

TURNUVA SEÇİM YÖNTEMİ İLE GELİŞTİRİLMİŞ AĞAÇ TOHUM ALGORİTMASI
KULLANILARAK ENERJİ TALEP TAHMİN PROBLEMİNİN ÇÖZÜMÜ

Ayşe BEŞKİRLİ

Kütahya Dumlupınar Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Öğretim ve Sınav Yönetmeliği Uyarınca
Fen Bilimleri Enstitüsü Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalında
YÜKSEK LİSANS TEZİ
Olarak Hazırlanmıştır.

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Hasan TEMURTAŞ
Ortak Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Durmuş ÖZDEMİR

Aralık – 2019

KABUL VE ONAY SAYFASI

Ayşe BEŞKİRLİ tarafından hazırlanan “Turnuva Seçim Yöntemi ile Geliştirilmiş Ağaç Tohum Algoritması Kullanılarak Enerji Talep Tahmin Probleminin Çözümü” adlı tez çalışması, aşağıda belirtilen jüri tarafından Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek OY BİRLİĞİ ile Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

06/12/2019

Prof. Dr. Önder UYSAL
Enstitü Müdürü, Fen Bilimleri Enstitüsü

Doç. Dr. Doğan AYDIN
Anabilim Dalı Başkanı, Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı

Dr. Öğr. Üyesi Hasan TEMURTAŞ
Danışman, Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı

Dr. Öğr. Üyesi Durmuş ÖZDEMİR
Ortak Danışman, Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı

Sınav Komitesi Üyeleri

Prof. Dr. Ayhan İSTANBULLU
Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Balıkesir Üniversitesi

Doç. Dr. Doğan AYDIN
Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Hasan TEMURTAŞ
Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Durmuş ÖZDEMİR
Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Fatih TEFEK
Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi



ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

Bu tezin hazırlanmasında Akademik kurallara riayet ettiğimizi, özgün bir çalışma olduğunu ve yapılan tez çalışmasının bilimsel etik ilke ve kurallara uygun olduğunu, çalışma kapsamında teze ait olmayan veriler için kaynak gösterildiğini ve kaynaklar dizininde belirtildiğini, Yüksek Öğretim Kurulu tarafından kullanılmak üzere önerilen ve Kütahya Dumlupınar Üniversitesi tarafından kullanılan İntihal Programı ile tarandığını ve benzerlik oranının %30 çıktığını beyan ederiz. Aykırı bir durum ortaya çıktığı takdirde tüm hukuki sonuçlara razı olduğumuzu taahhüt ederiz.



Dr. Öğr. Üyesi Hasan TEMURTAŞ



Dr. Öğr. Üyesi Durmuş ÖZDEMİR



Ayşe BEŞKİRLİ

TURNUVA SEÇİM YÖNTEMİ İLE GELİŞTİRİLMİŞ AĞAÇ TOHUM ALGORİTMASI KULLANILARAK ENERJİ TALEP TAHMİN PROBLEMİNİN ÇÖZÜMÜ

Ayşe BEŞKİRLİ

Bilgisayar Mühendisliği, Yüksek Lisans Tezi, 2019

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Hasan TEMURTAŞ

Ortak Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Durmuş ÖZDEMİR

ÖZET

Gerçek hayatta karşılaşılan, çözümü zor veya imkânsız olan mühendislik problemlerinin çözümü için optimizasyon yöntemleri geliştirilmiştir. Birçok problemin çözümü için kullanılan optimizasyon yöntemleri, belirli kısıtlar altında mümkün olan en iyi sonucu bulma işlemidir. Optimizasyon yöntemleri doğadaki canlıların davranışlarından esinlenerek ortaya çıkmakta ve meta-sezgisel algoritmalar olarak adlandırılmaktadır. Bu algoritmalarından biri de son zamanlarda yeni bir algoritma olarak önerilen ve sürekli optimizasyon problemlerini çözmek için kullanılan popülasyon tabanlı ağaç tohum algoritması (TSA)'dır. TSA'da tohum oluşumu esnasında normalde rastgele seçilen ağaçlar yerine turnuva seçim yöntemi kullanılarak ağaçlar seçilmiş ve tohum üretimi gerçekleştirilerek algoritma üzerinde iyileştirme yapılmıştır. Bununla birlikte algoritmanın yapısında yer alan ST parametresi, optimize edilerek büyük boyutlu (20, 50, 100 ve 1000) problemlerin çözümünde iyileştirme hedeflenmiştir. Yapılan iyileştirmeler neticesinde önerilen yöntem modifiye ağaç tohum algoritması (MTSA) denilmiştir. MTSA, sayısal test fonksiyonlarına uygulanarak problemlerin sonuçları ile yakınsama ve kutu grafikleri elde edilmiştir. Bununla birlikte literatürde yer alan bazı algoritmalar sayısal test fonksiyonlarına uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar MTSA ile kıyaslanmış ve istatistiksel analiz sonuçlarına yer verilmiştir. Deneysel sonuçlar ve karşılaştırmalar, önerilen MTSA yönteminin çözüm kalitesi ve sağlamlığı açısından alternatif bir optimizasyon aracı olduğunu göstermektedir. Bunların yanı sıra MTSA ve TSA yöntemleri ile gerçek dünya optimizasyon problemlerinden biri olan enerji talep tahmini optimizasyon probleminin Türkiye uygulaması gerçekleştirilmiştir. MTSA'nın enerji talep tahmini problemindeki başarısını göstermek için literatürde yer alan bazı yöntemlerin sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Analiz sonuçlarına göre önerilen yöntem olan MTSA yönteminin enerji talebi senaryoları için gerçekçi ve kabul edilebilir bir tahmin aracı olduğu gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Ağaç Tohum Algoritması, Enerji Talep Tahmin Problemi, Meta-Sezgisel Algoritmalar, Modifiye Ağaç Tohum Algoritması, Optimizasyon, Sayısal Test Fonksiyonu

SOLUTION OF ENERGY DEMAND FORECASTING PROBLEM USING TