2,59E+03	3,10E+03	2,38E+02	5,1	KÜTTO4-6	1,83E+03	2,24E+03	2,19E+02	5,53
KÜTTO4-7	2,50E+03	2,98E+03	2,57E+02	4,5	KÜTTO4-7	2,03E+03	2,37E+03	1,63E+02	7,27
KÜTTO4-8	2,38E+03	3,03E+03	2,93E+02	4,8	KÜTTO4-8	1,85E+03	2,15E+03	1,95E+02	3,9
KÜTTO4-9	2,53E+03	3,14E+03	3,34E+02	5,7	KÜTTO4-9	1,84E+03	2,31E+03	2,22E+02	6,37
KÜTTO4-10	2,18E+03	2,95E+03	3,37E+02	3,9	KÜTTO4-10	1,85E+03	2,16E+03	1,98E+02	4,27
F18					F19				
ÜTTO	9,81E+04	2,28E+05	8,62E+04	8,2	ÜTTO	7,75E+04	1,85E+06	1,37E+06	4,57
KÜTTO4-1	3,34E+04	1,26E+05	7,93E+04	4,8	KÜTTO4-1	5,14E+04	3,62E+06	3,63E+06	6,07
KÜTTO4-2	2,86E+04	2,44E+05	2,49E+05	6,8	KÜTTO4-2	5,95E+04	3,03E+06	2,29E+06	6,03
KÜTTO4-3	7,06E+04	2,79E+05	1,71E+05	8,4	KÜTTO4-3	8,32E+05	6,91E+06	4,33E+06	9,03
KÜTTO4-4	3,25E+04	1,50E+05	9,30E+04	5,4	KÜTTO4-4	8,35E+04	1,71E+06	1,31E+06	4,2
KÜTTO4-5	4,29E+04	1,55E+05	1,13E+05	5,5	KÜTTO4-5	1,12E+05	4,14E+06	3,15E+06	7,03
KÜTTO4-6	3,73E+04	1,68E+05	1,62E+05	5,7	KÜTTO4-6	8,05E+04	2,67E+06	2,77E+06	5,13
KÜTTO4-7	1,35E+04	1,60E+05	9,82E+04	5,6	KÜTTO4-7	7,35E+05	3,26E+06	2,26E+06	6,9
KÜTTO4-8	4,23E+04	1,65E+05	1,18E+05	5,3	KÜTTO4-8	4,84E+04	2,18E+06	1,81E+06	5
KÜTTO4-9	5,67E+04	1,63E+05	1,09E+05	5,9	KÜTTO4-9	7,65E+04	3,13E+06	2,62E+06	6,27
KÜTTO4-10	2,74E+04	1,15E+05	7,43E+04	4,3	KÜTTO4-10	9,57E+04	2,65E+06	2,04E+06	5,77

Tablo 9 (devamı)

Algoritma	En iyi	Ortalama	STD	FMR	Algoritma	En iyi	Ortalama	STD	FMR
F20					F21				
ÜTTO	2,46E+03	2,78E+03	1,28E+02	9	ÜTTO	2,24E+03	2,56E+03	2,10E+02	8,03
KÜTTO4-1	2,31E+03	2,61E+03	2,01E+02	5,9	KÜTTO4-1	2,40E+03	2,50E+03	5,15E+01	5,83
KÜTTO4-2	2,20E+03	2,57E+03	1,38E+02	5,3	KÜTTO4-2	2,41E+03	2,50E+03	5,20E+01	5,43
KÜTTO4-3	2,39E+03	2,82E+03	1,94E+02	9,2	KÜTTO4-3	2,44E+03	2,59E+03	6,41E+01	9,4
KÜTTO4-4	2,23E+03	2,55E+03	1,57E+02	5,3	KÜTTO4-4	2,21E+03	2,46E+03	7,78E+01	4,4
KÜTTO4-5	2,41E+03	2,65E+03	1,39E+02	7,1	KÜTTO4-5	2,22E+03	2,49E+03	6,37E+01	5,3
KÜTTO4-6	2,33E+03	2,51E+03	1,28E+02	4,1	KÜTTO4-6	2,42E+03	2,50E+03	4,90E+01	5,67
KÜTTO4-7	2,21E+03	2,61E+03	1,96E+02	6,3	KÜTTO4-7	2,45E+03	2,52E+03	4,64E+01	6,8
KÜTTO4-8	2,35E+03	2,52E+03	1,31E+02	4,3	KÜTTO4-8	2,21E+03	2,47E+03	6,37E+01	4,53
KÜTTO4-9	2,35E+03	2,63E+03	1,39E+02	6,2	KÜTTO4-9	2,43E+03	2,50E+03	3,73E+01	5,7
KÜTTO4-10	2,29E+03	2,47E+03	1,23E+02	3,4	KÜTTO4-10	2,41E+03	2,49E+03	4,53E+01	4,9
F22					F23				
ÜTTO	2,35E+03	6,00E+03	2,24E+03	9,1	ÜTTO	2,98E+03	3,32E+03	1,40E+02	10,7
KÜTTO4-1	2,32E+03	3,58E+03	2,12E+03	5,6	KÜTTO4-1	2,75E+03	2,96E+03	9,75E+01	5,93
KÜTTO4-2	2,31E+03	3,40E+03	2,00E+03	4,5	KÜTTO4-2	2,81E+03	2,91E+03	6,44E+01	4,23
KÜTTO4-3	2,32E+03	6,61E+03	1,64E+03	8,8	KÜTTO4-3	2,82E+03	3,07E+03	1,41E+02	8,07
KÜTTO4-4	2,31E+03	3,14E+03	1,86E+03	4,8	KÜTTO4-4	2,81E+03	2,91E+03	6,45E+01	4,23
KÜTTO4-5	2,31E+03	4,38E+03	2,44E+03	6,2	KÜTTO4-5	2,84E+03	2,97E+03	7,41E+01	6,3
KÜTTO4-6	2,31E+03	4,37E+03	2,23E+03	5,6	KÜTTO4-6	2,78E+03	2,93E+03	6,95E+01	5,5
KÜTTO4-7	2,31E+03	4,53E+03	2,45E+03	6,7	KÜTTO4-7	2,82E+03	2,97E+03	8,12E+01	6,17
KÜTTO4-8	2,32E+03	3,46E+03	1,94E+03	5,1	KÜTTO4-8	2,76E+03	2,90E+03	7,24E+01	4,23
KÜTTO4-9	2,31E+03	4,52E+03	2,25E+03	5,6	KÜTTO4-9	2,82E+03	2,96E+03	8,96E+01	6
KÜTTO4-10	2,31E+03	3,23E+03	1,87E+03	4,1	KÜTTO4-10	2,70E+03	2,92E+03	7,24E+01	4,63
F24					F25				
ÜTTO	2,58E+03	3,20E+03	3,01E+02	8,5	ÜTTO	2,90E+03	2,93E+03	1,38E+01	4,8
KÜTTO4-1	2,96E+03	3,11E+03	9,62E+01	6	KÜTTO4-1	2,89E+03	2,93E+03	2,28E+01	5,77
KÜTTO4-2	2,97E+03	3,08E+03	8,49E+01	4,8	KÜTTO4-2	2,90E+03	2,94E+03	2,34E+01	6,6
KÜTTO4-3	3,04E+03	3,24E+03	1,59E+02	8,9	KÜTTO4-3	2,89E+03	2,91E+03	2,19E+01	3,93
KÜTTO4-4	2,96E+03	3,11E+03	6,83E+01	6,1	KÜTTO4-4	2,89E+03	2,93E+03	2,47E+01	5,73
KÜTTO4-5	2,95E+03	3,14E+03	1,22E+02	6,5	KÜTTO4-5	2,90E+03	2,93E+03	2,18E+01	6,03
KÜTTO4-6	2,94E+03	3,08E+03	7,99E+01	5,4	KÜTTO4-6	2,90E+03	2,94E+03	2,00E+01	7,63
KÜTTO4-7	2,92E+03	3,07E+03	8,68E+01	5,3	KÜTTO4-7	2,90E+03	2,93E+03	2,08E+01	6,67
KÜTTO4-8	2,89E+03	3,05E+03	7,80E+01	4,5	KÜTTO4-8	2,89E+03	2,94E+03	2,33E+01	6,6
KÜTTO4-9	2,96E+03	3,10E+03	8,66E+01	5,9	KÜTTO4-9	2,90E+03	2,94E+03	2,05E+01	7,07
KÜTTO4-10	2,94E+03	3,04E+03	7,51E+01	4	KÜTTO4-10	2,90E+03	2,93E+03	2,16E+01	5,17

Tablo 9 (devamı)

Algoritma	En iyi	Ortalama	STD	FMR	Algoritma	En iyi	Ortalama	STD	FMR
F26					F27				
ÜTTO	3,00E+03	3,57E+03	1,13E+03	4,3	ÜTTO	3,28E+03	3,36E+03	5,26E+01	7,83
KÜTTO4-1	2,84E+03	5,33E+03	1,69E+03	5,6	KÜTTO4-1	3,24E+03	3,33E+03	6,01E+01	6,07
KÜTTO4-2	2,84E+03	5,74E+03	1,91E+03	6,6	KÜTTO4-2	3,23E+03	3,32E+03	6,22E+01	5,37
KÜTTO4-3	2,87E+03	6,20E+03	1,95E+03	7,6	KÜTTO4-3	3,24E+03	3,34E+03	5,62E+01	6,4
KÜTTO4-4	2,84E+03	5,30E+03	1,83E+03	5,5	KÜTTO4-4	3,24E+03	3,33E+03	5,24E+01	6,43
KÜTTO4-5	2,84E+03	5,97E+03	1,85E+03	7,1	KÜTTO4-5	3,25E+03	3,35E+03	9,63E+01	6,1
KÜTTO4-6	2,84E+03	5,33E+03	1,82E+03	6	KÜTTO4-6	3,23E+03	3,33E+03	6,11E+01	5,4
KÜTTO4-7	2,85E+03	4,84E+03	1,92E+03	5,3	KÜTTO4-7	3,22E+03	3,32E+03	6,51E+01	5,77
KÜTTO4-8	2,85E+03	5,35E+03	1,41E+03	5,5	KÜTTO4-8	3,25E+03	3,31E+03	3,78E+01	4,93
KÜTTO4-9	2,85E+03	6,09E+03	1,75E+03	7,3	KÜTTO4-9	3,25E+03	3,33E+03	6,76E+01	6,4
KÜTTO4-10	2,84E+03	5,07E+03	1,81E+03	5,4	KÜTTO4-10	3,26E+03	3,32E+03	5,95E+01	5,3
F28					F29				
ÜTTO	3,24E+03	3,27E+03	1,49E+01	5,7	ÜTTO	4,17E+03	4,69E+03	1,91E+02	8,33
KÜTTO4-1	3,22E+03	3,27E+03	2,32E+01	6,4	KÜTTO4-1	4,00E+03	4,45E+03	2,65E+02	5,47
KÜTTO4-2	3,21E+03	3,26E+03	2,15E+01	5,2	KÜTTO4-2	3,78E+03	4,40E+03	3,04E+02	5,47
KÜTTO4-3	3,21E+03	3,26E+03	2,36E+01	4,6	KÜTTO4-3	4,07E+03	4,60E+03	3,38E+02	7,03
KÜTTO4-4	3,21E+03	3,28E+03	2,94E+01	6,8	KÜTTO4-4	3,80E+03	4,38E+03	2,10E+02	4,93
KÜTTO4-5	3,23E+03	3,28E+03	2,41E+01	7,2	KÜTTO4-5	3,94E+03	4,56E+03	2,94E+02	6,77
KÜTTO4-6	3,22E+03	3,27E+03	2,00E+01	6,3	KÜTTO4-6	4,09E+03	4,52E+03	3,18E+02	6,4
KÜTTO4-7	3,21E+03	3,27E+03	2,40E+01	5,3	KÜTTO4-7	4,05E+03	4,44E+03	2,85E+02	5,13
KÜTTO4-8	3,22E+03	3,27E+03	2,27E+01	5,9	KÜTTO4-8	4,00E+03	4,36E+03	2,10E+02	4,7
KÜTTO4-9	3,21E+03	3,27E+03	2,44E+01	6,1	KÜTTO4-9	4,08E+03	4,60E+03	2,82E+02	7,4
KÜTTO4-10	3,22E+03	3,27E+03	1,69E+01	6,6	KÜTTO4-10	3,81E+03	4,32E+03	2,86E+02	4,37
F30									
ÜTTO	2,44E+06	5,49E+06	2,62E+06	4,6					
KÜTTO4-1	3,22E+06	8,79E+06	6,62E+06	6,5					
KÜTTO4-2	1,87E+06	6,39E+06	2,89E+06	5,5					
KÜTTO4-3	2,03E+06	1,16E+07	6,25E+06	8,6					
KÜTTO4-4	8,93E+05	7,04E+06	3,90E+06	6,1					
KÜTTO4-5	1,65E+06	6,81E+06	3,70E+06	5,6					
KÜTTO4-6	1,97E+06	6,94E+06	3,92E+06	6					
KÜTTO4-7	1,43E+06	7,52E+06	3,68E+06	6,6					
KÜTTO4-8	6,35E+05	6,47E+06	3,58E+06	5,6					
KÜTTO4-9	4,01E+05	6,46E+06	4,89E+06	4,9					
KÜTTO4-10	9,76E+05	6,47E+06	3,82E+06	5,9					

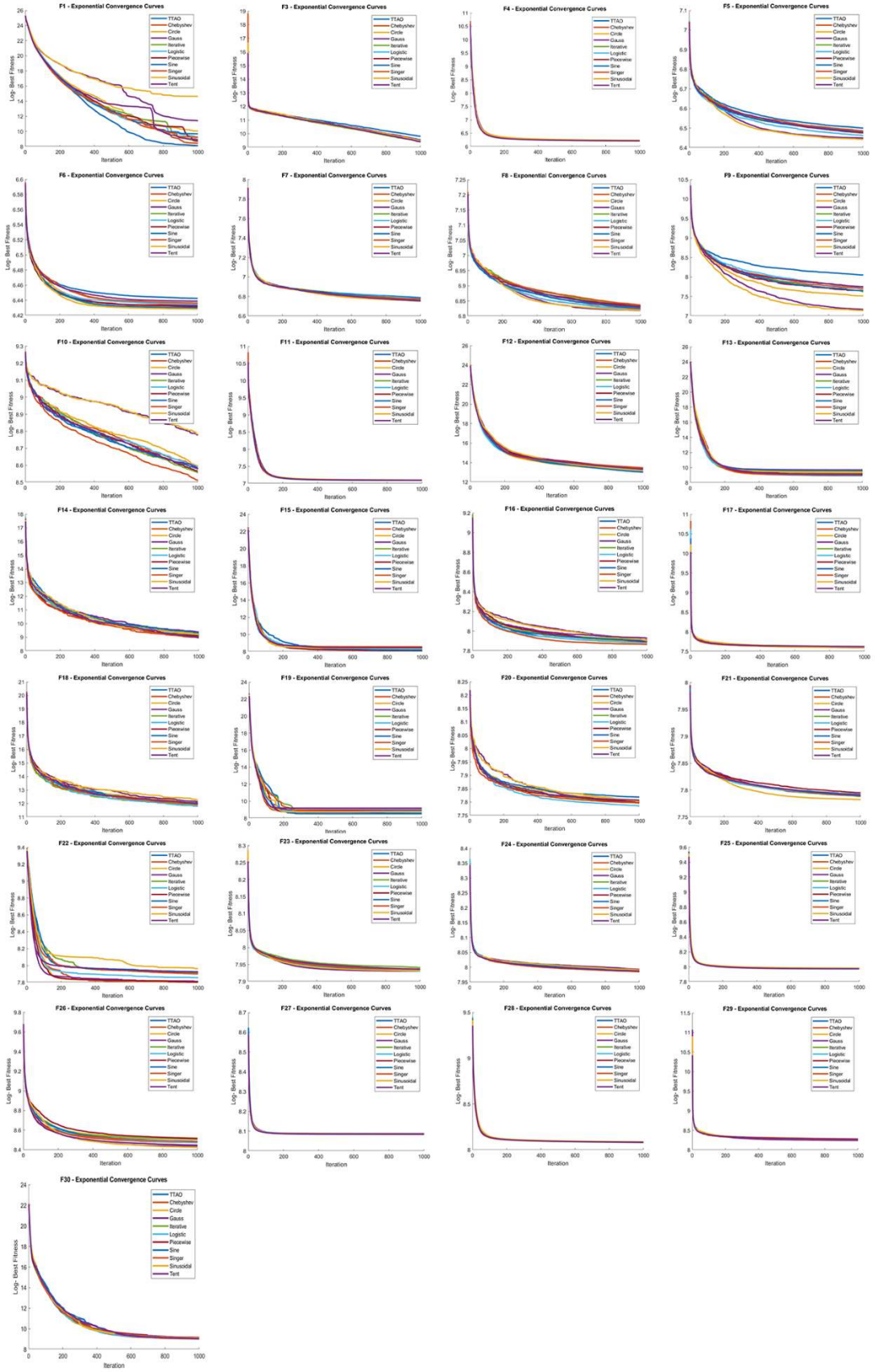
KÜTTO4 yönteminin yakınsama başarısı, tek modlu fonksiyonlar üzerinde yapılan değerlendirmelerde F1 fonksiyonunda KÜTTO4-8 (Singer kaotik varyasyon) ve F3 fonksiyonunda KÜTTO4-2 (daire kaotik varyasyon) ile öne çıkmıştır. Her iki

varyasyon da başarı sıralaması, ortalama sonuç değeri ve kararlılık (standart sapma) açısından orijinal ÜTTO algoritmasına üstünlük sağlamıştır. Çok modlu fonksiyonlar kapsamında, F6 ve F7 fonksiyonlarında KÜTTO4-2 (daire), F5 ve F10'da KÜTTO4-8 (Singer), F8 ve F9'da ise KÜTTO4-10 (çadır) kaotik varyasyonları yüksek başarı sıralamaları, düşük ortalama ve standart sapma değerleriyle ön plana çıkmıştır. Bu performans, KÜTTO4 yönteminin yerel minimumlara takılmadan çözüm uzayını daha geniş bir alanda tarayabildiğini ve yakınsama düzeyini düşürmeden global optimuma yönelebildiğini göstermektedir. Hibrit fonksiyonlar üzerinde, F11 ve F13 fonksiyonlarında KÜTTO4-10 (çadır kaotik varyasyon), düşük hata değeri ve yüksek kararlılığı ile öne çıkmıştır. Birleşim fonksiyonları açısından değerlendirildiğinde, tüm kaotik varyasyonlar genel olarak ÜTTO algoritmasından daha düşük sıralama, daha düşük ortalama ve daha düşük standart sapma değerleri üretmiştir. Özellikle F16, F18, F20, F22, F24 ve F29 fonksiyonlarında KÜTTO4-10 (çadır kaotik varyasyon), bu üç ölçüt açısından da en başarılı sonuçları vermiştir. Elde edilen bu bulgular, KÜTTO4 algoritmasının karmaşık ve hibrit problemler üzerinde etkili keşif yeteneği ve erken yakınsama kabiliyeti sergilediğini ortaya koymaktadır.

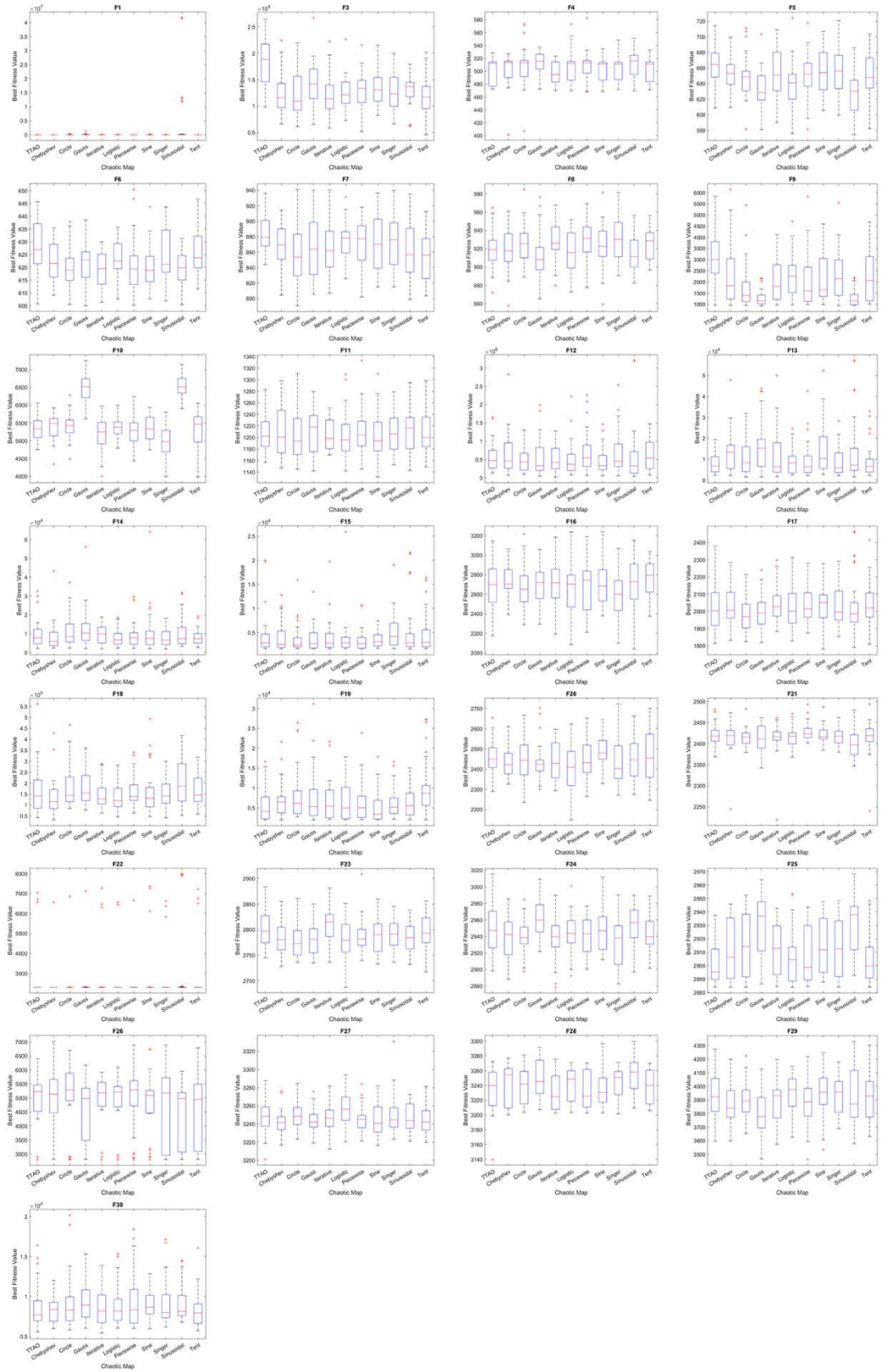
Tek modlu fonksiyonlar üzerinde KÜTTO3 ve KÜTTO4 serilerinde bazı varyasyonların ÜTTO'ya karşı çok daha düşük ortalama, sıralama ve standart sapma değerlerine ulaşıldığı gözlenmektedir. Bu yapı istikrarlı ve hızlı yakınsama başarısı göstermektedir. Çok modlu fonksiyonlar üzerinde KÜTTO versiyonlarının büyük bir çoğunluğu ÜTTO'dan daha düşük standart sapma ve ortalama değerleri alarak, kaotik harita çeşitliliğinin yerel minimumlara takılma olasılığını düşürmektedir. Hibrit ve birleşim fonksiyonlarında, KÜTTO4 yöntemindeki çok sayıda kaotik harita versiyonunun ortalama ve FMR değerlerinde üstünlük sağladığı gözlenmektedir. Elde edilen bulgular, uyarlanabilir kaotik seçim stratejilerinin karmaşık ve zorlu optimizasyon ortamlarında performansı artırıcı bir tol oynayabileceğini göstermektedir.

KÜTTO1-2, KÜTTO2-6 ve KÜTTO4-10 gibi varyasyonlar, birçok test fonksiyonu üzerinde en düşük başarı sıralamalarını elde etmiştir. Bu varyasyonlar, yalnızca bireysel fonksiyonlardaki başarılarıyla değil, aynı zamanda genel tutarlılıkları ve farklı problem türlerindeki yaygın üstünlükleriyle öne çıkmaktadır.

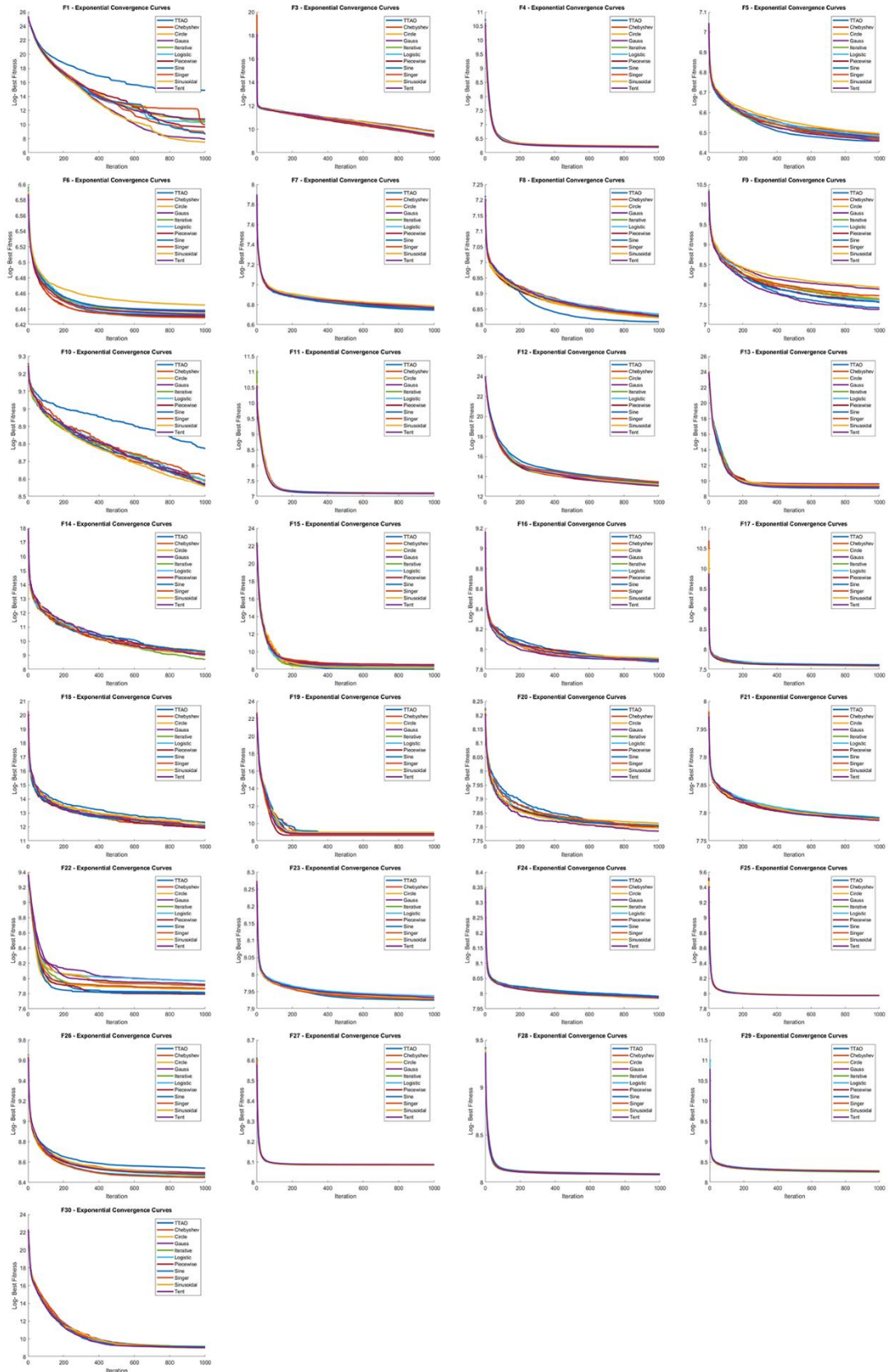
Standart sapma değerleri, bir yöntemin güvenilirliğini ve çözüm üretimindeki istikrarını yansıtan önemli bir ölçüttür. KÜTTO versiyonlarının büyük bir kısmı, düşük standart sapma değerleriyle öne çıkarak sonuçların rastlantısal etkilerden arındırılmış ve tekrar edilebilir olduğunu göstermektedir. Deneysel sonuçlar incelendiğinde, özellikle F6–F8 fonksiyonları üzerinde KÜTTO1-4 ve KÜTTO2-10 gibi varyasyonların hem düşük standart sapma hem de düşük ortalama amaç fonksiyonu değerleri ürettiği görülmektedir. Bu durum, söz konusu varyasyonların çözüm uzayında etkili bir keşif-sömürü dengesi kurabildiğini ortaya koymaktadır.



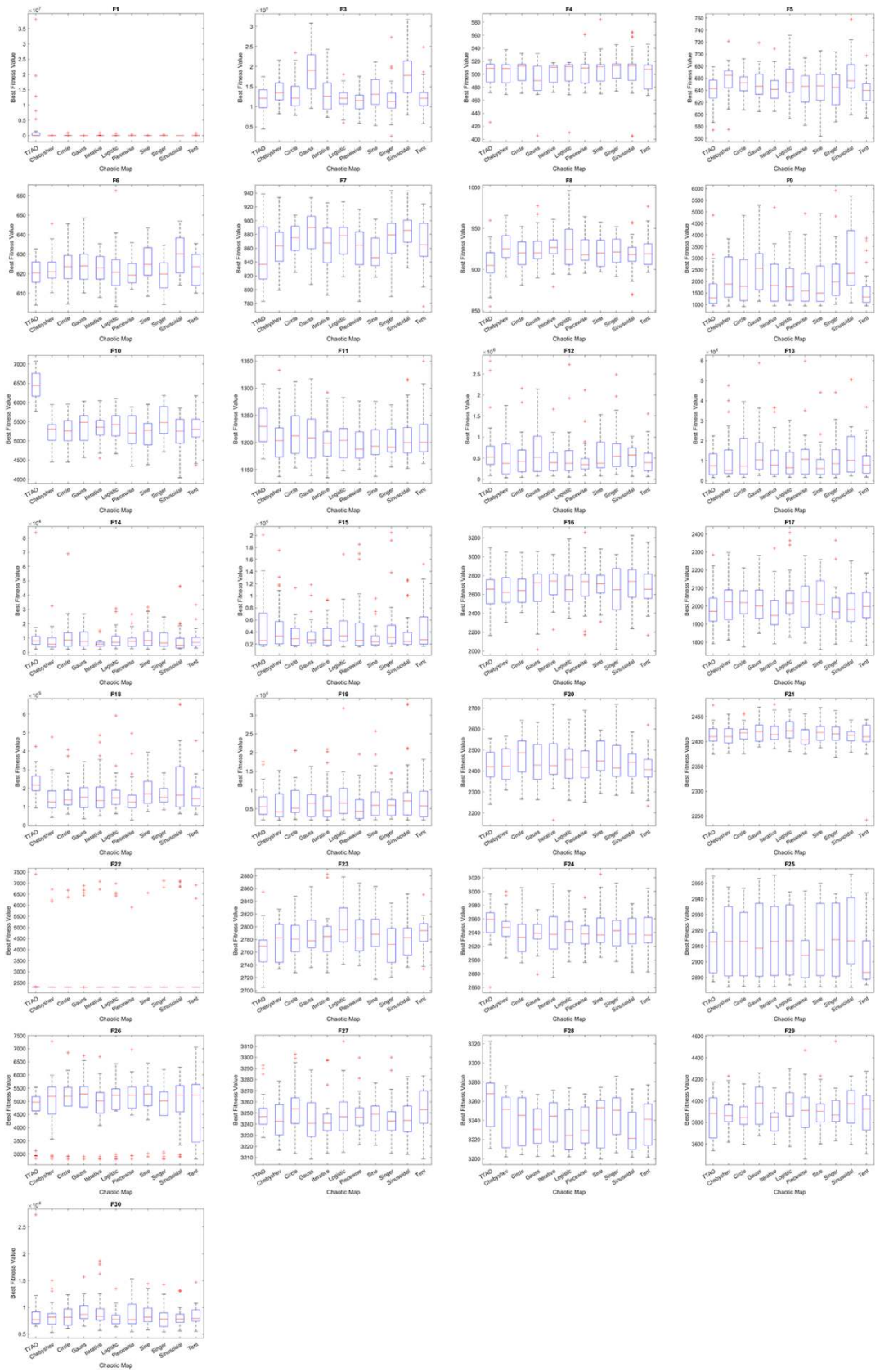
Şekil 19 KÜTTO1 için CEC'17 test fonksiyonlarının yakınsama eğrisi grafiği



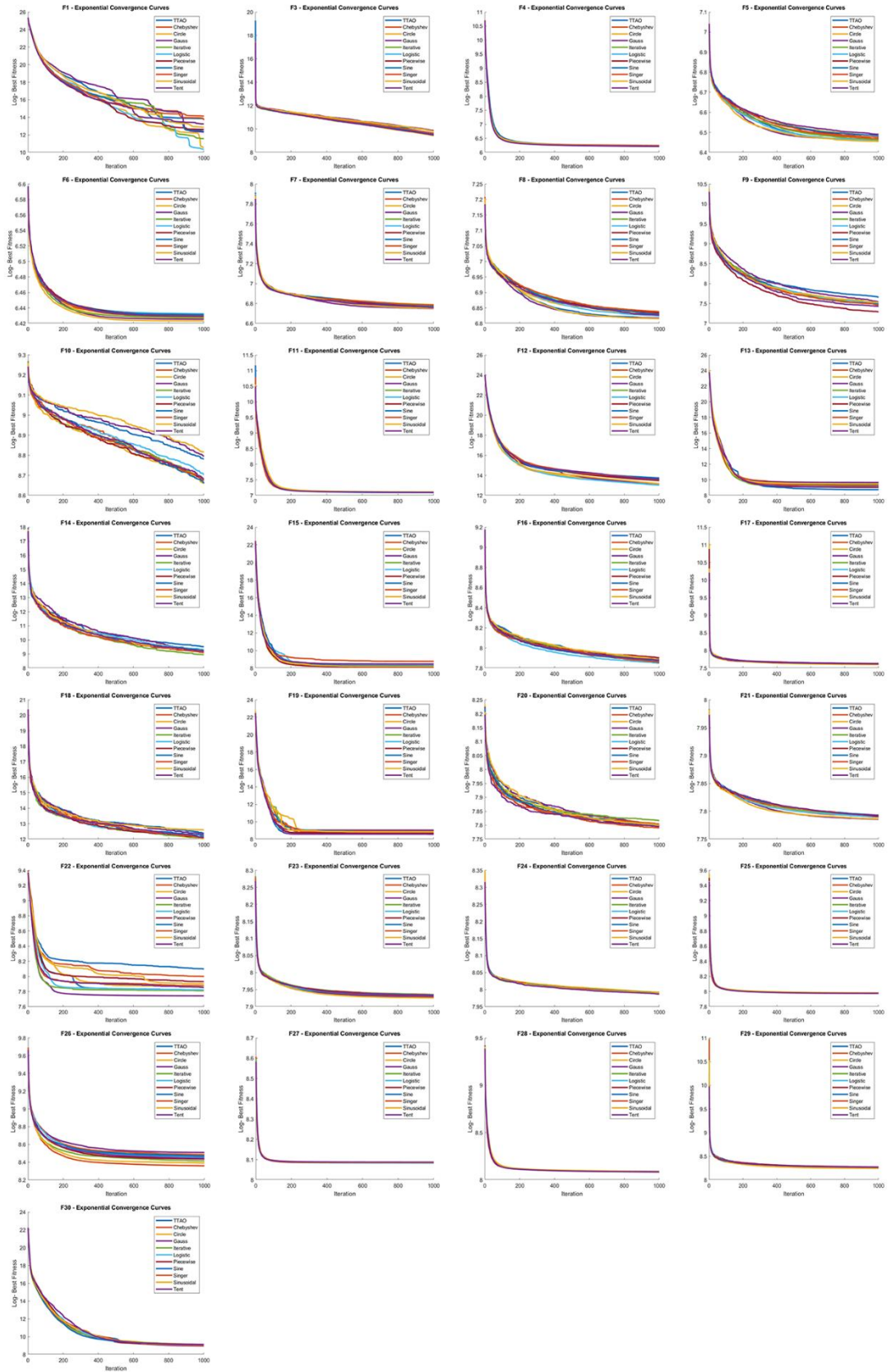
Şekil 20 KÜTTO1 CEC'17 test fonksiyonlarının kutu grafiği



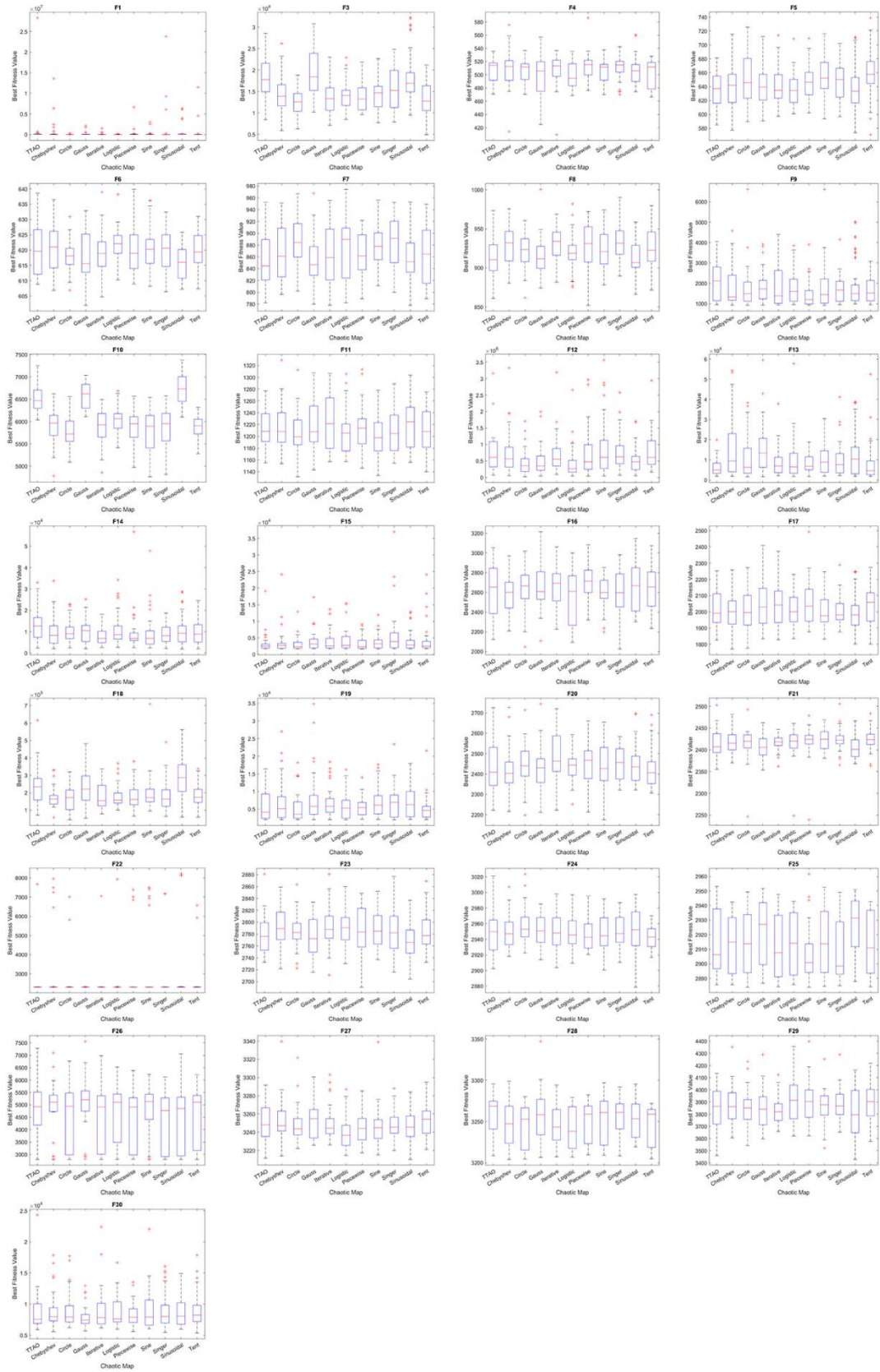
Şekil 21 KÜTTO2 CEC'17 test fonksiyonlarının yakınsama eğrisi grafiği



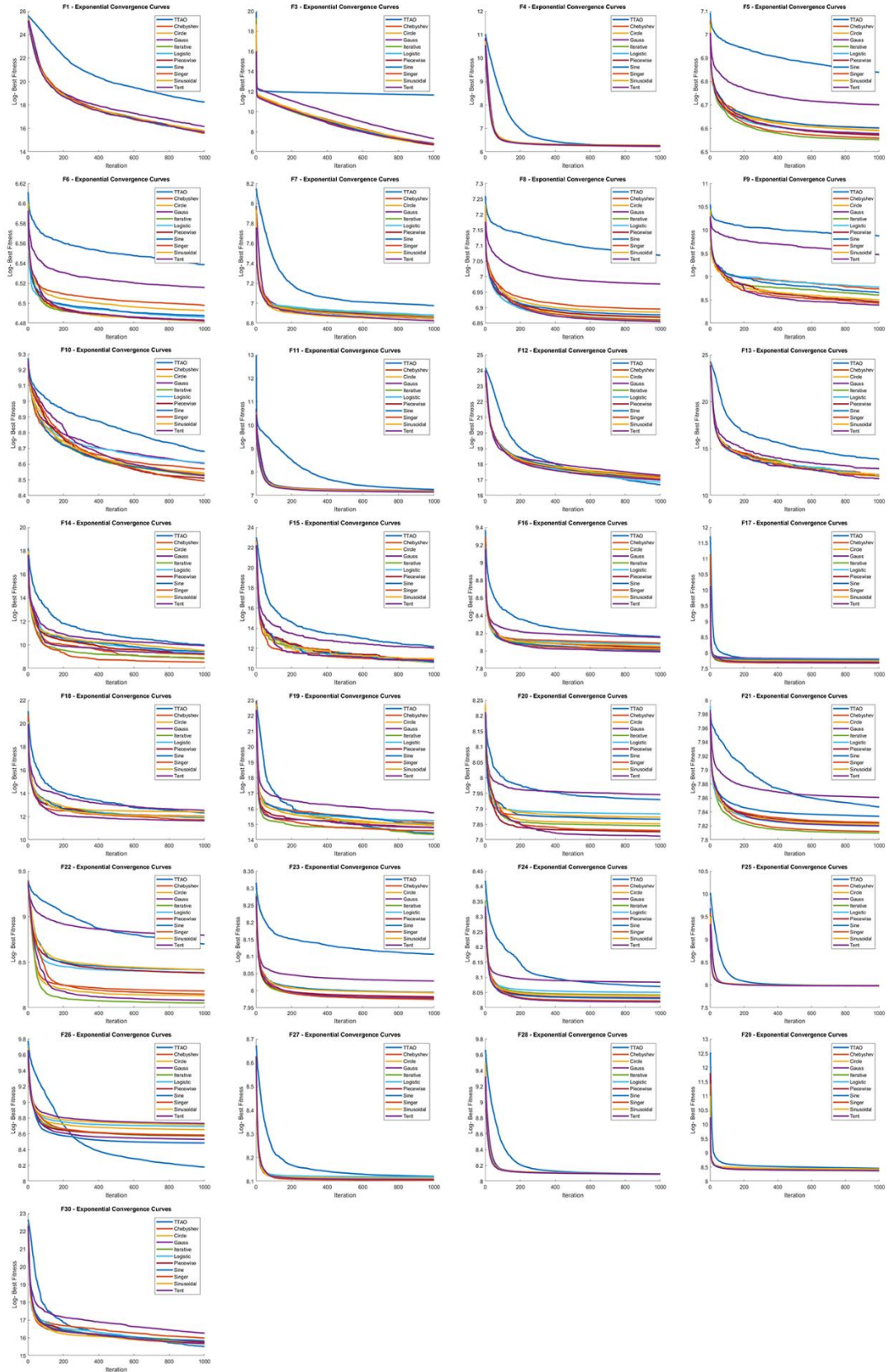
Şekil 22 KÜTTO2 CEC'17 test fonksiyonlarının kutu grafiği



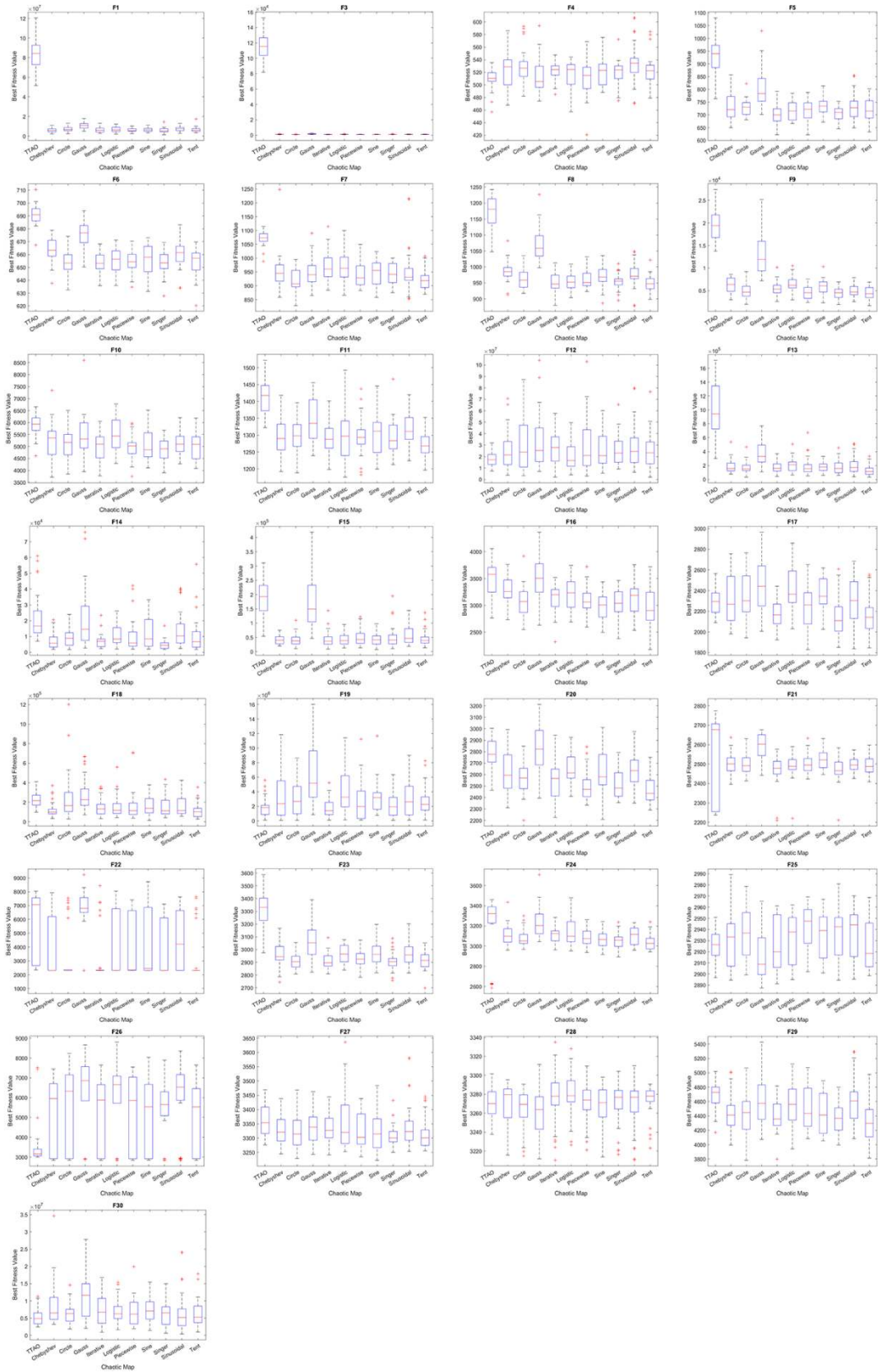
Şekil 23 KÜTTO3 CEC'17 test fonksiyonlarının yakınsama eğrisi grafiği



Şekil 24 KÜTTO3 CEC'17 test fonksiyonlarının kutu grafiği



Şekil 25 KÜTTO4 CEC'17 test fonksiyonlarının yakınsama eğrisi grafiği



Şekil 26 KÜTTO4 CEC'17 test fonksiyonlarının kutu grafiği

5.3.Wilcoxon rank-sum analizi

Wilcoxon analiz sonuçları, KÜTTO1 yöntemi ile ÜTTO algoritması arasında özellikle F3, F5, F6, F9 ve F10 fonksiyonlarında istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar bulunduğunu ortaya koymuştur. Bu sonuç, bahsi geçen versiyonların ÜTTO'ya kıyasla performans açısından anlamlı derecede farklı olduğunu göstermektedir. Deney sonuçları Tablo 50, 51, 52, 53'te gösterilmiştir. Elde edilen bulgular, kaotik başlangıçların belirli problem türlerinde çözüm arayışının etkinliğini artırmakta ve özellikle multimodal veya kötü koşullu yapıya sahip fonksiyonların çözüm kalitesini istatistiksel olarak artırabileceğini göstermektedir. Öte yandan, F13 ile F30 arasındaki fonksiyonlar üzerinde yapılan karşılaştırmalarda çoğu durumda anlamlı bir fark gözlemlenmemiş; varyasyonlar ile ÜTTO algoritması genellikle “benzer” ($\approx$) olarak değerlendirilmiştir. Bu durum, KÜTTO1 varyasyonlarının ileri aşamalarındaki yakınsama performanslarının ÜTTO algoritmasıyla istatistiksel olarak benzer düzeyde seyrettiğini göstermektedir.

KÜTTO2 yöntemi F1, F10 ve F18 gibi fonksiyonlarda tüm versiyonlar bakımından yüksek oranda anlamlı sonuçlar (∇) ortaya koymuştur. Bu durum, KÜTTO2'nin yapısal olarak karmaşık veya kompozit fonksiyonlarda daha etkili bir şekilde çalıştığını göstermektedir. Özellikle, F10 gibi zorlu test vakalarında, her versiyon, p değerleri genellikle 0,001 eşiğinin altında kalmıştır ve temel ÜTTO algoritmasından istatistiksel olarak anlamlı sonuçlar üretmiştir. Bu sonuçlar, bu varyantlarda kullanılan kaotik haritaların, erken arama aşamasında daha dengeli bir keşif sürecine katkıda bulunabileceğini göstermektedir. F22, F23 ve F28 gibi bileşik fonksiyonlarda da daha fazla iyileşme gözlemlenmiştir ve çoğu varyant Δ veya ∇ ile işaretlenmiştir. Bu bulgular, KÜTTO2 serisinin karmaşıklığın arttığı senaryolarda daha tutarlı ve güvenilir çözümler üretebildiğini desteklemektedir.

KÜTTO3 yöntemine ait kaotik versiyonlar genel olarak daha dengeli ve kararlı sonuçlar vermiştir. F3, F10, F14 ve F18 gibi fonksiyonlarda özellikle KÜTTO3-2, 4, 6 gibi alt varyantların sıklıkla istatistiksel anlamlılık düzeyine ulaştığı görülmektedir. Örneğin F10'da KÜTTO3 versiyonlarının birçoğu $p < 0.01$ sınırında değer üretmiş ve istatistiksel olarak ÜTTO'dan üstün bulunmuştur. Buna karşılık F15, F17, F21 gibi daha kararlı minimumlara sahip fonksiyonlarda çoğu versiyon ÜTTO ile istatistiksel olarak anlamlı fark göstermemiştir. Bu durum, KÜTTO3 varyantlarının daha çok yüksek varyanslı problem türlerinde avantaj sağladığını göstermektedir.

KÜTTO4 yöntemine ait versiyonlar en güçlü istatistiksel farklılıkların gözlemlendiği grup olarak öne çıkmaktadır. Tablo genelinde birçok fonksiyon (özellikle F1–F10 aralığı) için neredeyse tüm versiyonlar “ ∇ ” ile işaretlenmiş, yani ÜTTO'ya göre anlamlı düzeyde farklı sonuçlar üretmişlerdir. Özellikle F1, F3, F5, F6, F8 ve F13 fonksiyonlarında versiyonlar arasında istisnasız anlamlı fark çıkması, KÜTTO4 serisinde kullanılan kaotik yapıların geniş problem uzayında etkin ve güçlü bir arama yeteneğine sahip olduğunu göstermektedir. Ayrıca F22, F23, F25 gibi kompozit fonksiyonlarda da anlamlı farklar görülmüş olup, bu versiyonların yüksek dereceli bileşik yapılar karşısında üstünlük sağlama potansiyeli taşıdığı değerlendirilmektedir. Tüm yöntemlere ait Wilcoxon sıra toplamı analizleri Tablo 10, 11, 12 ve 13'te verilmiştir.

Tablo 10 KÜTTO1 CEC'17 test fonksiyonları üzerinde Wilcoxon sıra toplamı testi

CEC'17	KUTTO1-1	KUTTO1-2	KUTTO1-3	KUTTO1-4	KUTTO1-5	KUTTO1-6	KUTTO1-7	KUTTO1-8	KUTTO1-9	KUTTO1-10
F1	9.26E-01	5.67E-03	4.86E-05	8.22E-02	1.78E-01	5.19E-02	3.82E-01	1.78E-01	2.35E-06	1.11E-01
	≈	△	△	≈	≈	≈	≈	≈	△	≈
F3	8.92E-05	7.51E-05	1.71E-03	3.72E-05	2.16E-05	8.19E-05	2.05E-04	1.15E-04	2.37E-05	1.02E-05
	▽	▽	▽	▽	▽	▽	▽	▽	▽	▽
F4	1.78E-01	1.92E-01	2.56E-02	7.66E-01	5.04E-01	1.71E-01	5.17E-01	4.65E-01	1.16E-01	9.59E-01
	≈	≈	△	≈	≈	≈	≈	≈	≈	≈
F5	1.25E-01	2.85E-02	5.79E-05	1.65E-01	3.16E-03	7.86E-02	1.31E-01	2.71E-01	1.25E-04	3.16E-02
	≈	▽	▽	≈	▽	≈	≈	≈	▽	▽
F6	1.66E-02	1.25E-02	2.18E-02	4.90E-04	4.07E-02	1.25E-02	4.68E-03	1.53E-01	4.90E-04	2.37E-01
	▽	▽	▽	▽	▽	▽	▽	≈	▽	≈
F7	2.70E-02	6.64E-04	1.75E-02	6.84E-03	1.25E-01	2.70E-02	8.59E-02	1.99E-01	1.25E-02	1.29E-03
	▽	▽	▽	▽	≈	▽	≈	≈	▽	▽
F8	9.75E-01	2.71E-01	3.93E-01	1.11E-01	7.34E-01	1.92E-01	4.65E-01	5.71E-02	4.17E-01	2.06E-01
	≈	≈	≈	≈	≈	≈	≈	≈	≈	≈
F9	8.73E-03	8.94E-04	3.18E-06	7.71E-04	6.04E-03	1.29E-03	4.68E-03	7.27E-03	2.35E-06	8.73E-03
	▽	▽	▽	▽	▽	▽	▽	▽	▽	▽
F10	2.13E-01	2.99E-01	1.73E-06	2.89E-01	5.04E-01	4.28E-01	8.61E-01	7.27E-03	1.73E-06	6.00E-01
	≈	≈	△	≈	≈	≈	≈	▽	△	≈
F11	8.94E-01	6.00E-01	7.19E-01	8.94E-01	4.65E-01	8.61E-01	7.04E-01	6.29E-01	5.17E-01	8.94E-01
	≈	≈	≈	≈	≈	≈	≈	≈	≈	≈
F12	6.00E-01	5.44E-01	9.92E-01	8.29E-01	5.30E-01	5.44E-01	2.29E-01	5.17E-01	3.49E-01	5.72E-01
	≈	≈	≈	≈	≈	≈	≈	≈	≈	≈
F13	4.99E-03	9.78E-02	8.22E-03	1.20E-01	1.65E-01	5.86E-01	1.17E-02	8.45E-01	3.71E-01	4.53E-01
	△	≈	△	≈	≈	≈	△	≈	≈	≈
F14	2.71E-01	5.04E-01	3.93E-01	7.66E-01	4.65E-01	7.81E-01	9.43E-01	3.82E-01	7.66E-01	5.17E-01
	≈	≈	≈	≈	≈	≈	≈	≈	≈	≈
F15	9.92E-01	6.44E-01	6.44E-01	7.81E-01	3.71E-01	2.06E-01	4.41E-01	2.54E-01	6.00E-01	7.81E-01
	≈	≈	≈	≈	≈	≈	≈	≈	≈	≈
F16	2.54E-01	9.75E-01	7.04E-01	4.78E-01	8.61E-01	7.50E-01	9.10E-01	2.62E-01	6.88E-01	1.31E-01
	≈	≈	≈	≈	≈	≈	≈	≈	≈	≈
F17	8.77E-01	3.29E-01	3.93E-01	2.89E-01	9.92E-01	6.44E-01	4.17E-01	7.97E-01	6.44E-01	4.91E-01
	≈	≈	≈	≈	≈	≈	≈	≈	≈	≈
F18	3.71E-01	5.17E-01	2.54E-01	5.17E-01	3.39E-01	7.66E-01	8.61E-01	8.45E-01	1.16E-01	7.34E-01
	≈	≈	≈	≈	≈	≈	≈	≈	≈	≈
F19	3.93E-01	3.39E-01	1.78E-01	6.14E-01	3.49E-01	6.73E-01	5.04E-01	5.44E-01	6.88E-01	5.71E-02
	≈	≈	≈	≈	≈	≈	≈	≈	≈	≈
F20	2.62E-01	8.13E-01	2.37E-01	8.94E-01	1.31E-01	9.59E-01	5.71E-02	6.29E-01	9.10E-01	6.88E-01
	≈	≈	≈	≈	≈	≈	≈	≈	≈	≈
F21	4.65E-01	2.89E-01	6.44E-01	8.94E-01	4.41E-01	8.59E-02	6.58E-01	3.29E-01	1.48E-03	6.44E-01
	≈	≈	≈	≈	≈	≈	≈	≈	▽	≈
F22	1.65E-01	3.29E-01	7.27E-03	2.21E-01	4.17E-01	4.78E-01	7.52E-02	2.62E-01	1.71E-03	2.70E-02
	≈	≈	▽	≈	≈	≈	≈	≈	△	△
F23	9.37E-02	8.22E-03	1.17E-02	1.41E-01	4.49E-02	2.62E-01	4.17E-01	5.44E-01	1.02E-01	8.77E-01
	≈	▽	▽	≈	▽	≈	≈	≈	≈	≈
F24	2.54E-01	2.21E-01	5.71E-02	2.06E-01	8.29E-01	5.30E-01	8.94E-01	1.92E-01	2.89E-01	6.14E-01
	≈	≈	≈	≈	≈	≈	≈	≈	≈	≈

Tablo 10 (devamı)

CEC'17	KUTTO1-1	KUTTO1-2	KUTTO1-3	KUTTO1-4	KUTTO1-5	KUTTO1-6	KUTTO1-7	KUTTO1-8	KUTTO1-9	KUTTO1-10
F25	4.95E-02	2.18E-02	2.37E-05	3.00E-02	4.05E-01	2.29E-01	3.00E-02	4.72E-02	9.71E-05	4.91E-01
	△	△	△	△	≈	≈	△	△	△	≈
F26	8.77E-01	5.44E-01	3.18E-01	8.61E-01	7.81E-01	5.86E-01	7.19E-01	8.94E-01	3.18E-01	5.86E-01
	≈	≈	≈	≈	≈	≈	≈	≈	≈	≈
F27	2.54E-01	7.19E-01	2.71E-01	7.81E-01	5.19E-02	1.78E-01	4.78E-01	9.10E-01	9.26E-01	6.29E-01
	≈	≈	≈	≈	≈	≈	≈	≈	≈	≈
F28	3.09E-01	6.88E-01	3.68E-02	2.54E-01	6.29E-01	6.58E-01	6.14E-01	3.29E-01	1.85E-02	5.44E-01
	≈	≈	△	≈	≈	≈	≈	≈	△	≈
F29	5.19E-02	4.05E-01	7.27E-03	5.17E-01	6.44E-01	4.05E-01	7.34E-01	7.34E-01	5.30E-01	8.77E-01
	≈	≈	▽	≈	≈	≈	≈	≈	≈	≈
F30	9.75E-01	9.59E-01	3.29E-01	9.59E-01	4.78E-01	6.88E-01	3.93E-01	3.93E-01	5.58E-01	7.66E-01
	≈	≈	≈	≈	≈	≈	≈	≈	≈	≈

Tablo 11 KÜTTO2 CEC'17 test fonksiyonları üzerinde Wilcoxon sıra toplamı testi

CEC'17	KUTTO2-1	KUTTO2-2	KUTTO2-3	KUTTO2-4	KUTTO2-5	KUTTO2-6	KUTTO2-7	KUTTO2-8	KUTTO2-9	KUTTO2-10
F1	9.32E-06	4.11E-03	1.24E-05	2.61E-04	1.11E-03	1.38E-03	1.25E-04	1.59E-03	3.52E-06	2.11E-03
	▽	▽	▽	▽	▽	▽	▽	▽	▽	▽
F3	4.49E-02	4.05E-01	5.79E-05	5.17E-01	7.04E-01	3.93E-01	8.97E-02	6.44E-01	1.48E-04	2.29E-01
	△	≈	△	≈	≈	≈	≈	≈	△	≈
F4	4.53E-01	4.41E-01	8.59E-02	6.58E-01	8.94E-01	7.50E-01	2.71E-01	5.19E-02	1.92E-01	8.29E-01
	≈	≈	≈	≈	≈	≈	≈	≈	≈	≈
F5	7.27E-03	5.19E-02	8.97E-02	2.29E-01	6.56E-02	3.71E-01	5.58E-01	8.77E-01	8.73E-03	6.14E-01
	△	≈	≈	≈	≈	≈	≈	≈	△	≈
F6	7.97E-01	9.78E-02	4.53E-01	3.49E-01	9.92E-01	7.50E-01	5.98E-02	3.39E-01	1.59E-03	5.86E-01
	≈	≈	≈	≈	≈	≈	≈	≈	△	≈
F7	3.93E-01	3.33E-02	1.57E-02	2.80E-01	3.50E-02	2.29E-01	6.00E-01	9.37E-02	1.38E-03	1.20E-01
	≈	△	△	≈	△	≈	≈	≈	△	≈
F8	7.71E-04	2.85E-02	6.16E-04	1.48E-03	1.11E-03	1.40E-02	6.84E-03	2.96E-03	8.22E-03	1.83E-03
	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△
F9	5.19E-02	1.02E-01	4.90E-04	8.22E-02	7.52E-02	4.41E-01	1.85E-01	4.07E-02	3.32E-04	5.86E-01
	≈	≈	△	≈	≈	≈	≈	△	△	≈
F10	1.73E-06	1.73E-06	1.73E-06	1.73E-06	1.73E-06	1.73E-06	1.92E-06	2.35E-06	1.73E-06	1.73E-06
	▽	▽	▽	▽	▽	▽	▽	▽	▽	▽
F11	4.28E-02	4.91E-01	9.37E-02	2.07E-02	5.19E-02	6.84E-03	3.61E-03	3.00E-02	2.43E-02	1.20E-01
	▽	≈	≈	▽	≈	▽	▽	▽	▽	≈
F12	1.65E-01	3.09E-01	6.58E-01	6.87E-02	2.37E-01	8.22E-02	9.26E-01	6.58E-01	4.91E-01	1.85E-01
	≈	≈	≈	≈	≈	≈	≈	≈	≈	≈
F13	3.49E-01	4.91E-01	1.11E-02	2.06E-01	8.61E-01	3.60E-01	8.29E-01	4.05E-01	1.31E-01	5.86E-01
	≈	≈	△	≈	≈	≈	≈	≈	≈	≈
F14	6.00E-01	5.72E-01	4.17E-01	2.56E-02	8.94E-01	9.10E-01	3.09E-01	6.29E-01	3.60E-01	7.04E-01
	≈	≈	≈	▽	≈	≈	≈	≈	≈	≈
F15	7.66E-01	4.65E-01	6.14E-01	4.05E-01	6.00E-01	8.77E-01	3.87E-02	3.82E-01	7.50E-01	9.92E-01
	≈	≈	≈	≈	≈	≈	▽	≈	≈	≈
F16	7.81E-01	6.14E-01	7.34E-01	2.62E-01	4.91E-01	1.65E-01	1.92E-01	7.66E-01	3.71E-01	5.30E-01
	≈	≈	≈	≈	≈	≈	≈	≈	≈	≈

Tablo 11 (devamı)

CEC'17	KUTTO2-1	KUTTO2-2	KUTTO2-3	KUTTO2-4	KUTTO2-5	KUTTO2-6	KUTTO2-7	KUTTO2-8	KUTTO2-9	KUTTO2-10
F17	4.17E-01	3.82E-01	2.80E-01	2.62E-01	5.45E-02	5.72E-01	3.82E-01	5.44E-01	6.29E-01	2.54E-01
	≈	≈	≈	≈	≈	≈	≈	≈	≈	≈
F18	8.92E-05	3.16E-03	3.88E-04	9.27E-03	6.84E-03	2.58E-03	2.70E-02	1.71E-03	4.65E-01	2.96E-03
	▽	▽	▽	▽	▽	▽	▽	▽	≈	▽
F19	7.34E-01	8.77E-01	6.58E-01	7.81E-01	3.18E-01	4.65E-01	9.43E-01	8.13E-01	7.19E-01	6.73E-01
	≈	≈	≈	≈	≈	≈	≈	≈	≈	≈
F20	8.29E-01	8.22E-02	6.14E-01	5.17E-01	6.00E-01	8.13E-01	3.09E-01	6.29E-01	9.10E-01	4.05E-01
	≈	≈	≈	≈	≈	≈	≈	≈	≈	≈
F21	7.19E-01	4.53E-01	1.59E-01	3.29E-01	1.02E-01	4.78E-01	4.91E-01	7.81E-01	9.92E-01	8.61E-01
	≈	≈	≈	≈	≈	≈	≈	≈	≈	≈
F22	2.07E-02	3.88E-04	1.85E-02	1.40E-02	2.80E-01	2.26E-03	5.29E-04	2.56E-02	6.04E-03	3.16E-02
	△	△	△	△	≈	▽	▽	△	△	△
F23	5.45E-02	3.00E-02	5.67E-03	1.66E-02	7.16E-04	9.27E-03	6.04E-03	4.78E-01	6.27E-02	6.04E-03
	≈	△	△	△	△	△	△	≈	≈	△
F24	1.85E-01	5.32E-03	5.32E-03	3.00E-02	1.59E-01	4.11E-03	7.52E-02	5.98E-02	2.56E-02	7.19E-02
	≈	▽	▽	▽	≈	▽	≈	≈	▽	≈
F25	9.26E-01	8.61E-01	8.29E-01	9.26E-01	6.29E-01	3.82E-01	8.29E-01	5.44E-01	2.21E-01	1.53E-01
	≈	≈	≈	≈	≈	≈	≈	≈	≈	≈
F26	2.62E-01	4.17E-01	1.78E-01	6.44E-01	2.62E-01	2.37E-01	3.87E-02	7.50E-01	2.45E-01	5.17E-01
	≈	≈	≈	≈	≈	≈	△	≈	≈	≈
F27	3.39E-01	5.17E-01	2.37E-01	1.41E-01	7.66E-01	1.99E-01	8.61E-01	3.71E-01	2.29E-01	3.39E-01
	≈	≈	≈	≈	≈	≈	≈	≈	≈	≈
F28	3.16E-02	1.17E-02	3.59E-04	1.66E-02	3.88E-04	1.48E-03	1.85E-02	2.18E-02	7.51E-05	4.39E-03
	▽	▽	▽	▽	▽	▽	▽	▽	▽	▽
F29	5.44E-01	9.43E-01	5.67E-03	8.94E-01	2.70E-02	1.47E-01	2.71E-01	5.04E-01	3.16E-02	2.29E-01
	≈	≈	△	≈	△	≈	≈	≈	△	≈
F30	9.59E-01	8.13E-01	8.97E-02	1.53E-01	9.59E-01	9.59E-01	1.47E-01	8.61E-01	5.30E-01	7.19E-01
	≈	≈	≈	≈	≈	≈	≈	≈	≈	≈

Tablo 12 KÜTTO3 CEC'17 test fonksiyonları üzerinde Wilcoxon sıra toplamı testi

CEC'17	KUTTO3-1	KUTTO3-2	KUTTO3-3	KUTTO3-4	KUTTO3-5	KUTTO3-6	KUTTO3-7	KUTTO3-8	KUTTO3-9	KUTTO3-10
F1	9.59E-01	5.45E-02	8.45E-01	1.59E-01	1.48E-02	8.97E-02	5.04E-01	1.25E-01	3.60E-01	1.92E-01
	≈	≈	≈	≈	▽	≈	≈	≈	≈	≈
F3	1.96E-02	2.84E-05	2.29E-01	9.84E-03	4.11E-03	2.83E-04	2.26E-03	8.59E-02	6.29E-01	1.60E-04
	▽	▽	≈	▽	▽	▽	▽	≈	≈	▽
F4	8.94E-01	9.92E-01	3.60E-01	8.94E-01	1.06E-01	3.60E-01	5.86E-01	2.54E-01	5.72E-01	2.13E-01
	≈	≈	≈	≈	≈	≈	≈	≈	≈	≈
F5	3.93E-01	5.19E-02	2.71E-01	7.50E-01	8.94E-01	2.99E-01	1.57E-02	9.78E-02	7.19E-01	2.30E-02
	≈	≈	≈	≈	≈	≈	△	≈	≈	△
F6	3.82E-01	7.66E-01	3.82E-01	7.04E-01	2.62E-01	6.14E-01	3.71E-01	8.29E-01	1.16E-01	6.73E-01
	≈	≈	≈	≈	≈	≈	≈	≈	≈	≈
F7	3.82E-01	1.96E-02	9.75E-01	3.29E-01	1.02E-01	4.05E-01	2.07E-02	1.32E-02	9.92E-01	6.14E-01
	≈	△	≈	≈	≈	≈	△	△	≈	≈
F8	3.50E-02	1.36E-01	9.10E-01	5.32E-03	3.29E-01	4.07E-02	1.36E-01	1.38E-03	6.44E-01	1.25E-01

Tablo 12 (devamı)

CEC'17	KUTTO3-1	KUTTO3-2	KUTTO3-3	KUTTO3-4	KUTTO3-5	KUTTO3-6	KUTTO3-7	KUTTO3-8	KUTTO3-9	KUTTO3-10
	△	≈	≈	△	≈	△	≈	△	≈	≈
F9	3.09E-01	1.36E-01	3.18E-01	1.31E-01	2.37E-01	3.85E-03	1.02E-01	1.11E-01	1.92E-01	2.29E-01
	≈	≈	≈	≈	≈	▽	≈	≈	≈	≈
F10	7.69E-06	6.34E-06	1.99E-01	2.88E-06	1.13E-05	2.13E-06	3.18E-06	2.88E-06	1.25E-02	2.60E-06
	▽	▽	≈	▽	▽	▽	▽	▽	△	▽
F11	3.82E-01	2.89E-01	8.13E-01	2.71E-01	3.29E-01	9.10E-01	1.11E-01	5.58E-01	6.00E-01	7.19E-01
	≈	≈	≈	≈	≈	≈	≈	≈	≈	≈
F12	9.92E-01	6.87E-02	9.78E-02	9.26E-01	3.33E-02	7.34E-01	7.50E-01	9.26E-01	1.20E-01	5.58E-01
	≈	≈	≈	≈	▽	≈	≈	≈	≈	≈
F13	8.22E-03	2.71E-01	3.32E-04	1.47E-01	1.25E-01	8.22E-02	7.27E-03	7.52E-02	5.32E-03	7.81E-01
	△	≈	△	≈	≈	≈	△	≈	△	≈
F14	6.84E-03	8.97E-02	8.22E-02	3.59E-04	2.71E-01	2.56E-02	1.96E-02	1.17E-02	4.28E-02	1.20E-01
	▽	≈	≈	▽	≈	▽	▽	▽	▽	≈
F15	6.14E-01	8.61E-01	1.59E-01	2.89E-01	4.91E-01	7.34E-01	2.54E-01	8.59E-02	4.91E-01	8.29E-01
	≈	≈	≈	≈	≈	≈	≈	≈	≈	≈
F16	7.19E-01	8.94E-01	5.86E-01	4.53E-01	2.89E-01	2.80E-01	7.04E-01	5.17E-01	5.44E-01	8.61E-01
	≈	≈	≈	≈	≈	≈	≈	≈	≈	≈
F17	7.19E-01	8.77E-01	1.59E-01	4.28E-01	6.88E-01	1.99E-01	3.39E-01	7.04E-01	5.44E-01	3.18E-01
	≈	≈	≈	≈	≈	≈	≈	≈	≈	≈
F18	1.11E-02	2.43E-02	5.17E-01	5.32E-03	4.07E-02	3.00E-02	8.59E-02	4.07E-02	5.71E-02	6.87E-02
	▽	▽	≈	▽	▽	▽	≈	▽	≈	≈
F19	9.10E-01	5.04E-01	1.71E-01	7.04E-01	9.26E-01	8.45E-01	4.53E-01	6.29E-01	7.04E-01	4.91E-01
	≈	≈	≈	≈	≈	≈	≈	≈	≈	≈
F20	5.58E-01	3.71E-01	7.81E-01	1.36E-01	8.77E-01	6.14E-01	7.19E-01	4.17E-01	7.34E-01	9.43E-01
	≈	≈	≈	≈	≈	≈	≈	≈	≈	≈
F21	9.10E-01	8.13E-01	4.05E-01	8.45E-01	4.53E-01	2.37E-01	4.05E-01	2.45E-01	2.37E-01	2.13E-01
	≈	≈	≈	≈	≈	≈	≈	≈	≈	≈
F22	3.09E-01	8.13E-01	2.71E-01	9.26E-01	5.58E-01	8.22E-02	8.13E-01	5.58E-01	6.58E-01	9.59E-01
	≈	≈	≈	≈	≈	≈	≈	≈	≈	≈
F23	4.49E-02	4.17E-01	5.44E-01	2.62E-01	2.54E-01	5.86E-01	2.62E-01	6.44E-01	1.92E-01	3.39E-01
	△	≈	≈	≈	≈	≈	≈	≈	≈	≈
F24	8.13E-01	1.71E-01	7.66E-01	7.19E-01	9.43E-01	8.29E-01	4.78E-01	9.59E-01	8.13E-01	2.62E-01
	≈	≈	≈	≈	≈	≈	≈	≈	≈	≈
F25	9.75E-01	9.75E-01	2.80E-01	4.17E-01	6.88E-01	1.71E-01	9.92E-01	3.39E-01	4.28E-02	7.04E-01
	≈	≈	≈	≈	≈	≈	≈	≈	△	≈
F26	8.45E-01	6.29E-01	5.04E-01	8.29E-01	9.43E-01	8.13E-01	7.66E-01	7.86E-02	3.71E-01	8.13E-01
	≈	≈	≈	≈	≈	≈	≈	≈	≈	≈
F27	9.26E-01	5.04E-01	7.04E-01	9.75E-01	3.16E-02	3.29E-01	2.54E-01	6.29E-01	6.88E-01	6.29E-01
	≈	≈	≈	≈	▽	≈	≈	≈	≈	≈
F28	5.98E-02	3.00E-02	6.14E-01	3.16E-02	1.40E-02	9.78E-02	2.21E-01	4.53E-01	2.71E-01	1.11E-02
	≈	▽	≈	▽	▽	≈	≈	≈	≈	▽
F29	6.58E-01	9.10E-01	6.73E-01	3.71E-01	3.93E-01	3.82E-01	9.26E-01	7.04E-01	4.17E-01	3.18E-01
	≈	≈	≈	≈	≈	≈	≈	≈	≈	≈
F30	3.39E-01	6.73E-01	4.78E-01	9.43E-01	5.17E-01	8.61E-01	7.50E-01	3.82E-01	3.93E-01	3.60E-01
	≈	≈	≈	≈	≈	≈	≈	≈	≈	≈

Tablo 13 KÜTTO4 CEC'17 test fonksiyonları üzerinde Wilcoxon sıra toplamı testi

CEC'17	KUTTO4-1	KUTTO4-2	KUTTO4-3	KUTTO4-4	KUTTO4-5	KUTTO4-6	KUTTO4-7	KUTTO4-8	KUTTO4-9	KUTTO4-10
F1	1.73E-06 ▽	1.73E-06 ▽	1.73E-06 ▽	1.73E-06 ▽	1.73E-06 ▽	1.73E-06 ▽	1.73E-06 ▽	1.73E-06 ▽	1.73E-06 ▽	1.73E-06 ▽
F3	1.73E-06 ▽	1.73E-06 ▽	1.73E-06 ▽	1.73E-06 ▽	1.73E-06 ▽	1.73E-06 ▽	1.73E-06 ▽	1.73E-06 ▽	1.73E-06 ▽	1.73E-06 ▽
F4	1.75E-02 △	1.11E-02 △	7.19E-01 ≈	1.11E-02 △	2.06E-01 ≈	9.26E-01 ≈	2.70E-02 △	2.70E-02 △	2.05E-04 △	1.66E-02 △
F5	1.73E-06 ▽	1.73E-06 ▽	6.32E-05 ▽	1.73E-06 ▽	1.73E-06 ▽	1.73E-06 ▽	1.73E-06 ▽	1.73E-06 ▽	1.73E-06 ▽	1.73E-06 ▽
F6	1.73E-06 ▽	1.73E-06 ▽	1.24E-05 ▽	1.73E-06 ▽	1.73E-06 ▽	1.73E-06 ▽	1.73E-06 ▽	1.92E-06 ▽	1.73E-06 ▽	1.73E-06 ▽
F7	2.60E-05 ▽	1.73E-06 ▽	2.13E-06 ▽	3.52E-06 ▽	7.69E-06 ▽	1.73E-06 ▽	1.73E-06 ▽	1.73E-06 ▽	5.75E-06 ▽	1.73E-06 ▽
F8	1.73E-06 ▽	1.73E-06 ▽	6.34E-06 ▽	1.73E-06 ▽	1.73E-06 ▽	1.73E-06 ▽	1.73E-06 ▽	1.73E-06 ▽	1.73E-06 ▽	1.73E-06 ▽
F9	1.73E-06 ▽	1.73E-06 ▽	4.45E-05 ▽	1.73E-06 ▽	1.73E-06 ▽	1.73E-06 ▽	1.73E-06 ▽	1.73E-06 ▽	1.73E-06 ▽	1.73E-06 ▽
F10	5.29E-04 ▽	7.51E-05 ▽	6.42E-03 ▽	2.37E-05 ▽	2.85E-02 ▽	4.07E-05 ▽	2.16E-05 ▽	4.29E-06 ▽	3.52E-06 ▽	2.37E-05 ▽
F11	3.18E-06 ▽	3.18E-06 ▽	2.05E-04 ▽	3.52E-06 ▽	1.02E-05 ▽	1.92E-06 ▽	2.13E-06 ▽	4.29E-06 ▽	1.24E-05 ▽	1.73E-06 ▽
F12	5.98E-02 ≈	8.73E-03 △	8.73E-03 △	3.38E-03 △	3.71E-01 ≈	7.19E-02 ≈	3.87E-02 △	6.16E-04 △	2.18E-02 △	6.56E-02 ≈
F13	1.73E-06 ▽	1.73E-06 ▽	1.73E-06 ▽	1.73E-06 ▽	1.73E-06 ▽	1.73E-06 ▽	1.73E-06 ▽	1.92E-06 ▽	1.73E-06 ▽	1.73E-06 ▽
F14	3.41E-05 ▽	3.32E-04 ▽	6.14E-01 ≈	3.88E-06 ▽	3.59E-04 ▽	3.32E-04 ▽	9.27E-03 ▽	3.52E-06 ▽	1.32E-02 ▽	2.83E-04 ▽
F15	1.73E-06 ▽	1.92E-06 ▽	8.22E-02 ≈	1.73E-06 ▽	1.92E-06 ▽	1.92E-06 ▽	1.73E-06 ▽	2.60E-06 ▽	1.73E-06 ▽	1.73E-06 ▽
F16	5.67E-03 ▽	1.15E-04 ▽	9.59E-01 ≈	2.05E-04 ▽	2.83E-04 ▽	8.19E-05 ▽	1.97E-05 ▽	9.32E-06 ▽	1.74E-04 ▽	1.97E-05 ▽
F17	3.49E-01 ≈	2.45E-01 ≈	1.48E-02 △	6.04E-03 ▽	4.39E-03 △	2.80E-01 ≈	4.95E-02 △	6.42E-03 ▽	6.29E-01 ≈	1.11E-02 ▽
F18	6.32E-05 ▽	4.05E-01 ≈	4.28E-01 ≈	4.68E-03 ▽	3.85E-03 ▽	9.27E-03 ▽	7.27E-03 ▽	2.85E-02 ▽	1.04E-02 ▽	1.74E-04 ▽
F19	1.85E-02 △	2.30E-02 △	5.31E-05 △	6.00E-01 ≈	3.16E-03 △	3.71E-01 ≈	1.29E-03 △	6.58E-01 ≈	3.68E-02 △	1.41E-01 ≈
F20	3.06E-04 ▽	1.64E-05 ▽	3.71E-01 ≈	2.37E-05 ▽	8.94E-04 ▽	6.34E-06 ▽	1.59E-03 ▽	8.47E-06 ▽	4.20E-04 ▽	2.88E-06 ▽
F21	4.41E-01 ≈	4.05E-01 ≈	9.92E-01 ≈	4.07E-02 ▽	2.89E-01 ≈	4.17E-01 ≈	8.29E-01 ≈	1.11E-01 ≈	4.91E-01 ≈	2.62E-01 ≈
F22	2.41E-04 ▽	1.25E-04 ▽	6.29E-01 ≈	1.36E-04 ▽	1.40E-02 ▽	8.19E-05 ▽	1.04E-02 ▽	7.51E-05 ▽	1.20E-03 ▽	1.97E-05 ▽
F23	1.73E-06 ▽	1.73E-06 ▽	3.18E-06 ▽	1.73E-06 ▽	1.73E-06 ▽	2.35E-06 ▽	3.18E-06 ▽	1.92E-06 ▽	1.92E-06 ▽	1.92E-06 ▽
F24	1.47E-01 ≈	1.59E-01 ≈	7.66E-01 ≈	1.59E-01 ≈	2.37E-01 ≈	1.41E-01 ≈	8.59E-02 ≈	8.97E-02 ≈	1.36E-01 ≈	6.27E-02 ≈

Tablo 13 (devamı)

CEC'17	KUTTO4-1	KUTTO4-2	KUTTO4-3	KUTTO4-4	KUTTO4-5	KUTTO4-6	KUTTO4-7	KUTTO4-8	KUTTO4-9	KUTTO4-10
F25	3.82E-01	1.17E-02	3.00E-02	5.72E-01	3.18E-01	3.59E-04	2.18E-02	4.95E-02	1.40E-02	9.10E-01
	≈	△	▽	≈	≈	△	△	△	△	≈
F26	1.29E-03	1.60E-04	5.79E-05	1.48E-03	6.32E-05	1.48E-03	2.43E-02	9.71E-05	1.06E-04	5.67E-03
	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△
F27	4.07E-02	6.04E-03	8.22E-02	6.27E-02	3.71E-01	2.85E-02	8.22E-03	6.32E-05	3.16E-02	2.07E-02
	▽	▽	≈	≈	≈	▽	▽	▽	▽	▽
F28	7.97E-01	2.54E-01	4.95E-02	4.17E-01	1.36E-01	6.14E-01	5.04E-01	4.65E-01	7.04E-01	3.29E-01
	≈	≈	▽	≈	≈	≈	≈	≈	≈	≈
F29	4.90E-04	2.41E-04	1.59E-01	4.86E-05	8.22E-02	2.07E-02	2.22E-04	1.24E-05	2.29E-01	5.79E-05
	▽	▽	≈	▽	≈	▽	▽	▽	≈	▽
F30	3.33E-02	3.49E-01	4.73E-06	4.72E-02	5.71E-02	1.78E-01	3.00E-02	2.62E-01	5.30E-01	2.37E-01
	△	≈	△	△	≈	≈	△	≈	≈	≈

5.4. Gerçek Dünya Mühendislik Tasarım Problemleri

Bu bölümde, uygulanan her bir yöntemin arama performansını değerlendirmek amacıyla dört gerçek dünya mühendislik tasarım problemi kullanılmıştır. Bu problemler arasında konsol kiriş tasarımı sorunu, germe / sıkıştırma yay tasarımı sorunu, basınçlı kap sorunu ve üç çubuklu kafes tasarımı sorunu sunulmuştur. Bu problemler için maksimum yinleme sayısı 1000 olarak belirlenmiş olup popülasyon büyüklüğü 60 olarak düzenlenmiştir. Algoritma parametreleri CEC'17'de kullanılan değerlere karşılık gelmektedir. Analiz edilen algoritmaların yakınsama davranışını göstermek ve karşılaştırmak için, her bir problem için elde edilen optimal uygunluk değerleri, genellikle yakınsama eğrileri olarak adlandırılan grafiklerle gösterilmiştir. Her algoritmanın deneyleri bağımsız olarak 30 kez gerçekleştirilmiştir. Optimal, ortalama, minimum ve maksimum değerler ile standart sapma karşılaştırmalı olarak analiz edilmiş ve algoritmalar arasında en iyi çözüm, ayırt ediciliği vurgulamak için kalın karakterlerle yazılmıştır.

Tablo 14 Gerçek dünya mühendislik tasarım problemlerinin detayları

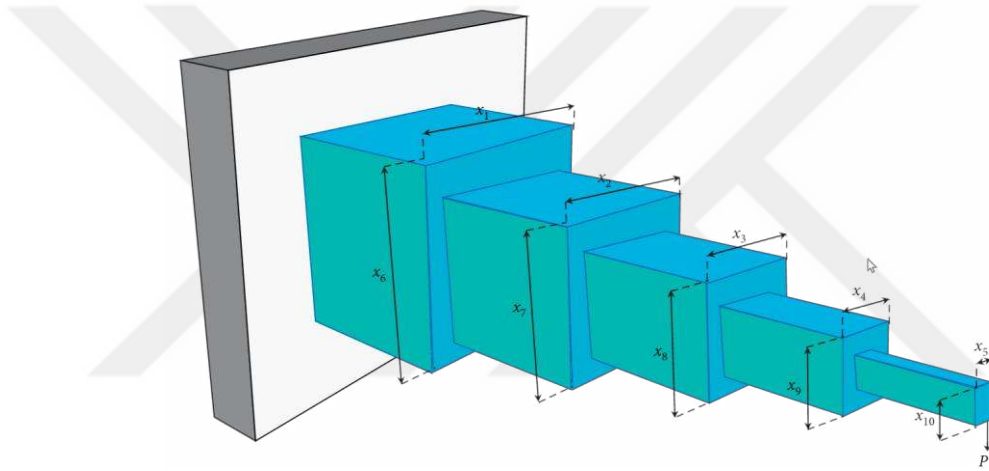
Mühendislik Problemi	D	g	h	fmin
Konsol kiriş tasarımı problemi	5	1	0	1.3399576
Germe / sıkıştırma yay tasarımı problemi	3	3	0	1.2665232788E-02
Üç çubuklu kafes tasarımı problemi	2	3	0	2.6389584338E+02
Basınçlı kap tasarımı problemi	4	4	0	5.8853327736E+03

5.4.1. Konsol kiriş tasarımı problemi

Bu problem, sürekli, ayrık ve karışık değişkenli yapısal tasarım zorluklarının çözümünde optimizasyon yaklaşımlarının etkinliğini değerlendirmek için etkili bir referans noktası görevi görür. Bu problem, kirişin hacmini azaltmayı amaçlamaktadır. Segmentlerin boyutları (x_1, x_2, x_3, x_4, x_5) ve bunların ilgili yükseklikleri ($x_6, x_7, x_8, x_9, x_{10}$) tasarım değişkenleri olarak belirlenmiştir. Şekil 27 bu on değişkenin kiriş üzerindeki yerleşimini göstermektedir. Eğilme gerilimi sınırlamalarının yanı sıra,

tanımlanmış bir en-boy oranı, kiriş segmentlerinin yükseklik-genişlik oranının 20'nin altında kalmasını gerektirir.

Önerilen 10 farklı KÜTTO yöntemi ile standart ÜTTO yönteminin konsol kiriş tasarım problemi üzerindeki performanslarının karşılaştırmalı değerleri KÜTTO1 için Tablo 16'da, KÜTTO2 için Tablo 18'de, KÜTTO3 için Tablo 20'de ve KÜTTO4 için Tablo 22'de sunulmuştur. Bu tablolarda kullanılan yöntemlerin en iyi, ortalama, en kötü ve standart sapma değerleri detaylı bir şekilde verilmiştir. Bu problem üzerinde kaotik haritalama entegre edilmiş yöntemlerin 30 kez çalıştırılması ile elde edilen sonuçlarda bu yöntemlerin en iyi değerine bağlı karar değişkenleri KÜTTO1 için Tablo 17'de, KÜTTO2 için Tablo 19'da, KÜTTO3 için Tablo 21'de ve KÜTTO4 için Tablo 23'te verilmiştir. Tüm yöntemler için yakınsama eğrisi grafikleri Şekil 28, 29, 30, 31'de verilmiştir. Aşağıda, bu problem için kullanılan matematiksel formülasyonlar gösterilmektedir:



Şekil 27 Konsol kiriş tasarımı

$$f(X) = D(x_1x_6l_1 + x_2x_7l_2 + x_3x_8l_3 + x_4x_9l_4 + x_5x_{10}l_5) \quad (16)$$

$$g_1(X) = \frac{6Pl_5}{x_5x_{10}^2} - \sigma_d \leq 0 \quad (17)$$

$$g_2(X) = \frac{6P(l_5+l_4)}{x_4x_9^2} - \sigma_d \leq 0 \quad (18)$$

$$g_3(X) = \frac{6P(l_5+l_4+l_3)}{x_3x_8^2} - \sigma_d \leq 0 \quad (19)$$

$$g_4(X) = \frac{6P(l_5+l_4+l_3+l_2)}{x_2x_7^2} - \sigma_d \leq 0 \quad (20)$$

$$g_5(X) = \frac{6P(l_5+l_4+l_3+l_2+l_1)}{x_1x_6^2} - \sigma_d \leq 0 \quad (21)$$

$$g_6(X) = \frac{Pl^3}{3E} \left(\frac{1}{l_5} + \frac{1}{l_4} + \frac{1}{l_3} + \frac{1}{l_2} + \frac{1}{l_1} \right) - \Delta_{max} \leq 0 \quad (22)$$

$$g_7(X) = \frac{x_{10}}{x_5} - 20 \leq 0 \quad (23)$$

$$g_8(X) = \frac{x_9}{x_4} - 20 \leq 0 \quad (24)$$

$$g_9(X) = \frac{x_8}{x_3} - 20 \leq 0 \quad (25)$$

$$g_{10}(X) = \frac{x_7}{x_2} - 20 \leq 0 \quad (26)$$

$$g_{11}(X) = \frac{x_6}{x_1} - 20 \leq 0 \quad (27)$$

$$P = 50000N, \sigma_d = 14,000N/cm^2, E = 2 \times \frac{10^7 N}{cm^2}, \Delta_{max} = 2.7cm, D = 1.0,$$

Değişken aralığı:

$$x_1 \in \{1,2,3,4,5\},$$

$$x_2, x_3 \in \{2.4,2.6,2.8,3.1\},$$

$$1 \leq x_4, x_5 \leq 5,$$

$$x_6 \in \{30,31,32, \dots, 65\},$$

$$x_7, x_8 \in \{45,50,55,60,65\},$$

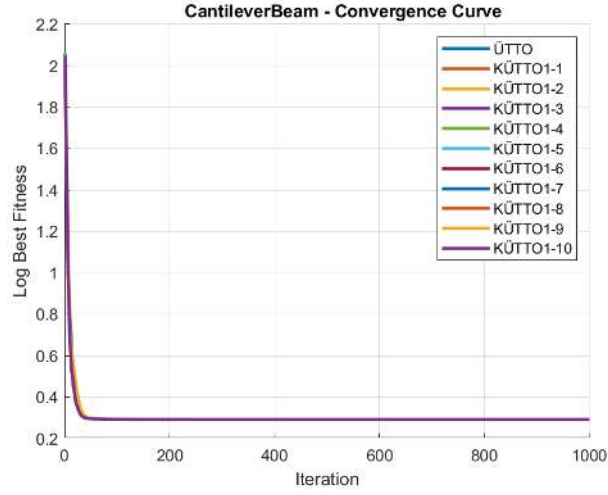
$$30 \leq x_9, x_{10} \leq 65,$$

Tablo 15 KÜTTO1 Konsol kiriş tasarımı uygulanan yöntemlerin istatistiksel sonuçları

Algoritma	En iyi	Ortalama	En kötü	Std
ÜTTO	1,33995955635565	1,33997351040922	1,34003857775256	1,60388E-05
KÜTTO1-1	1,33995743528087	1,33996312806248	1,33997253263749	4,12501E-06
KÜTTO1-2	1,33995757916177	1,33996314229581	1,33997690373300	4,2712E-06
KÜTTO1-3	1,33995725370364	1,33996297178555	1,33997460115925	4,75285E-06
KÜTTO1-4	1,33995686035630	1,33996401836085	1,33998091513805	6,56161E-06
KÜTTO1-5	1,33995708041959	1,33996415158597	1,33997870404603	5,38699E-06
KÜTTO1-6	1,33995692011806	1,33996388192658	1,33997783461658	5,04515E-06
KÜTTO1-7	1,33995721549077	1,33996647547738	1,33999263258055	8,51874E-06
KÜTTO1-8	1,33995782428049	1,33996413106786	1,33997166770571	4,15778E-06
KÜTTO1-9	1,33995703304631	1,33996309602432	1,33998238092508	5,81716E-06
KÜTTO1-10	1,33995738031262	1,33996488205695	1,33998484529622	6,52442E-06

Tablo 16 KÜTTO1 Konsol kiriş tasarımı en iyi optimum çözümlerin karşılaştırılması

Algoritma	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	f_{min}
ÜTTO	6,02223606	5,28803007	4,4939443	3,51128592	2,15848871	1,33995956
KÜTTO1-1	6,01543525	5,31167439	4,49389198	3,50362119	2,14910009	1,33995744
KÜTTO1-2	6,02263706	5,30163263	4,4969185	3,50155842	2,15095882	1,33995758
KÜTTO1-3	6,00357408	5,31057108	4,50206949	3,49902011	2,15858371	1,33995725
KÜTTO1-4	6,00994797	5,31126393	4,48773865	3,49923913	2,16568507	1,33995686
KÜTTO1-5	6,02206126	5,303312	4,50198808	3,49476847	2,15161133	1,33995708
KÜTTO1-6	6,02464927	5,30620514	4,4936413	3,50156777	2,14765019	1,33995692
KÜTTO1-7	6,00447798	5,30835855	4,48976731	3,51681655	2,15443052	1,33995722
KÜTTO1-8	6,01478204	5,31819535	4,48631074	3,50576435	2,14869809	1,33995782
KÜTTO1-9	6,01760057	5,3093526	4,49194223	3,50206689	2,15272491	1,33995703
KÜTTO1-10	6,00761708	5,3181812	4,49938491	3,49718791	2,15137016	1,33995738



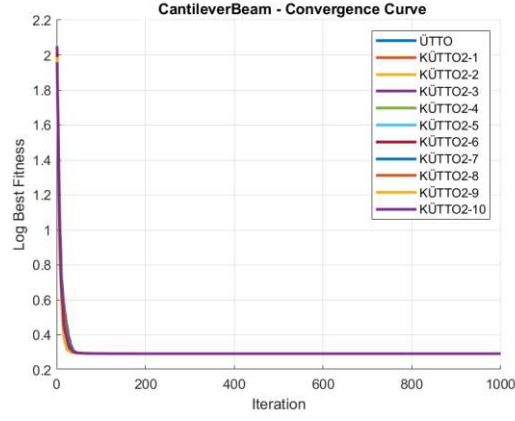
Şekil 28 KÜTTO1 Konsol kiriş tasarımı yakınsama eğrisi grafiği

Tablo 17 KÜTTO2 Konsol kiriş tasarımı uygulanan yöntemlerin istatistiksel sonuçları

Algoritma	En iyi	Ortalama	En kötü	Std
ÜTTO	1,339956780101	1,339963500544	1,339975787187	4,82914E-06
KÜTTO2-1	1,339957200862	1,339963013533	1,339976574636	4,9026E-06
KÜTTO2-2	1,339957181717	1,339963860052	1,339978351717	5,57037E-06
KÜTTO2-3	1,339956816192	1,339962343975	1,339977518353	4,85046E-06
KÜTTO2-4	1,339957034929	1,339963069452	1,339973626686	4,08068E-06
KÜTTO2-5	1,339957326548	1,339962865935	1,339978098449	4,97299E-06
KÜTTO2-6	1,339957040701	1,339963937127	1,339975939820	4,86096E-06
KÜTTO2-7	1,339957644913	1,339965318362	1,339990248284	7,21285E-06
KÜTTO2-8	1,339957836748	1,339966043458	1,340045693833	1,61313E-05
KÜTTO2-9	1,339957284423	1,339961778606	1,339969063344	3,21189E-06
KÜTTO2-10	1,339957847738	1,339963440495	1,339975341142	4,76642E-06

Tablo 18 KÜTTO2 Konsol kiriş tasarımı en iyi optimum çözümlerin karşılaştırılması

Algorithm	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	f_{min}
ÜTTO	5,99979131	5,32299743	4,49601002	3,50015648	2,15491935	1,33995678
KÜTTO2-1	6,00951252	5,31131863	4,49857511	3,49914573	2,15516278	1,3399572
KÜTTO2-2	6,01795331	5,29911474	4,49452513	3,51401715	2,14820835	1,33995718
KÜTTO2-3	6,01280319	5,31424342	4,49399606	3,50244447	2,15019511	1,33995682
KÜTTO2-4	5,99915263	5,31583621	4,50189043	3,50763803	2,14937396	1,33995703
KÜTTO2-5	6,02517962	5,30408986	4,49302809	3,49901254	2,1523992	1,33995733
KÜTTO2-6	6,00590289	5,30204306	4,49813291	3,5098719	2,1578376	1,33995704
KÜTTO2-7	5,99508562	5,30800492	4,49821979	3,50910463	2,16354081	1,33995764
KÜTTO2-8	6,02758183	5,31108229	4,48357701	3,49770969	2,15383313	1,33995784
KÜTTO2-9	6,01218275	5,31048575	4,50796205	3,49831893	2,14486658	1,33995728
KÜTTO2-10	6,00731147	5,31092873	4,49889318	3,50803237	2,14857413	1,33995785



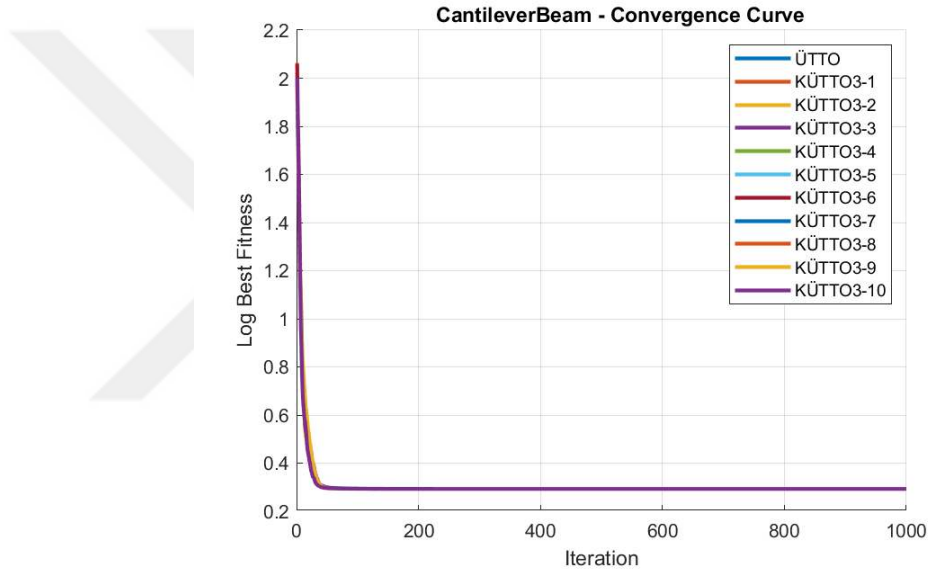
Şekil 29 KÜTTO2 Konsol kiriş tasarımı yakınsama eğrisi grafiği

Tablo 19 KÜTTO3 Konsol kiriş tasarımı en iyi optimum çözümlerin karşılaştırılması

Algorithm	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	f_{min}
ÜTTO	6,00647909	5,30304371	4,49320133	3,5061164	2,16503136	1,33995917
KÜTTO3-1	6,01052534	5,30724787	4,48684835	3,51703962	2,15220163	1,33995786
KÜTTO3-2	6,01722664	5,30710437	4,49307257	3,50071839	2,15555249	1,33995729
KÜTTO3-3	6,0101468	5,3057384	4,50645861	3,49910259	2,15229894	1,33995665
KÜTTO3-4	6,00774156	5,32460249	4,48920635	3,49857079	2,15367062	1,33995703
KÜTTO3-5	6,00968245	5,30528859	4,49979301	3,49678369	2,16224801	1,33995758
KÜTTO3-6	6,00523299	5,31041944	4,49651948	3,50433859	2,15724165	1,33995693
KÜTTO3-7	6,00816602	5,3006459	4,49453288	3,51364179	2,15682348	1,33995696
KÜTTO3-8	6,01573769	5,3146313	4,4877904	3,49977886	2,15577391	1,33995712
KÜTTO3-9	6,0164569	5,30134208	4,4894981	3,50888098	2,15757365	1,33995739
KÜTTO3-10	6,02607443	5,31609235	4,48854906	3,49575644	2,14735221	1,33995725

Tablo 20 KÜTTO3 Konsol kiriş tasarımı uygulanan yöntemlerin istatistiksel sonuçları

Algoritma	En iyi	Ortalama	En kötü	Std
ÜTTO	1,33995916558448	1,33997391969684	1,34008113313606	2,23673E-05
KÜTTO3-1	1,33995786011732	1,33996340179542	1,33997184355380	4,12353E-06
KÜTTO3-2	1,33995728602900	1,33996471021488	1,33999707245623	7,8414E-06
KÜTTO3-3	1,33995665196861	1,33996170630716	1,33997615970715	4,04123E-06
KÜTTO3-4	1,33995702629940	1,33996206690407	1,33996983531363	3,38694E-06
KÜTTO3-5	1,33995757912062	1,33996401761765	1,33998169266410	6,30344E-06
KÜTTO3-6	1,33995693415531	1,3399633359722	1,33997445953134	4,09364E-06
KÜTTO3-7	1,33995695866127	1,33996624209879	1,33999102660456	8,54341E-06
KÜTTO3-8	1,33995712249348	1,33996682348731	1,33999812209478	8,64908E-06
KÜTTO3-9	1,33995739074324	1,33996167284663	1,33997279156652	3,21742E-06
KÜTTO3-10	1,33995724745132	1,33996473010368	1,33999582097700	7,82855E-06



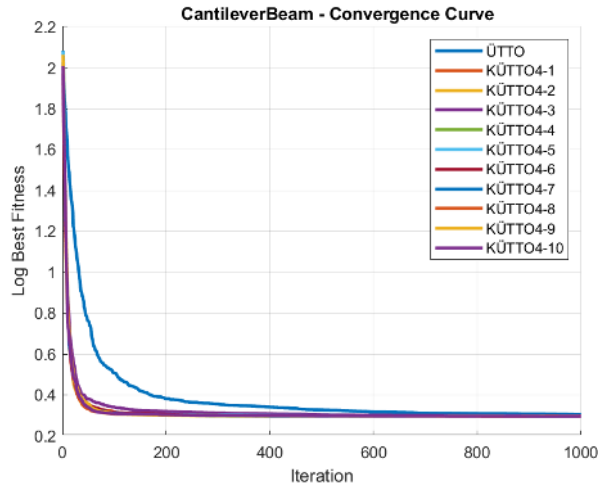
Şekil 30 KÜTTO3 Konsol kiriş tasarımı yakınsama eğrisi grafiği

Tablo 21 KÜTTO4 Konsol kiriş tasarımı uygulanan yöntemlerin istatistiksel sonuçları

Algoritma	En iyi	Ortalama	En kötü	Std
ÜTTO	1,34462764738134	1,35613405560929	1,36726932865917	0,006139769
KÜTTO4-1	1,34008225248670	1,34278366620971	1,34755229792296	0,00216457
KÜTTO4-2	1,34006559017289	1,34260836750442	1,34866516088925	0,002244292
KÜTTO4-3	1,34116824857785	1,34673338340919	1,35695143150412	0,003497028
KÜTTO4-4	1,34030514188988	1,34265312018714	1,34868373543041	0,002220511
KÜTTO4-5	1,33996143794870	1,34401737181468	1,35287106993851	0,003162895
KÜTTO4-6	1,34000625185221	1,34256752544007	1,34681437673300	0,002008594
KÜTTO4-7	1,34002071439045	1,34278503356448	1,35044654317833	0,00293544
KÜTTO4-8	1,34000232671202	1,34296892127618	1,34979582736820	0,002339177
KÜTTO4-9	1,33996625455695	1,34395783375747	1,35181173155001	0,003008055
KÜTTO4-10	1,34009383658176	1,34317119576562	1,35229125656268	0,003359256

Tablo 22 KÜTTO4 Konsol kiriş tasarımı en iyi optimum çözümlerin karşılaştırılması

Algoritma	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	f_{min}
ÜTTO	6,01393802	4,9518695	4,84326764	3,70463556	2,13754117	1,34462765
KÜTTO4-1	5,79277173	5,47560232	4,38532082	3,67585836	2,19480938	1,34008225
KÜTTO4-2	6,22473848	5,43088388	4,41144155	3,34865778	2,09750357	1,34006559
KÜTTO4-3	5,96465824	5,33245686	4,46980735	3,46312368	2,26303477	1,34116825
KÜTTO4-4	6,07545931	5,17551621	4,59352776	3,53045453	2,11307857	1,34030514
KÜTTO4-5	6,02652907	5,30528847	4,49454432	3,50114422	2,14623491	1,33996144
KÜTTO4-6	6,16628533	5,35045845	4,46270629	3,35082295	2,16579208	1,34000625
KÜTTO4-7	6,62804223	5,1164765	4,19449547	3,56069712	2,1420602	1,34002071
KÜTTO4-8	5,9983861	5,33673753	4,3590506	3,6240008	2,1729189	1,34000233
KÜTTO4-9	6,15178404	5,29080749	4,45228779	3,28037736	2,3757278	1,33996625
KÜTTO4-10	6,19544388	5,22390051	4,54302883	3,40291768	2,12877393	1,34009384



Şekil 31 KÜTTO4 Konsol kiriş tasarımı yakınsama eğrisi grafiği

Tablo 23 Kaotik varyasyonlar üzerinde referans f_{min} 'e en yakın en iyi değerleri

Kaotik varyasyon	En iyi
KÜTTO1-4	1,33995686035630
ÜTTO	1,33995678010100
KÜTTO3-3	1,33995665196861
KÜTTO4-5	1,33996143794870

Tablo 23'te de görüldüğü üzere ÜTTO yönteminde her bir rastgele ağırlıklandırma noktasına uygulanmış olan 10 farklı kaotik haritanın en iyi değerleri arasından konsol kiriş tasarım probleminin optimal amaç değerine en yakın olan değerler raporlanmıştır. Bu değerler arasından da kalın karakterlerle belirtildiği üzere KÜTTO3-3 (Gauss) varyantı tarafından elde edilen sonuç optimal değere en yakın olanıdır. Bu değer ilgili versiyonun, küresel optimum değerine diğerlerine göre daha yüksek oranda yaklaşabildiğini göstermektedir.

Konsol kiriş tasarım problemi literatürde bir çok araştırmacı tarafından farklı meta-sezgisel optimizasyon algoritmaları ile çözülmüştür. Klasik ÜTTO, önerilen

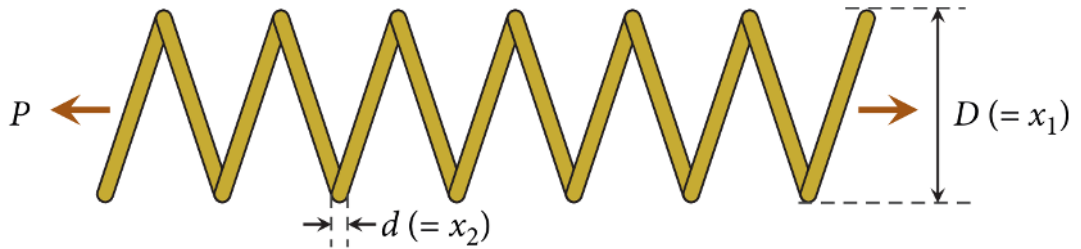
KÜTTO1, KÜTTO2, KÜTTO3, KÜTTO4 yöntemleri, denge Optimizasyon Algoritması (EO)(Faramarzi et al., 2020), Aritmetik Optimizasyon Algoritması (AOA)(Abualigah et al., 2021), Gri Kurt Optimizasyon Algoritması (GWO)(Mirjalili et al., 2014), Martı Optimizasyon Algoritması(SOA) (Dhiman & Kumar, 2019) , Su Tavuğu Optimizasyon Algoritması(COOT) (Naruei & Keynia, 2021), Balçık Ruh Hali Algoritması (SOA) (Altay, 2022), Harris Şahinleri Optimizasyon Algoritması (HHO) (Heidari et al., 2019) yöntemleri literatürde yer almaktadır. Konsol giriş problemi için önerilen yöntemler ve diğer araştırmacılar tarafından önerilen yöntemler ile elde edilen en iyi maliyet ve ilgili karar değişkenleri Tablo 15'te sunulmuştur. Elde edilen sonuçlar Tablo 24'te görüldüğü üzere önerilen KÜTTO3-3 yönteminin klasik ÜTTO ve diğer karşılaştırılan yöntemlere göre daha iyi bir sonuç verirken aynı zamanda Tablo 14'te verilen konsol giriş tasarım problemi referans maliyet değeri (f_{min}) 1.3399576'ya en yakın sonucu verdiği görülmüştür.

Tablo 24 Konsol giriş tasarım probleminin karşılaştırılması

Algoritma	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	f_{min}
EO	6,009289686	5,31362623	4,495212338	3,502169327	2,153385515	1,339957787
HHO	6,072162327	5,412647819	4,49417035	3,423292247	2,084505887	1,340774991
AOA	5,356286396	6,48053284	4,297025888	4,562178276	2,004146109	1,416490577
GWO	6,021199168	5,308142494	4,490878061	3,500059078	2,153535662	1,339966023
SOA	4,999434962	5,003299123	4,999791919	5,000239438	5,006584696	1,560583449
COOT	6,008751259	5,322951972	4,506063177	3,475725155	2,160761628	1,339993404
SMA	6,007546137	5,307390778	4,507549834	3,503500314	2,14779716	1,339965208
ÜTTO	5,99979131	5,32299743	4,49601002	3,50015648	2,15491935	1,339956780
KÜTTO4-5	6,02652907	5,30528847	4,49454432	3,50114422	2,14623491	1,339961440
KÜTTO3-3	6,0101468	5,3057384	4,50645861	3,49910259	2,15229894	1,339956650

5.4.2. Germe /Sıkıştırma Yayı Tasarım Problemi

Germe / sıkıştırma yayının tasarım zorluğu, Şekil 32'de görüldüğü gibi yayın ağırlığını en aza indirmek amacıyla 'de ayrıntılı olarak açıklanmıştır (J. Arora, 2012). Bu sorun, minimum sapma, kesme gerilimi, dalgalanma frekansı, dış çap sınırları ve tasarım değişkenleri ile ilgili kısıtlamalar tarafından belirlenir. Tasarım faktörleri arasında ortalama bobin çapı $D (= x_1)$, tel çapı $d (= x_2)$ ve aktif bobin sayısı $N (= x_3)$ bulunur.



Şekil 32 Germe / Sıkıştırma Yayısı Tasarımı

Önerilen 10 KÜTTO yöntemi ile standart ÜTTO yönteminin germe sıkıştırma yayı tasarım problemi üzerindeki performanslarının karşılaştırmalı değerleri KÜTTO1

için Tablo 26’da, KÜTTO2 Tablo 28’de, KÜTTO3 için Tablo 30’da ve KÜTTO4 için Tablo 32’de sunulmuştur. Kullanılan yöntemlerin en iyi, ortalama, en kötü ve standart sapma değerleri bu tablolarda mevcuttur. Bu probleme ait karar değişkenleri KÜTTO1 için Tablo 27’de, KÜTTO2 için Tablo 29’da, KÜTTO3 için Tablo 31’de ve KÜTTO4 için Tablo 33’te verilmiştir. Tüm yöntemler için yakınsama eğrisi grafikleri Şekil 33, 34, 35, 36’da verilmiştir. Aşağıda, bu problem için kullanılan matematiksel formülasyon gösterilmektedir:

$$f(X) = (x_3 + 2)x_2x_1^2 \quad (28)$$

$$g_1(X) = 1 - \frac{x_2^3x_3}{71785x_1^4} \leq 0 \quad (29)$$

$$g_2(X) = \frac{4x_2^2 - x_1x_2}{12566(x_2x_1^3 - x_1^4)} + \frac{1}{5108x_1^2} - 1 \leq 0 \quad (30)$$

$$g_3(X) = 1 - \frac{140.45x_1}{x_2^2x_3} \leq 0 \quad (31)$$

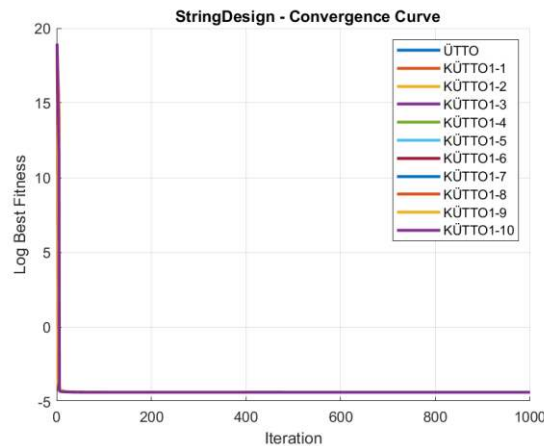
$$g_4(X) = \frac{x_1 + x_2}{1.5} \leq 0 \quad (32)$$

Değişken aralığı:

$$0.05 \leq x_1 \leq 2, \quad 0.25 \leq x_2 \leq 1.3, \quad 2 \leq x_3 \leq 15$$

Tablo 25 KÜTTO1 Germe / sıkıştırma yay tasarımı problemi için istatistiksel sonuçlar

Algoritma	En iyi	Ortalama	En kötü	Std
ÜTTO	0,01266547645591	0,01269833055973	0,01280462069718	2,83448E-05
KÜTTO1-1	0,01266525100182	0,01269037509921	0,01276682475236	2,70301E-05
KÜTTO1-2	0,01266536300211	0,01269099915460	0,01283264867393	3,39917E-05
KÜTTO1-3	0,01266535659484	0,01270094794648	0,01277349782327	3,3336E-05
KÜTTO1-4	0,01266528586764	0,01269333946142	0,01277359041408	2,29046E-05
KÜTTO1-5	0,01266524172672	0,01268643904663	0,01278881320558	2,87561E-05
KÜTTO1-6	0,01266523843119	0,01269279079686	0,01273964246359	2,26959E-05
KÜTTO1-7	0,01266528862430	0,01270055150543	0,01282891329348	4,10612E-05
KÜTTO1-8	0,01266523436317	0,01268466229843	0,01272336734970	1,80452E-05
KÜTTO1-9	0,01266529997482	0,01270053192661	0,01281518070298	3,95901E-05
KÜTTO1-10	0,01266538322291	0,01268890654904	0,01271905371018	2,21774E-05



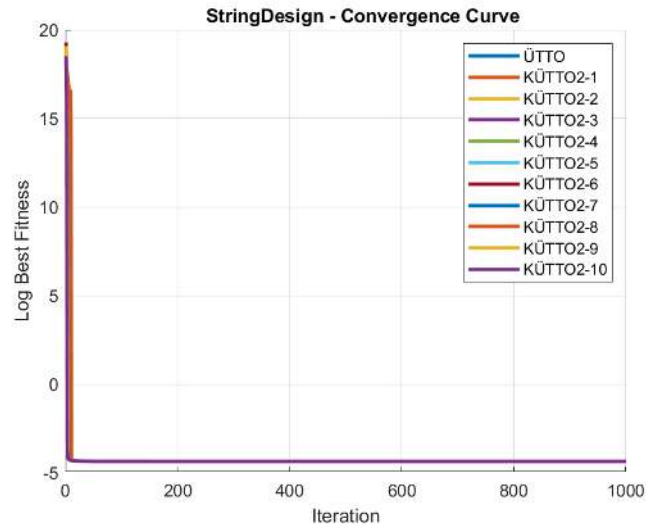
Şekil 33 KÜTTO1 Germe / sıkıştırma yayı yakınsama eğrisi grafiği

Tablo 26 KÜTTO1 Germe / sıkıştırma yayı en iyi optimum çözümlerin karşılaştırılması

Algoritma	x_1	x_2	x_3	f_{min}
ÜTTO	0,05	0,317425416	14,0277697	0,012665476
KÜTTO1-1	0,051723612	0,357549514	11,2403675	0,012665251
KÜTTO1-2	0,052513233	0,376801857	10,2068337	0,012665363
KÜTTO1-3	0,051356238	0,348681494	11,7793105	0,012665357
KÜTTO1-4	0,052786043	0,383592399	9,88611734	0,012665286
KÜTTO1-5	0,051460765	0,351250324	11,6168516	0,012665242
KÜTTO1-6	0,053117787	0,392072526	9,48187786	0,012665238
KÜTTO1-7	0,050450817	0,32765265	13,2210446	0,012665289
KÜTTO1-8	0,051178781	0,344437505	12,0772782	0,012665234
KÜTTO1-9	0,054099717	0,417213649	8,49485027	0,012665300
KÜTTO1-10	0,05225238	0,370421595	10,5285631	0,012665383

Tablo 27 KÜTTO2 Germe / sıkıştırma yay tasarımı problemi için istatistiksel sonuçlar

Algoritma	En iyi	Ortalama	En kötü	Std
ÜTTO	0,01266523599590	0,01269378320053	0,01278576584053	2,66204E-05
KÜTTO2-1	0,01266524166655	0,01268392053143	0,01272648794583	2,00503E-05
KÜTTO2-2	0,01266541619940	0,01269264427476	0,01278563547604	2,7531E-05
KÜTTO2-3	0,01266523646207	0,01268861369149	0,01271905371018	2,1879E-05
KÜTTO2-4	0,01266523361210	0,01268129254170	0,01271905371018	1,65639E-05
KÜTTO2-5	0,01266567116033	0,01268920210724	0,01283151506225	3,27322E-05
KÜTTO2-6	0,01266533884000	0,01269306885457	0,01285207898050	3,64414E-05
KÜTTO2-7	0,01266524368398	0,01268735273958	0,01271905371018	2,10446E-05
KÜTTO2-8	0,01266528556322	0,01269424136727	0,01272538512886	2,12193E-05
KÜTTO2-9	0,01266523499654	0,01268196575900	0,01271905250190	1,75732E-05
KÜTTO2-10	0,01266524201428	0,01268186943615	0,01271893663307	1,64139E-05



Şekil 34 KÜTTO2 Germe / sıkıştırma yayı yakınsama eğrisi grafiği

Tablo 28 KÜTTO2 Germe / sıkıştırma yayı en iyi optimum çözümlerin karşılaştırılması

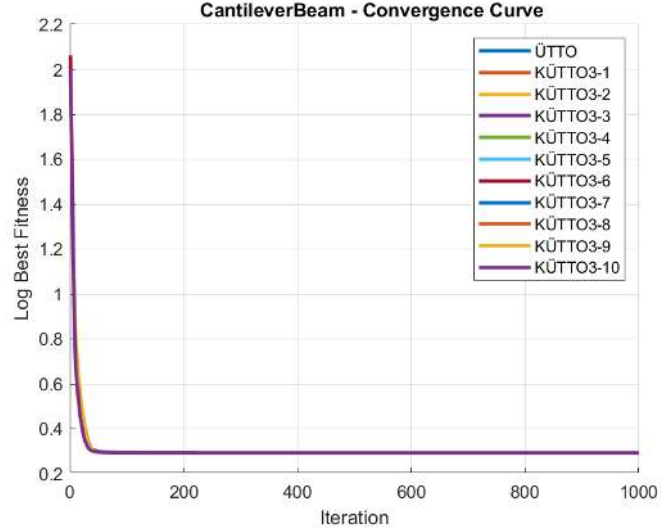
Algoritma	x_1	x_2	x_3	f_{min}
ÜTTO	0,051644241	0,355041949	11,4185773	0,012665236
KÜTTO2-1	0,050133502	0,32043064	13,7830259	0,012665242
KÜTTO2-2	0,050379988	0,326030944	13,3441077	0,012665416
KÜTTO2-3	0,051769181	0,358648272	11,1766757	0,012665236
KÜTTO2-4	0,051269239	0,346698835	11,9018348	0,012665234
KÜTTO2-5	0,050579542	0,330604113	13,0030962	0,012665671
KÜTTO2-6	0,051765365	0,358556187	11,1819916	0,012665339
KÜTTO2-7	0,051290124	0,347195988	11,869833	0,012665244
KÜTTO2-8	0,051635785	0,355437392	11,3644258	0,012665286
KÜTTO2-9	0,051013984	0,340616949	12,3024592	0,012665235
KÜTTO2-10	0,050278281	0,323698258	13,5294122	0,012665242

Tablo 29 KÜTTO3 Germe / sıkıştırma yay tasarımı istatistiksel sonuçlar

Algoritma	En iyi	Ortalama	En kötü	Std
ÜTTO	0,01266529364025	0,01269445375883	0,01286054433646	2,23673E-05
KÜTTO3-1	0,01266536395880	0,01269552591985	0,01274115096534	4,12353E-06
KÜTTO3-2	0,01266559578973	0,01269070482758	0,01278958521973	7,8414E-06
KÜTTO3-3	0,01266527038697	0,01269002594307	0,01274725827220	4,04123E-06
KÜTTO3-4	0,01266523279752	0,01268487458299	0,01271905371015	3,38694E-06
KÜTTO3-5	0,01266546682536	0,01270171279143	0,01280010374784	6,30344E-06
KÜTTO3-6	0,01266621636516	0,01269294548061	0,01276544905914	4,09364E-06
KÜTTO3-7	0,01266579510888	0,01268906536626	0,01274898619043	8,54341E-06
KÜTTO3-8	0,01266572300622	0,01268534846299	0,01272062699821	8,64908E-06
KÜTTO3-9	0,01266531048950	0,01269916929982	0,01277464566406	3,21742E-06
KÜTTO3-10	0,01266527287764	0,01268826255942	0,01271910902153	7,82855E-06

Tablo 30 KÜTTO3 Germe / sıkıştırma yayı en iyi optimum çözümlerin karşılaştırılması

Algoritma	x_1	x_2	x_3	f_{min}
ÜTTO	0,052403291	0,374144699	10,3360625	0,012665294
KÜTTO3-1	0,053377776	0,398498933	9,22174906	0,012665364
KÜTTO3-2	0,052943771	0,387659503	9,68716176	0,012665596
KÜTTO3-3	0,050531782	0,329159735	13,1278911	0,01266527
KÜTTO3-4	0,05	0,317425416	14,0277697	0,012665233
KÜTTO3-5	0,053109731	0,391380737	9,52908459	0,012665467
KÜTTO3-6	0,050152904	0,320867283	13,7486977	0,012666216
KÜTTO3-7	0,052230726	0,369885538	10,5568936	0,012665795
KÜTTO3-8	0,051757697	0,358364397	11,1933548	0,012665723
KÜTTO3-9	0,051896991	0,360712213	11,1089684	0,01266531
KÜTTO3-10	0,050025693	0,317992039	13,981744	0,012665273



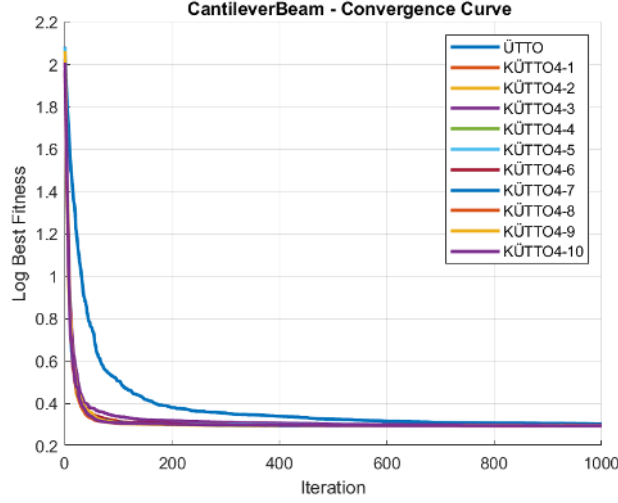
Şekil 35 KÜTTO3 germe / sıkıştırma yayı yakınsama eğrisi grafiği

Tablo 31 KÜTTO4 Germe / sıkıştırma yay tasarımı istatistiksel sonuçlar

Algoritma	En iyi	Ortalama	En kötü	Std
ÜTTO	0,01271948778508	0,01289118596353	0,01303598061477	0,006139769
KÜTTO4-1	0,01266523367742	0,01267209659998	0,01271905371018	0,002164570
KÜTTO4-2	0,01266523278846	0,01267961310471	0,01271905371018	0,002244292
KÜTTO4-3	0,01272709957397	0,01292403185029	0,01338922060341	0,003497028
KÜTTO4-4	0,01266523278952	0,01266540651647	0,01266664744747	0,002220511
KÜTTO4-5	0,01266523295130	0,01267849368527	0,01271905371018	0,003162895
KÜTTO4-6	0,01266523278846	0,01267080450218	0,01271905371018	0,002008594
KÜTTO4-7	0,01266523315628	0,01267587049033	0,01271905371018	0,002935440
KÜTTO4-8	0,01266523279128	0,01267328800597	0,01271905371018	0,002339177
KÜTTO4-9	0,01266523282477	0,01267712421803	0,01271905371018	0,003008055
KÜTTO4-10	0,01266523278980	0,01266710652227	0,01271905371018	0,003359256

Tablo 32 KÜTTO4 Germe / sıkıştırma yayı en iyi optimum çözümlerin karşılaştırılması

Algorithm	x_1	x_2	x_3	f_{min}
ÜTTO	0,0523359631826	0,3692065452479	10,7266476157128	0,0127194877851
KÜTTO4-1	0,0516026748677	0,3546430691543	11,4116418044583	0,0126652336774
KÜTTO4-2	0,0516889657538	0,3567154464404	11,2891002053777	0,0126652327885
KÜTTO4-3	0,0502526387874	0,3164052248868	14,4599610391887	0,0127270995740
KÜTTO4-4	0,0516556242638	0,3559138699690	11,3362502366011	0,0126652327895
KÜTTO4-5	0,0506644372594	0,3325492081186	12,8611221533895	0,0126652329513
KÜTTO4-6	0,0516675274018	0,3561999154595	11,3193889323273	0,0126652327885
KÜTTO4-7	0,0514854198185	0,3518377817228	11,5809268091408	0,0126652331563
KÜTTO4-8	0,0516839081944	0,3565937875108	11,2962363897609	0,0126652327913
KÜTTO4-9	0,0515553375377	0,3535090300412	11,4795987246577	0,0126652328248
KÜTTO4-10	0,0516706643151	0,3562753220810	11,3149505790420	0,0126652327898



Şekil 36 KÜTTO 4 germe / sıkıştırma yayı tasarımı yakınsama eğrisi grafiği

Tablo 33 Kaotik varyasyonlar üzerinde referans f_{min} 'e en yakın en iyi değerleri

Kaotik varyasyon	En iyi
KÜTTO1-8	0,01266523436317
KÜTTO2-4	0,01266523361210
KÜTTO3-4	0,01266523279752
KÜTTO4-6	0,01266523278846

Tablo 33'te görüldüğü üzere ÜTTO yönteminde her bir rastgele ağırlıklandırma noktasına uygulanmış olan 10 çeşit kaotik haritanın en iyi değerleri arasında germe / sıkıştırma yayı probleminin optimal amaç değerine en yakın değerler verilmiştir. Bu değerler arasından da kalın karakterlerle belirtildiği üzere KÜTTO4-6'ya ait en iyi değeri optimal amaç değerine en yakın değerdir. Bu değer ilgili versiyonun, küresel optimum değerine diğerlerine göre daha yüksek oranda yaklaşabildiğini göstermektedir.

Germe / sıkıştırma yayı tasarım problemi literatürde bir çok araştırmacı tarafından farklı meta-sezgisel optimizasyon algoritmaları ile çözülmüştür. Klasik ÜTTO, önerilen KÜTTO1, KÜTTO2, KÜTTO3, KÜTTO4 yöntemleri, EO, AOA, GWO, SOA, COOT, SOA, HHO yöntemleri literatürde yer almaktadır. Germe sıkıştırma yayı problemi için önerilen yöntemler ve diğer araştırmacılar tarafından önerilen yöntemler ile elde edilen en iyi maliyet ve ilgili karar değişkenleri Tablo 25'te sunulmuştur. Elde edilen sonuçlar Tablo 34'te görüldüğü üzere önerilen KÜTTO4-2 ve KÜTTO4-6 yöntemlerinin klasik ÜTTO ve diğer karşılaştırılan yöntemlere göre daha iyi bir sonuç sonuç aynı zamanda Tablo 14'te verilen germe sıkıştırma yayı tasarım problemi referans maliyet değeri (f_{min}) 1.2665232788E-02'ye en yakın sonucu verdiği görülmüştür.

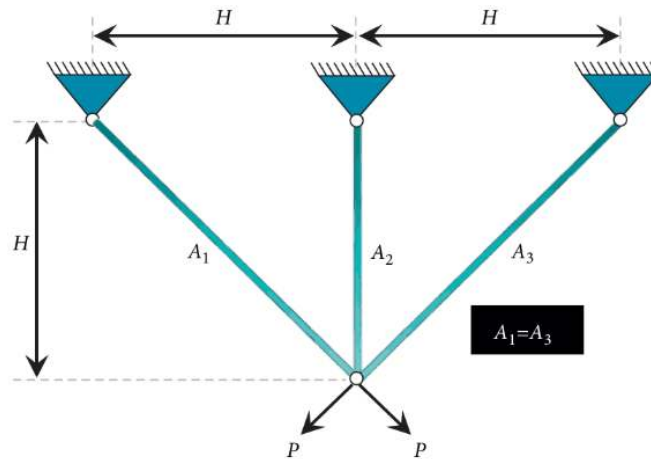
Tablo 34 Germe / sıkıştırma yayı tasarım probleminin karşılaştırılması

Algoritma	x_1	x_2	x_3	f_{min}
EO	0,052005294	0,364373243	10,85386669	0,012667047
HHO	0,052013772	0,364579812	10,84249563	0,012667145
AOA	0,05	0,312114718	14,84271945	0,013142152
GWO	0,051729218	0,357405988	11,26857001	0,012689887
SOA	0,05	0,317362481	14,03820349	0,012724810
SMA	0,051519654	0,352654671	11,53131506	0,012665885
COOT	0,05170472	0,357094576	11,26690843	0,012665238
ÜTTO	0,051644241	0,355041949	11,4185773	0,012665236
KÜTTO4-2	0,051688965	0,356715446	11,28910020	0,012665232
KÜTTO4-6	0,051667527	0,356199915	11,31938893	0,012665232

5.4.3. Üç Çubuklu Kafes Tasarım Problemi

Bu örnekte, Şekil 37'de görülen üç çubuklu düzlemsel kafes sistemi incelenmektedir. Statik yüklemeli 3 çubuklu kafesin hacmi, her bir kafes bileşeni için gerilme (σ) sınırlamalarına uyularak en aza indirilmelidir. Amaç, ideal kesit alanları A_1 ($= x_1$) ve A_2 ($= x_2$) değerlerini belirlemektir.

Önerilen 10 KÜTTO yöntemleri ile standart ÜTTO yönteminin üç çubuklu kafes tasarım problemi üzerindeki performanslarının karşılaştırmalı değerleri KÜTTO1 için Tablo 36'da, KÜTTO2 Tablo 38'de, KÜTTO3 için Tablo 40'da ve KÜTTO4 için Tablo 42'de sunulmuştur. Kullanılan yöntemlerin en iyi, ortalama, en kötü ve standart sapma değerleri bu tabloda mevcuttur. Bu problem üzerinde kaotik haritalama entegre edilmiş yöntemlerin 30 kez çalıştırılması ile elde edilen sonuçlarda bu yöntemlerin en iyi değerine bağlı karar değişkenleri KÜTTO1 için Tablo 37'de, KÜTTO2 için Tablo 39'da, KÜTTO3 için Tablo 41'de ve KÜTTO4 için Tablo 43'te verilmiştir. Tüm yöntemler için yakınsama eğrisi grafikleri Şekil 38, 39, 40, 41'de verilmiştir. Aşağıda, bu problem için kullanılan matematiksel formülasyon gösterilmektedir:



Şekil 37 Üç çubuklu kafes tasarımı

$$f(x) = l(x_2 + 2\sqrt{2x_1}) \quad (33)$$

$$g_1(x) = \frac{x_2}{2x_2x_1 + \sqrt{2x_1^2}}P - \sigma \leq 0 \quad (34)$$

$$g_2(x) = \frac{x_2 + \sqrt{2x_1}}{2x_2x_1 + \sqrt{2x_1^2}}P - \sigma \leq 0 \quad (35)$$

$$g_3(x) = \frac{1}{x_1 + \sqrt{2x_2}}P - \sigma \leq 0 \quad (36)$$

$l = 100, P = 2$, and $\delta = 2$

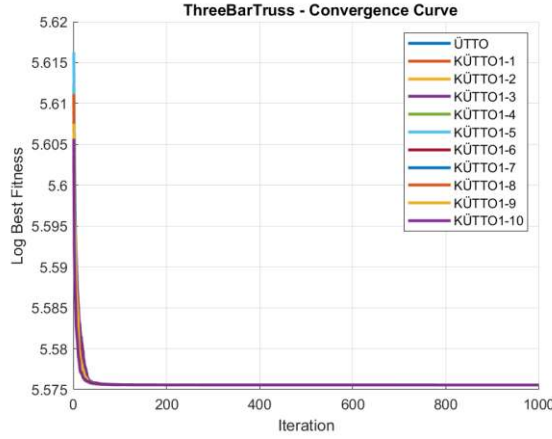
$0 \leq x_1, x_2 \leq 1$

Tablo 35 KÜTTO1 üç çubuklu kafes tasarım istatistiksel sonuçlar

Algoritma	En iyi	Ortalama	En kötü	Std
ÜTTO	263,895844964179	263,895886224733	263,896112762994	5,17192E-05
KÜTTO1-1	263,895843432916	263,895908216176	263,896267452279	9,48622E-05
KÜTTO1-2	263,895845313195	263,895909595768	263,896427176306	0,000112949
KÜTTO1-3	263,895844686706	263,895887790209	263,896073608534	5,39872E-05
KÜTTO1-4	263,895843389506	263,895895098865	263,896088255124	6,70998E-05
KÜTTO1-5	263,895844882306	263,895873935240	263,895938762467	2,59803E-05
KÜTTO1-6	263,895843914295	263,895911025745	263,896364093379	0,000100774
KÜTTO1-7	263,895844357888	263,895922232226	263,896191018290	8,8758E-05
KÜTTO1-8	263,895843812024	263,895919948818	263,896307628021	0,000113391
KÜTTO1-9	263,895843927676	263,895886256807	263,896167103723	6,3514E-05
KÜTTO1-10	263,895844335045	263,895909028393	263,896277711864	9,06242E-05

Tablo 36 KÜTTO1 üç çubuklu kafes tasarımı en iyi optimum çözümlerin karşılaştırılması

Algoritma	x_1	x_2	f_{min}
ÜTTO	0,788872349937	0,407690768677	263,895844964179
KÜTTO1-1	0,788598186528	0,408466034808	263,895843432916
KÜTTO1-2	0,789163359830	0,406869244311	263,895845313195
KÜTTO1-3	0,788474795890	0,408815821196	263,895844686706
KÜTTO1-4	0,788537030446	0,408639070963	263,895843389506
KÜTTO1-5	0,788490237537	0,408771514687	263,895844882306
KÜTTO1-6	0,788610020051	0,408432535452	263,895843914295
KÜTTO1-7	0,788895001510	0,407626770254	263,895844357888
KÜTTO1-8	0,788594950357	0,408475235853	263,895843812024
KÜTTO1-9	0,788821644690	0,407834189141	263,895843927676
KÜTTO1-10	0,788840593075	0,407780999731	263,895844335045



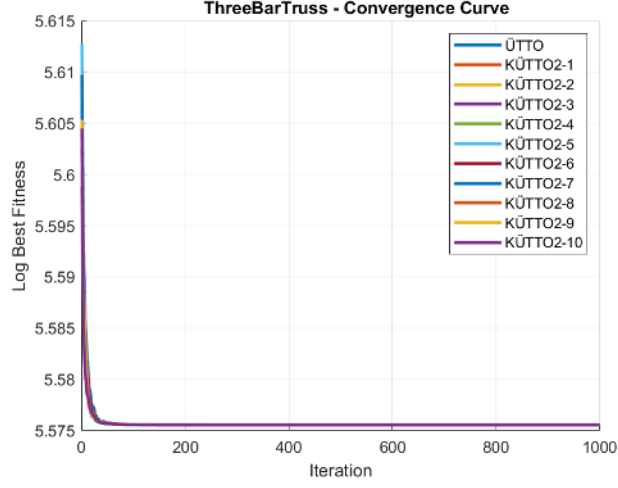
Şekil 38 KÜTTO1 üç çubuklu kafes tasarımı yakınsama eğrisi grafiği

Tablo 37 KÜTTO2 üç çubuklu kafes tasarımı istatistiksel sonuçlar

Algoritma	En iyi	Ortalama	En kötü	Std
ÜTTO	263,895843786419	263,895883896178	263,895972142764	3,79281E-05
KÜTTO2-1	263,895843656563	263,895883082851	263,896059782499	4,70918E-05
KÜTTO2-2	263,895845338769	263,895901072049	263,896148732791	7,16456E-05
KÜTTO2-3	263,895843573285	263,895874820055	263,896021468820	3,81747E-05
KÜTTO2-4	263,895843708694	263,895934970083	263,896345553182	0,000128379
KÜTTO2-5	263,895843405532	263,895911943646	263,896556023246	0,000131061
KÜTTO2-6	263,895845234766	263,895919678274	263,896118431384	7,00367E-05
KÜTTO2-7	263,895844275233	263,895878669246	263,896094495915	4,80998E-05
KÜTTO2-8	263,895843995104	263,895926345242	263,896370966271	0,000110302
KÜTTO2-9	263,895843665149	263,895911015830	263,896387728073	0,000103851
KÜTTO2-10	263,895843666906	263,89588560436	263,896060762802	5,13884E-05

Tablo 38 KÜTTO2 üç çubuklu kafes tasarımı en iyi optimum çözümlerin karşılaştırılması

Algoritma	x_1	x_2	f_{min}
ÜTTO	0,788833465354	0,407800661162	263,895843786419
KÜTTO2-1	0,789055378665	0,407173860911	263,895843656563
KÜTTO2-2	0,788782400110	0,407944982364	263,895845338769
KÜTTO2-3	0,788514715131	0,408702214495	263,895843573285
KÜTTO2-4	0,788911727588	0,407579614712	263,895843708694
KÜTTO2-5	0,788787650935	0,407930956671	263,895843405532
KÜTTO2-6	0,788671145642	0,408259855922	263,895845234766
KÜTTO2-7	0,788768721406	0,407984203847	263,895844275233
KÜTTO2-8	0,789049159905	0,407191527779	263,895843995104
KÜTTO2-9	0,788637768328	0,408354347290	263,895843665149
KÜTTO2-10	0,788691003537	0,408203688756	263,895843666906



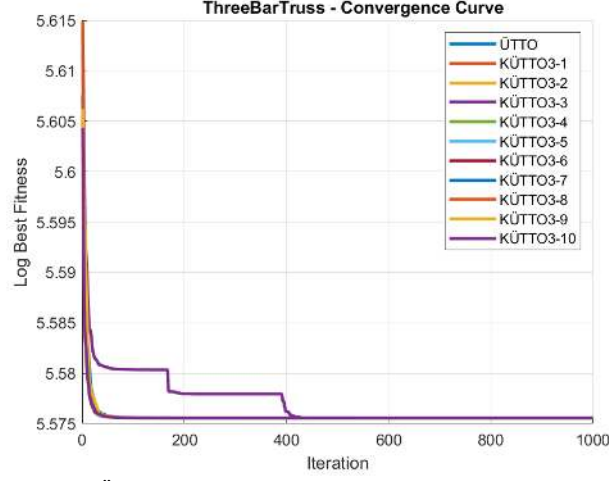
Şekil 39 KÜTTO2 üç çubuklu kafes tasarımı yakınsama eğrisi grafiği

Tablo 39 KÜTTO3 üç çubuklu kafes tasarımı istatistiksel sonuçlar

Algoritma	En iyi	Ortalama	En kötü	Std
ÜTTO	263,895843430701	263,895909967180	263,896334079602	0,000100315
KÜTTO3-1	263,895843830821	263,895896730854	263,896109632693	5,52925E-05
KÜTTO3-2	263,895845624504	263,895908336665	263,896285948568	8,87148E-05
KÜTTO3-3	263,895844161366	263,895895643819	263,896033958518	5,17307E-05
KÜTTO3-4	263,895843469377	263,895894367367	263,896193297353	6,98152E-05
KÜTTO3-5	263,895843500244	263,895881045510	263,896205790965	7,36284E-05
KÜTTO3-6	263,895845263675	263,895929438010	263,896438046159	0,000133323
KÜTTO3-7	263,895849427880	263,895922350722	263,896227590021	8,32845E-05
KÜTTO3-8	263,895844638650	263,895884954450	263,896021691181	4,80121E-05
KÜTTO3-9	263,895845632789	263,895922375763	263,896308590028	9,8793E-05
KÜTTO3-10	263,895843532143	263,895908369888	263,896226965678	9,1366E-05

Tablo 40 KÜTTO3 üç çubuklu kafes tasarımı en iyi optimum çözümlerin karşılaştırılması

Algoritma	x_1	x_2	f_{min}
ÜTTO	0,788678104618	0,408241001966	263,895843430701
KÜTTO3-1	0,788685911503	0,408218322204	263,895843830821
KÜTTO3-2	0,788742746401	0,408057166475	263,895845624504
KÜTTO3-3	0,788803561471	0,407885249130	263,895844161366
KÜTTO3-4	0,788654802091	0,408305942167	263,895843469377
KÜTTO3-5	0,788787496321	0,407930632780	263,895843500244
KÜTTO3-6	0,788552082693	0,408596477229	263,895845263675
KÜTTO3-7	0,788893180144	0,407632772387	263,895849427880
KÜTTO3-8	0,788452235701	0,408879391056	263,895844638650
KÜTTO3-9	0,788602055035	0,408455031474	263,895845632789
KÜTTO3-10	0,789300972356	0,406481299145	263,895843532143



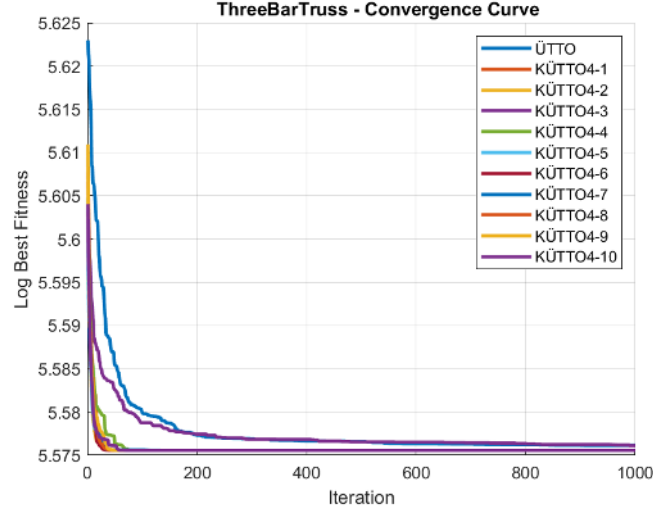
Şekil 40 KÜTTO3 üç çubuklu kafes tasarımı yakınsama eğrisi grafiği

Tablo 41 KÜTTO4 üç çubuklu kafes tasarımı istatistiksel sonuçlar

Algoritma	En iyi	Ortalama	En kötü	Std
ÜTTO	263,905999895666	264,050568037601	264,218447222663	0,088013018
KÜTTO4-1	263,895843376468	263,895843376468	263,895843376468	0
KÜTTO4-2	263,895843376468	263,895843376468	263,895843376468	0
KÜTTO4-3	263,904832024572	264,041324337659	264,336622819648	0,104933535
KÜTTO4-4	263,895843376468	263,895843376468	263,895843376468	0
KÜTTO4-5	263,895843376468	263,895843376468	263,895843376468	0
KÜTTO4-6	263,895843376468	263,895843376468	263,895843376468	0
KÜTTO4-7	263,895843376468	263,895843376468	263,895843376468	0
KÜTTO4-8	263,895843376468	263,895843376468	263,895843376468	0
KÜTTO4-9	263,895843376468	263,895843376468	263,895843376468	0
KÜTTO4-10	263,895843376468	263,895843376468	263,895843376468	0

Tablo 42 KÜTTO4 üç çubuklu kafes tasarımı en iyi optimum çözümlerin karşılaştırılması

Algoritma	x_1	x_2	f_{min}
ÜTTO	0,777413922019	0,441824779863	263,905999895666
KÜTTO4-1	0,788675134225	0,408248291509	263,895843376468
KÜTTO4-2	0,788675133174	0,408248294483	263,895843376468
KÜTTO4-3	0,770846168863	0,461167694037	263,904832024572
KÜTTO4-4	0,788675133775	0,408248292784	263,895843376468
KÜTTO4-5	0,788675135126	0,408248288960	263,895843376468
KÜTTO4-6	0,788675138605	0,408248279122	263,895843376468
KÜTTO4-7	0,788675132645	0,408248295980	263,895843376468
KÜTTO4-8	0,788675137195	0,408248283111	263,895843376468
KÜTTO4-9	0,788675132928	0,408248295180	263,895843376468
KÜTTO4-10	0,788675134105	0,408248291849	263,895843376468



Şekil 41 KÜTTO4 üç çubuklu kafes tasarımı yakınsama eğrisi grafiği

Tablo 43 Kaotik varyasyonlar üzerinde referans f_{min} 'e en yakın en iyi değerleri

Kaotik varyasyon	En iyi
KÜTTO1-4	263,895843389506
KÜTTO2-2	263,895845338769
KÜTTO3- ÜTTO	263,895843430701
KÜTTO4	Kısıt ihlali

Tablo 43'te görüldüğü üzere ÜTTO yönteminde her bir rastgele ağırlıklandırma noktasına uygulanmış olan 10 çeşit kaotik haritanın en iyi değerleri arasında üç çubuklu kafes tasarımı probleminin optimal amaç değerine en yakın değerler verilmiştir. Bu değerler arasından da kalın karakterlerle belirtildiği üzere KÜTTO1-4'e ait en iyi değeri optimal amaç değerine en yakın değerdir. Bu değer ilgili versiyonun, küresel optimum değerine diğerlerine göre daha yüksek oranda yaklaşabildiğini göstermektedir.

Üç çubuklu kafes tasarım problemi literatürde bir çok araştırmacı tarafından farklı meta-sezgisel optimizasyon algoritmaları ile çözülmüştür. Klasik ÜTTO, önerilen KÜTTO1, KÜTTO2, KÜTTO3, KÜTTO4 yöntemleri, EO, AOA, GWO, SOA, COOT, SOA, HHO yöntemleri literatürde yer almaktadır. Üç çubuklu kafes tasarım problemi için önerilen yöntemler ve diğer araştırmacılar tarafından önerilen yöntemler ile elde edilen en iyi maliyet ve ilgili karar değişkenleri Tablo 35'te sunulmuştur. Elde edilen sonuçlar Tablo 44'te görüldüğü üzere önerilen KÜTTO1-4 yönteminin klasik ÜTTO ve diğer karşılaştırılan yöntemlere göre daha iyi bir sonuç aynı zamanda Tablo 14'te verilen germe sıkıştırma yayı tasarım problemi referans maliyet değeri (f_{min}) 2.6389584338E+02'ye en yakın sonucu verdiği görülmüştür.

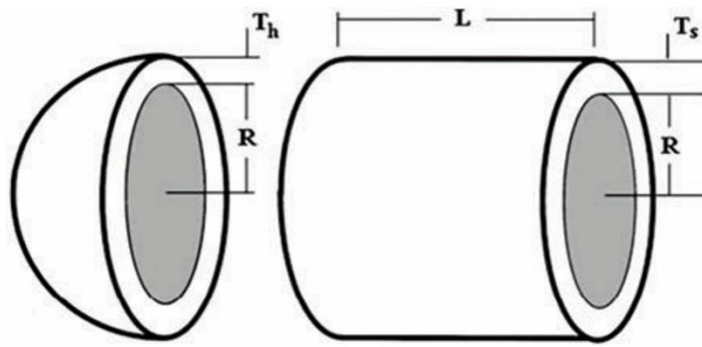
Tablo 44 Üç çubuklu kafes tasarım probleminin karşılaştırılması

Algoritma	x_1	x_2	f_{min}
EO	0,788674018	0,408242743	263.8954081
HHHO	0,787812977	0,410683581	263.8959527
AOA	0,799935949	0,377413758	263.9974295
GWO	0,788350591	0,409157785	263.8954858
SOA	0,790744046	0,402416516	263.8985813
SMA	0,81669173	0,342325367	265.2278409
COOT	0,788672536	0,408246935	263.8954081
KÜTTO3-4	0,788654802	0,408305942	263.8958434
KÜTTO2-5	0,788787650	0,407930956	263.8958434
ÜTTO	0,788678104	0,408241001	263.8958434
KÜTTO1-4	0,788537030	0,408639070	263.8958433

5.4.4. Basınçlı Kap Tasarımı Problemi

Bu problemin ana hedefini kabın üretim sürecinin maliyetlerini optimize etmek oluşturmaktadır. Problem dört kısıtlama içermektedir ve amaç fonksiyonu kabın yüksekliği dışındaki dört değişken temelinde belirlenmiştir - kabuk kalınlığı (X_1), baş kalınlığı (X_2), iç yarıçap (X_3) ve uzunluk (X_4). Şekil 26 ise basınçlı kap tasarım probleminin şematik yapısını göstermektedir.

Önerilen 10 KÜTTO yöntemleri ile standart ÜTTO yönteminin Basınçlı kap tasarım problemi üzerindeki performanslarının karşılaştırmalı değerleri KÜTTO1 için Tablo 45'te, KÜTTO2 Tablo 47'de, KÜTTO3 için Tablo 49'da ve KÜTTO4 için Tablo 52'de sunulmuştur. Kullanılan yöntemlerin en iyi, ortalama, en kötü ve standart sapma değerleri bu tablolarda mevcuttur. Bu problem üzerinde kaotik haritalama entegre edilmiş yöntemlerin 30 kez çalıştırılması ile elde edilen sonuçlarda bu yöntemlerin en iyi değerine bağlı karar değişkenleri KÜTTO1 için Tablo 46'da, KÜTTO2 için Tablo 48'de, KÜTTO3 için Tablo 50'de ve KÜTTO4 için Tablo 51'de verilmiştir. Aşağıda, bu problem için kullanılan matematiksel formülasyon gösterilmektedir:



Şekil 42 Basınçlı kap tasarımı

Matematiksel olarak bu sorun aşağıdaki şekilde ifade edilebilir:

$$f(x) = 0.6224x_1x_3x_4 + 1.7781x_2x_3^2 + 3.1661x_1^2x_4 + 19.84x_1^2x_3 \quad (37)$$

$$g_1(x) = -x_1 + 0.0193x_3 \leq 0 \quad (38)$$

$$g_2(x) = -x_2 + 0.00954x_3 \leq 0 \quad (39)$$

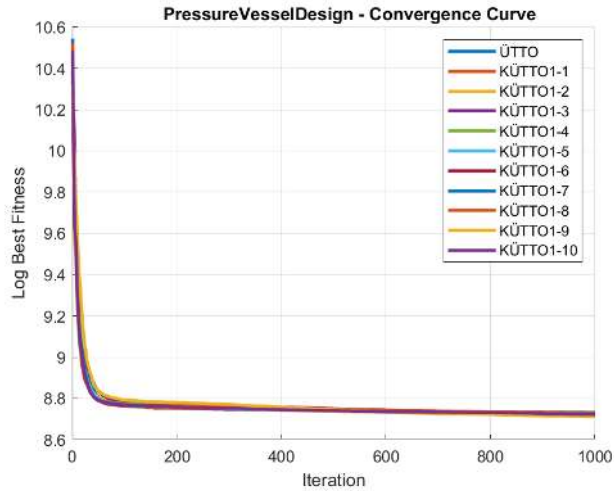
$$g_3(x) = -\pi x_3^2 x_4 - \frac{4}{3}\pi x_3^3 + 1296000 \leq 0 \quad (40)$$

$$g_4(x) = x_4 - 240 \leq 0 \quad (41)$$

$$0.51 \leq x_1, x_2 \leq 99.49, 10 \leq x_3, x_4 \leq 200$$

Tablo 45 KÜTTO1 basınçlı kap tasarımı istatistiksel sonuçlar

Algoritma	En iyi	Ortalama	En kötü	Std
ÜTTO	5946,534426774610	6201,318707177910	6710,491256441190	204,025417
KÜTTO1-1	5903,086177992980	6181,739574390830	6569,197397391610	166,567662
KÜTTO1-2	5948,959939084450	6117,731245798950	6389,658636618520	113,331018
KÜTTO1-3	5908,726133150780	6128,435966135360	6470,463245119790	132,787566
KÜTTO1-4	5939,802524840690	6135,390184855910	6454,525140547320	148,18373
KÜTTO1-5	5891,001396155610	6134,801730990650	6551,719979577200	165,654043
KÜTTO1-6	5935,971546837380	6145,383543312180	6407,748150571410	125,794838
KÜTTO1-7	5913,611049031340	6098,627384688080	6585,199894471680	144,391205
KÜTTO1-8	5964,100301592930	6182,472429654700	6481,714448458400	151,963412
KÜTTO1-9	5897,844490291970	6073,752304530450	6427,862343980400	125,304751
KÜTTO1-10	5943,087018802630	6140,508312039150	6544,885191953300	142,606285



Şekil 43 KÜTTO1 basınçlı kap tasarımı yakınsama eğrisi grafiği

Tablo 46 KÜTTO1 basınçlı kap tasarımı en iyi optimum çözümlerin karşılaştırılması

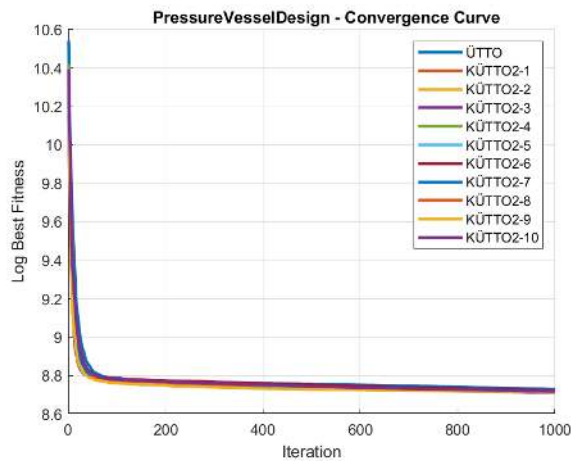
Algoritma	x_1	x_2	x_3	x_3	f_{min}
ÜTTO	0,886763901	0,43649008	45,9463156	134,151379	5946,53443
KÜTTO1-1	0,905269213	0,464897555	46,798149	126,234006	5903,08618
KÜTTO1-2	0,956691041	0,472132453	49,5524989	102,162701	5948,95994
KÜTTO1-3	0,881144442	0,43347484	45,599858	138,444173	5908,72613
KÜTTO1-4	0,795126938	0,431265963	40,6439319	196,662554	5939,80252
KÜTTO1-5	0,979976763	0,482338517	50,7635029	92,410362	5891,0014
KÜTTO1-6	0,92015968	0,450596924	47,4101883	120,330029	5935,97155
KÜTTO1-7	0,840047879	0,414556196	43,5119152	160,030487	5913,61105
KÜTTO1-8	0,863777969	0,426724485	44,7551231	146,285231	5964,1003
KÜTTO1-9	0,828504084	0,412946645	42,9064842	167,173916	5897,84449
KÜTTO1-10	0,80722159	0,402202235	41,4987394	185,155442	5943,08702

Tablo 47 KÜTTO2 basınçlı kap tasarımı istatistiksel sonuçlar

Algoritma	En iyi	Ortalama	En kötü	Std
ÜTTO	5934,109941049420	6184,449084463600	6555,878596924560	165,244713
KÜTTO2-1	5906,844338037750	6138,261819311070	6636,180995885190	159,684305
KÜTTO2-2	5907,761400399820	6085,848363406690	6289,825223947170	98,9759227
KÜTTO2-3	5885,202126318140	6083,321243054370	6455,360419881410	151,266691
KÜTTO2-4	5921,118199631690	6119,874883764030	6408,391187818950	123,708996
KÜTTO2-5	5904,648023729030	6118,846962604780	6321,855648920340	129,418447
KÜTTO2-6	5941,730888679490	6143,630667871450	6470,439555158690	147,578337
KÜTTO2-7	5945,371870405700	6102,448015498260	6348,962531773820	114,945716
KÜTTO2-8	5917,376220656670	6118,397159826460	6349,462927973500	124,809784
KÜTTO2-9	5884,010234151540	6088,452029710040	6511,267191432760	145,867176
KÜTTO2-10	5887,543587121750	6111,227921475140	6418,668075347550	119,250402

Tablo 48 KÜTTO2 basınçlı kap tasarımı en iyi optimum çözümlerin karşılaştırması

Algorithm	x_1	x_2	x_3	x_3	f_{min}
ÜTTO	0,977577185	0,483431542	50,5161202	95,2267339	5934,10994
KÜTTO2-1	0,822578249	0,410230014	42,6111838	170,445262	5906,84434
KÜTTO2-2	0,928480123	0,458439795	47,2400123	121,974538	5907,7614
KÜTTO2-3	0,937729291	0,461576171	48,5867807	109,971028	5885,20213
KÜTTO2-4	0,799559135	0,391657279	41,2249153	187,773542	5921,1182
KÜTTO2-5	0,807942574	0,397252081	40,9543294	194,840946	5904,64802
KÜTTO2-6	0,9186697	0,452258006	47,5986661	118,618836	5941,73089
KÜTTO2-7	0,845095238	0,449148628	43,7229366	157,586748	5945,37187
KÜTTO2-8	0,809531345	0,398641167	41,9325738	178,836587	5917,37622
KÜTTO2-9	0,792502451	0,390230318	41,0622632	189,917993	5884,01023
KÜTTO2-10	0,917517127	0,460221713	46,8074711	126,010138	5887,54359



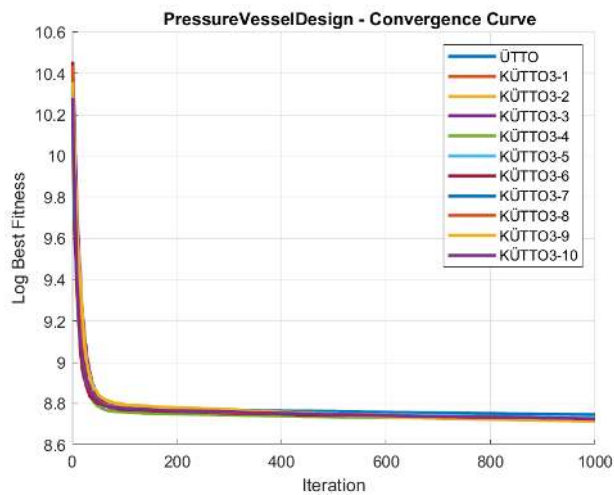
Şekil 44 KÜTTO2 basınçlı kap tasarımı yakınsama eğrisi grafiği

Tablo 49 KÜTTO3 basınçlı kap tasarımı istatistiksel sonuçlar

Algoritma	En iyi	Ortalama	En kötü	Std
ÜTTO	5983,58167430495	6290,77503151179	6687,53548656642	183,398571
KÜTTO3-1	5932,32217380662	6150,99827143049	6384,72901417196	130,454261
KÜTTO3-2	5890,03228030834	6132,49999179659	6651,47735344586	171,537126
KÜTTO3-3	5895,91568584919	6105,25851565302	6483,93276610449	147,578336
KÜTTO3-4	5931,67423068820	6123,15575302760	6358,93727743734	122,564864
KÜTTO3-5	5900,09144127538	6181,08457864809	6679,01624952229	180,337222
KÜTTO3-6	5930,93472309036	6149,37864965930	6521,10420724118	149,875686
KÜTTO3-7	5945,09358878231	6164,09350611020	6469,16890581623	133,346954
KÜTTO3-8	5924,29958041565	6149,41979293539	6486,56219407970	160,527745
KÜTTO3-9	5928,32640601633	6091,60258851431	6394,72528872889	113,739300
KÜTTO3-10	5890,77387675965	6156,33693305839	6516,93366410808	152,749189

Tablo 50 KÜTTO3 basınçlı kap tasarımı en iyi optimum çözümlerin karşılaştırması

Algorithm	x_1	x_2	x_3	x_3	f_{min}
ÜTTO	0,916588921	0,463280906	47,1179285	123,281375	5983,58167
KÜTTO3-1	0,80520395	0,398910447	41,4718636	186,12677	5932,32217
KÜTTO3-2	0,853149967	0,419981591	44,2045254	152,178097	5890,03228
KÜTTO3-3	0,873246916	0,441520244	44,8567424	147,401868	5895,91569
KÜTTO3-4	0,893673322	0,439914016	46,3029842	130,68049	5931,67423
KÜTTO3-5	0,84469566	0,41449979	43,5882698	159,067523	5900,09144
KÜTTO3-6	0,906511054	0,447081603	46,5944804	128,731399	5930,93472
KÜTTO3-7	0,915012244	0,508314859	47,1347262	124,708593	5945,09359
KÜTTO3-8	0,833230285	0,410139297	43,1725526	163,766295	5924,29958
KÜTTO3-9	0,817112793	0,406250326	42,3322537	173,760774	5928,32641
KÜTTO3-10	0,908089952	0,53222562	46,7700516	126,756999	5890,77388



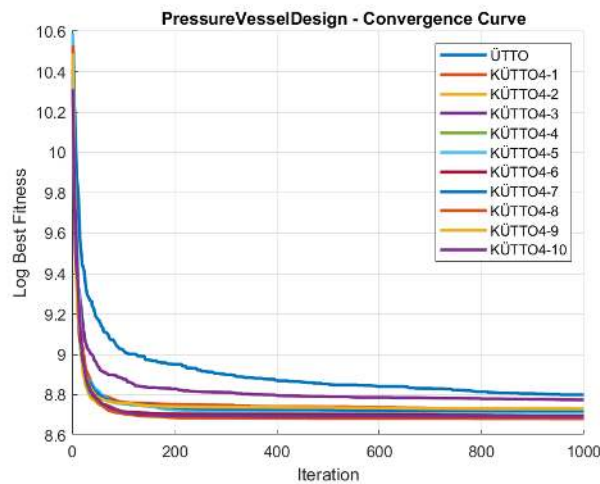
Şekil 45 KÜTTO3 basınçlı kap tasarımı yakınsama eğrisi grafiği

Tablo 51 KÜTTO4 basınçlı kap tasarımı istatistiksel sonuçlar

Algorithm	x_1	x_2	x_3	x_3	f_{min}
ÜTTO	0,91328924495	0,42895657888	44,52977672618	157,45958262333	6193,48729200454
KÜTTO4-1	0,80304127626	0,39527938403	41,60835617763	182,80571461989	5880,67092575708
KÜTTO4-2	0,83008716126	0,40858801133	43,00903098261	165,67052880794	5880,67084710565
KÜTTO4-3	1,16839686742	0,57065865431	59,52634324716	37,518811498159	5929,00159451536
KÜTTO4-4	0,77822315099	0,38323702422	40,32244299777	199,96069263457	5880,67084710565
KÜTTO4-5	0,84745862568	0,41713053412	43,90847049387	155,42860717929	5880,67084710645
KÜTTO4-6	0,82122378836	0,40422932588	42,55045535576	171,11483804436	5880,67084710574
KÜTTO4-7	1,11817919021	0,54629515751	57,22968228442	49,648700925639	5880,67084748264
KÜTTO4-8	0,77816868131	0,38303644402	40,31962057307	199,99999790218	5880,67084710565
KÜTTO4-9	0,89522561993	0,44065509789	46,38474714706	129,89014681510	5880,69990342565
KÜTTO4-10	0,77816864140	0,38303637789	40,31961872555	199,99999999988	5880,67084710596

Tablo 52 KÜTTO4 basınçlı kap tasarımı en iyi optimum çözümlerin karşılaştırması

Algoritma	En iyi	Ortalama	En kötü	Std
ÜTTO	6193,48729200454	6634,72346677500	7447,87089058510	291,094598
KÜTTO4-1	5880,67092575708	6192,53307832322	7187,52690826294	369,817262
KÜTTO4-2	5880,67084710565	5932,21511703285	6410,40782258285	108,70522
KÜTTO4-3	5929,00159451536	6469,26201061624	7327,54719199638	394,505504
KÜTTO4-4	5880,67084710565	5954,19938797649	6301,17805218376	124,114677
KÜTTO4-5	5880,67084710645	6069,11813885978	7049,06556586852	295,62901
KÜTTO4-6	5880,67084710574	5962,01507886217	6445,73545595213	156,337404
KÜTTO4-7	5880,67084748264	6136,71629925200	7297,02812023444	350,959187
KÜTTO4-8	5880,67084710565	5892,06404320190	6023,43542957294	33,327563
KÜTTO4-9	5880,69990342565	6189,74031440840	7214,63114665435	402,08758
KÜTTO4-10	5880,67084710596	5952,61494062029	6865,55108090220	216,05507



Şekil 46 KÜTTO4 basınçlı kap tasarımı yakınsama eğrisi grafiği

Tablo 53 Kaotik varyasyonlar üzerinde referans f_{min} 'e en yakın en iyi değerleri

Kaotik varyasyon	En iyi
KÜTTO1-5	5891,00139615561
KÜTTO2-3	5885,20212631814
KÜTTO3-2	5890,03228030834
KÜTTO4	Kısıt ihlali

Tablo 53'te görüldüğü üzere ÜTTO yönteminde her bir rastgele ağırlıklandırma noktasına uygulanmış olan 10 çeşit kaotik haritanın en iyi değerleri arasından üç çubuklu kafes tasarımı probleminin optimal amaç değerine en yakın değerler verilmiştir. Bu değerler arasından da kalın karakterlerle belirtildiği üzere KÜTTO2-3'e ait en iyi değeri optimal amaç değerine en yakın değerdir. Bu değer ilgili versiyonun, küresel optimum değerine diğerlerine göre daha yüksek oranda yaklaşılabildiğini göstermektedir.

Basıncılı kap tasarım problemi literatürde bir çok araştırmacı tarafından farklı meta-sezgisel optimizasyon algoritmaları ile çözülmüştür. Klasik ÜTTO, önerilen KÜTTO1, KÜTTO2, KÜTTO3, KÜTTO4 yöntemleri, hibrit arşimet optimizasyon algoritması (MAOA) (Varol Altay, 2023), Yapay Acari Optimizasyonu (AAO) (Czerniak et al., 2017), HHO, Salp Sürü algoritması (Mirjalili et al., 2017), Kümülatif Binom Olasılık Parçacık Sürü Optimizasyonu (CBPPSO) (Agrawal & Tripathi, 2021), Kümülatif binom olasılığa dayalı uyarlanabilir atalet ağırlıklı parçacık sürü optimizasyonu (Agrawal & Tripathi, 2021b) (ARLBAT) yöntemleri literatürde yer almaktadır. Basıncılı kap tasarım problemi için önerilen yöntemler ve diğer araştırmacılar tarafından önerilen yöntemler ile elde edilen en iyi maliyet ve ilgili karar değişkenleri Tablo 54'te sunulmuştur. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde önerilen KÜTTO2-3 yönteminin klasik ÜTTO ve diğer karşılaştırılan yöntemlere göre daha iyi bir sonuç verdiği görülmüştür.

Tablo 54 Basıncılı kap tasarım probleminin karşılaştırılması

Algoritma	x_1	x_2	x_3	x_4	f_{min}
MAOA	0,7953	0,3931	41,2274	187,7371	5,914.4851
AAO	0,8125	0,4375	42,0985	176,6366	6,059.7140
HHO	0,8540	0,4329	44,0025	154,3888	6,543.4802
SSA	0,7807	0,3859	40,4707	197,9081	6,149.0232
CBPPSO	1,125	0,6250	62,9866	20,0000	6,952.7200
ARLBAT	0,8125	0,4375	42,0984	200,0000	6,059.7143
ÜTTO	0,9165	0,4632	47,1179	123,2813	5,983.5816
KÜTTO3-2	0,8531	0,4199	44,2045	152,1780	5,890.0322
KÜTTO2-9	0,7925	0,3902	41,0622	189,9179	5,884.0102
KÜTTO2-3	0,9377	0,4615	48,5867	109,9710	5,885.2021
KÜTTO1-5	0,9799	0,4823	50,7635	92,4103	5,891.0014

6. Sonuç ve Öneriler

ÜTTO, üçgenlerin benzerliğinden ilham alan, yakın zamanda geliştirilmiş matematik tabanlı bir yöntemdir. Bu çalışmadaki motivasyonumuz, bu yöntemin çok yeni olması, yerel optimum çözümlere takılma eğiliminde olması, keşif ve sömürü arasındaki dengeyi korumakta zorlanmasıdır. Ayrıca, literatürde ÜTTO'nun performansını iyileştirmeye yönelik sınırlı sayıda çalışma bulunması, bu tez çalışmasının önemini artırmaktadır. Bu tezde, ÜTTO ayarlarını özelleştirmek için bir dizi kaotik harita yönteme dahil edilmiştir. ÜTTO'da düzensiz, ergodik ve stokastik özelliklere sahip kaotik haritalar kullanılarak, ÜTTO yöntemine kıyasla yerel çözümlerden daha kolay kaçınmak amaçlanmıştır. Bu şekilde keşif ve sömürü arasındaki denge sağlanmış ve küresel yakınsama amaçlanmıştır. On farklı kaotik harita, yirmi üç farklı klasik benchmark fonksiyonu, yirmi dokuz farklı CEC 2017 kıyaslama test fonksiyonu, dört farklı gerçek dünya mühendislik problemi üzerinde değerlendirilmiştir. Deneysel çalışmalar, ÜTTO algoritmasının dört farklı rastgele ağırlıklandırma noktası üzerinde on farklı kaotik haritanın entegrasyonu ile yürütülmüş ve bu yapıların performansa etkileri analiz edilmiştir. Elde edilen bulgular, kaotik haritaların kullanımının ÜTTO'nun genel performansını büyük ölçüde arttırabildiğini göstermiştir.

Önerilen dört ayrı yöntem için alınan klasik benchmark fonksiyonları üzerindeki deney sonuçları incelendiğinde, KÜTTO2 yöntemi tek modlu ve çok modlu, KÜTTO3 yöntemi çok modlu üç farklı fonksiyonda sinüzoidal kaotik harita, KÜTTO3 yöntemi ve KÜTTO4 yöntemi tek modlu iki farklı fonksiyonda gauss kaotik harita yaklaşımları gösterdikleri üstün performans ile ön plana çıkmıştır.

Aynı yöntemlerin CEC'17 test fonksiyonları üzerindeki sonuçları incelendiğinde KÜTTO1, KÜTTO2 tek modlu ve KÜTTO3 çok modlu üç farklı fonksiyonda sinüzoidal kaotik harita, KÜTTO1 hibrit modlu ve KÜTTO4 tek modlu iki farklı fonksiyonda daire kaotik harita, KÜTTO1 birleşim modlu ve KÜTTO3 tek modlu iki farklı fonksiyonda gauss kaotik harita, KÜTTO2 ve KÜTTO3 hibrit modlu iki farklı fonksiyonda sinüs kaotik harita, KÜTTO4 çok modlu ve birleşim modlu iki farklı fonksiyonda çadır kaotik haritaları kullanan yaklaşımlar gösterdikleri üstün performans diğer kaotik varyasyonlar arasında ön plana çıkmıştır.

Farklı kaotik varyasyonların ağırlıklı olarak tek modlu fonksiyonlarda ön plana çıkması parametre güncellemeleri ve popülasyon yönlendirme mekanizmalarının daha etkili çalıştığı anlamına gelir. Diğerlerinden daha önde performans gösteren kaotik varyasyonlar ağırlıklı olarak KÜTTO1 ve KÜTTO3 yöntemlerinde toplanmış olmasına karşın KÜTTO2 ve KÜTTO4'de iyi performans gösteren yöntemler bulunmaktadır. Bu durum kaotik haritaların entegre edildiği önerdiğimiz tüm yöntemlerden etkili sonuçlar alındığını göstermiştir.

Önerilen yöntemlerin sıralı performans karşılaştırması, Friedman istatistiksel testi için klasik benchmark fonksiyonları deney sonuçları üzerinde yapılan analizlerde KÜTTO1 orijinal ÜTTO algoritması, KÜTTO2 sinüzoidal kaotik , KÜTTO3 gauss,

KÜTTO4 sinüzoidal kaotik haritaları kullanan yaklaşımlar, CEC'17 test fonksiyonları deney sonuçları üzerinde yapılan analizlerde KÜTTO1 gauss, KÜTTO2 sinüzoidal, KÜTTO3 circle, KÜTTO4 tent kaotik haritaları kullanan yaklaşımlar en üst sıralarda yer almışlardır.

Önerilen yöntemlerin sıralı performans karşılaştırması Friedman istatistiksel testi kullanılarak yapılmıştır. Klasik benchmark fonksiyonları deney sonuçları üzerinde yapılan bu analizlerde KÜTTO1 orijinal ÜTTO algoritması, KÜTTO2 sinüzoidal kaotik, KÜTTO3 gauss, KÜTTO4 sinüzoidal kaotik haritaları kullanan yaklaşımlar, CEC'17 test fonksiyonları deney sonuçları üzerinde yapılan analizlerde KÜTTO1 gauss, KÜTTO2 sinüzoidal, KÜTTO3 circle, KÜTTO4 tent kaotik haritaları kullanan yaklaşımlar en üst sıralarda yer almışlardır. Bu sonuçlar algoritma başarımlarında kaotik harita seçiminin önemine vurgu yapmaktadır.

Yöntemler arasındaki medyan farklarının istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığının tespiti Wilcoxon işaretli sıralar testi ile gerçekleştirilmiştir. Bu analiz sonuçlarına göre fonksiyon bazlı farklar bulunmaktadır. Önerilen dört yöntem arasından en güçlü istatistiksel farklılıklar KÜTTO4 yöntemine ait varyasyonlarda tespit edilmiştir. Bu yöntemin sadece ortalama başarıda değil, güvenilirlik ve tutarlılık yönünden de öne çıktığı görülmektedir.

Gerçek dünya mühendislik tasarım problemleri deney sonuçları arasında en iyi performans gösteren kaotik varyasyonlar şu şekildedir; basınçlı kap tasarım problemi KÜTTO2 gauss, üç çubuklu kafes tasarım problemi KÜTTO1 iterative, germe sıkıştırma yay problemi KÜTTO4 parçalı, konsol kiriş tasarım problemi KÜTTO3 gauss kaotik haritalarını kullanan yaklaşımlar olarak öne çıkmıştır. Bu durum önerilen her bir yöntemin her problemde üstün olmadığını, başarı oranının algoritma yapısı ile kaotik haritanın problem doğasına uygunluğuna bağlı olduğunu göstermektedir.

Sonuç olarak, önerilen KÜTTO yöntemleri yeni nesil kaotik tabanlı optimizasyon stratejileri olarak güçlü bir potansiyele sahiptir. Gelecekte, bu yapıların problem türüne, iterasyon süresine veya fonksiyon karmaşıklığına göre uyarlanabilir kaotik harita değiştirme mekanizmalarıyla daha esnek hale getirilmesi önerilmektedir. Önerilen KÜTTO yöntemleri bir çok farklı alanda kayda değer sonuçlar ortaya koyabilir. Ayrıca KÜTTO varyasyonları; derin öğrenme, makine öğrenmesi, görüntü işleme, farklı gerçek dünya mühendislik problemleri, veri madenciliği gibi pek çok alanda kullanılmaya uygun, güçlü alternatifler sunmaktadır.

REFERANSLAR

- Abualigah, L., Diabat, A., Mirjalili, S., Abd Elaziz, M., & Gandomi, A. H. (2021). The Arithmetic Optimization Algorithm. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 376. <https://doi.org/10.1016/j.cma.2020.113609>
- Agrawal, A., & Tripathi, S. (2021a). Particle swarm optimization with adaptive inertia weight based on cumulative binomial probability. *Evolutionary Intelligence*, 14(2), 305–313. <https://doi.org/10.1007/s12065-018-0188-7>
- Agrawal, A., & Tripathi, S. (2021b). Particle swarm optimization with adaptive inertia weight based on cumulative binomial probability. *Evolutionary Intelligence*, 14(2), 305–313. <https://doi.org/10.1007/s12065-018-0188-7>
- Al-Baik, O., Alomari, S., Alssayed, O., Gochhait, S., Leonova, I., Dutta, U., Malik, O. P., Montazeri, Z., & Dehghani, M. (2024). Pufferfish Optimization Algorithm: A New Bio-Inspired Metaheuristic Algorithm for Solving Optimization Problems. *Biomimetics*, 9(2). <https://doi.org/10.3390/biomimetics9020065>
- Al-Betar, M. A., Awadallah, M. A., Braik, M. S., Makhadmeh, S., & Doush, I. A. (2024). Elk herd optimizer: a novel nature-inspired metaheuristic algorithm. *Artificial Intelligence Review*, 57(3). <https://doi.org/10.1007/s10462-023-10680-4>
- Altay, O. (2022). Chaotic slime mould optimization algorithm for global optimization. *Artificial Intelligence Review*, 55(5), 3979–4040. <https://doi.org/10.1007/s10462-021-10100-5>
- Altay, O., & Altay, E. V. (2023). A novel chaotic transient search optimization algorithm for global optimization, real-world engineering problems and feature selection. *PeerJ Computer Science*, 9. <https://doi.org/10.7717/peerj-cs.1526>
- Alweshah, M., Alkhalaileh, S., Al-Betar, M. A., & Bakar, A. A. (2022). Coronavirus herd immunity optimizer with greedy crossover for feature selection in medical diagnosis. *Knowledge-Based Systems*, 235. <https://doi.org/10.1016/j.knosys.2021.107629>
- Assarzadeh, Z., & Naghsh-Nilchi, A. R. (2015). Chaotic Particle Swarm Optimization with Mutation for Classification. *Journal of Medical Signals & Sensors*, 5(1). https://journals.lww.com/jmss/fulltext/2015/05010/chaotic_particle_swarm_optimization_with_mutation.2.aspx
- Barua, S., & Merabet, A. (2024). Lévy Arithmetic Algorithm: An enhanced metaheuristic algorithm and its application to engineering optimization. *Expert Systems with Applications*, 241. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2023.122335>
- Benmamoun, Z., Khlie, K., Bektemyssova, G., Dehghani, M., & Gherabi, Y. (2024). Bobcat Optimization Algorithm: an effective bio-inspired metaheuristic algorithm for solving supply chain optimization problems. *Scientific Reports*, 14(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-024-70497-1>

- Cheng, J., & De Waele, W. (2024). Weighted average algorithm: A novel meta-heuristic optimization algorithm based on the weighted average position concept. *Knowledge-Based Systems*, 305. <https://doi.org/10.1016/j.knosys.2024.112564>
- Cheng, M. Y., & Sholeh, M. N. (2025). Artificial satellite search: A new metaheuristic algorithm for optimizing truss structure design and project scheduling. *Applied Mathematical Modelling*, 143. <https://doi.org/10.1016/j.apm.2025.116008>
- Czerniak, J. M., Zarzycki, H., & Ewald, D. (2017). AAO as a new strategy in modeling and simulation of constructional problems optimization. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 76, 22–33. <https://doi.org/10.1016/j.simpat.2017.04.001>
- Devaney, R. L., & Wiggins, S. (1987). A review of: “An introduction to chaotic dynamical systems”. *Transport Theory and Statistical Physics*, 16(8), 1177–1180. <https://doi.org/10.1080/00411458708204613>
- Dhiman, G., & Kumar, V. (2019). Seagull optimization algorithm: Theory and its applications for large-scale industrial engineering problems. *Knowledge-Based Systems*, 165, 169–196. <https://doi.org/10.1016/j.knosys.2018.11.024>
- Faramarzi, A., Heidarinejad, M., Stephens, B., & Mirjalili, S. (2020). *Equilibrium optimizer: A novel optimization algorithm* ☆. 191, 105190. <https://doi.org/10.1016/j.knosys>
- Hamadneh, T., Batiha, B., Werner, F., Montazeri, Z., Dehghani, M., Bektemyssova, G., & Eguchi, K. (2024). Fossa Optimization Algorithm: A New Bio-Inspired Metaheuristic Algorithm for Engineering Applications. *International Journal of Intelligent Engineering and Systems*, 17(5), 1038–1047. <https://doi.org/10.22266/ijies2024.1031.78>
- Heidari, A. A., Mirjalili, S., Faris, H., Aljarah, I., Mafarja, M., & Chen, H. (2019). Harris hawks optimization: Algorithm and applications. *Future Generation Computer Systems*, 97, 849–872. <https://doi.org/10.1016/j.future.2019.02.028>
- J. Arora. (2012). *Introduction to Optimum Design* (Elseiver). Elseiver.
- Kulkarni, A. J., Purnapatre, I., Apoorva, ;, & Shastri, S. (n.d.). *Fig Tree-Wasp Symbiotic Coevolutionary Optimization Algorithm*.
- Li, C., Chen, G., Liang, G., Luo, F., Zhao, J., & Dong, Z. Y. (2022). Integrated optimization algorithm: A metaheuristic approach for complicated optimization. *Information Sciences*, 586, 424–449. <https://doi.org/10.1016/j.ins.2021.11.043>
- Li, M., Liu, Z., & Song, H. (2024). An improved algorithm optimization algorithm based on RungeKutta and golden sine strategy. *Expert Systems with Applications*, 247. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2024.123262>
- Li, X., Lan, L., Lahza, H., Yang, S., Wang, S., Yang, W., Liu, H., & Zhang, Y. (n.d.). *A Novel Human-Based Meta-Heuristic Algorithm: Dragon Boat Optimization*.
- Limane, A., Zitouni, F., Harous, S., Lakbichi, R., Ferhat, A., Almazyad, A. S., Jangir, P., & Mohamed, A. W. (2025). Chaos-enhanced metaheuristics: classification, comparison, and convergence analysis. *Complex and Intelligent Systems*, 11(3). <https://doi.org/10.1007/s40747-025-01791-2>

- Ma, K., Xu, X., Yang, H., Cao, R., & Zhang, L. (2023). *Fair Influence Maximization in Social Networks: A Community-Based Evolutionary Algorithm*. <http://arxiv.org/abs/2311.14288>
- Mingjun, J., & Huanwen, T. (2004). Application of chaos in simulated annealing. *Chaos, Solitons and Fractals*, 21(4), 933–941. <https://doi.org/10.1016/j.chaos.2003.12.032>
- Mirjalili, S., Gandomi, A. H., Mirjalili, S. Z., Saremi, S., Faris, H., & Mirjalili, S. M. (2017). Salp Swarm Algorithm: A bio-inspired optimizer for engineering design problems. *Advances in Engineering Software*, 114, 163–191. <https://doi.org/10.1016/j.advengsoft.2017.07.002>
- Mirjalili, S., Mirjalili, S. M., & Lewis, A. (2014). Grey Wolf Optimizer. *Advances in Engineering Software*, 69, 46–61. <https://doi.org/10.1016/j.advengsoft.2013.12.007>
- Mlinarić, D., Perić, T., & Matejaš, J. (2019). Multi-objective programming methodology for solving economic diplomacy resource allocation problem. *Croatian Operational Research Review*, 10(1), 165–174. <https://doi.org/10.17535/crorr.2019.0015>
- Naruei, I., & Keynia, F. (2021). A new optimization method based on COOT bird natural life model. *Expert Systems with Applications*, 183. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2021.115352>
- Nemati, M., Zandi, Y., & Agdas, A. S. (2024). Application of a novel metaheuristic algorithm inspired by stadium spectators in global optimization problems. *Scientific Reports*, 14(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-024-53602-2>
- Phan-Trong, D., Tran, H. T., Shilton, A., & Gupta, S. (2024). *PINN-BO: A Black-box Optimization Algorithm using Physics-Informed Neural Networks*. <http://arxiv.org/abs/2402.03243>
- Shen, Z.-S., Pan, F., Wang, Y., Men, Y.-D., Xu, W.-B., Yung, M.-H., & Zhang, P. (2024). *Free-Energy Machine for Combinatorial Optimization*. <http://arxiv.org/abs/2412.09285>
- Storn, R., & Price, K. (1997). Differential Evolution-A Simple and Efficient Heuristic for Global Optimization over Continuous Spaces. In *Journal of Global Optimization* (Vol. 11). Kluwer Academic Publishers.
- Strogatz, S. H. (2015). *Nonlinear Dynamics and Chaos*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1201/9780429398490>
- Tang, R., Fong, S., & Dey, N. (2018). Metaheuristics and Chaos Theory. In *Chaos Theory*. InTech. <https://doi.org/10.5772/intechopen.72103>
- Trojovská, E., & Dehghani, M. (2022). A new human-based metahurestic optimization method based on mimicking cooking training. *Scientific Reports*, 12(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-022-19313-2>
- Trojovský, P., & Dehghani, M. (2022). A new optimization algorithm based on mimicking the voting process for leader selection. *PeerJ Computer Science*, 8, 1–40. <https://doi.org/10.7717/peerj-cs.976>

- Varol Altay, E. (2023). Hybrid Archimedes optimization algorithm enhanced with mutualism scheme for global optimization problems. *Artificial Intelligence Review*, 56(7), 6885–6946. <https://doi.org/10.1007/s10462-022-10340-z>
- Wang, X. (2024). Gyro fireworks algorithm: A new metaheuristic algorithm. *AIP Advances*, 14(8). <https://doi.org/10.1063/5.0213886>
- Wang, X., Snášel, V., Mirjalili, S., Pan, J. S., Kong, L., & Shehadeh, H. A. (2024). Artificial Protozoa Optimizer (APO): A novel bio-inspired metaheuristic algorithm for engineering optimization. *Knowledge-Based Systems*, 295. <https://doi.org/10.1016/j.knosys.2024.111737>
- Yuan, Y., Ren, J., Wang, S., Wang, Z., Mu, X., & Zhao, W. (2022). Alpine skiing optimization: A new bio-inspired optimization algorithm. *Advances in Engineering Software*, 170. <https://doi.org/10.1016/j.advengsoft.2022.103158>
- Zhao, J., Wang, K., Wang, J., Guo, X., & Qi, L. (2024). African Bison Optimization Algorithm: A New Bio-Inspired Optimizer with Engineering Applications. *Computers, Materials and Continua*, 81(1), 603–623. <https://doi.org/10.32604/cmc.2024.050523>
- Zhao, S., Zhang, T., Cai, L., & Yang, R. (2024). Triangulation topology aggregation optimizer: A novel mathematics-based meta-heuristic algorithm for continuous optimization and engineering applications. *Expert Systems with Applications*, 238. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2023.121744>
- Zhou, G., Wang, D., Zhou, G., Du, J., & Guo, J. (2024). A rhinopithecus swarm optimization algorithm for complex optimization problem. *Scientific Reports*, 14(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-024-66450-x>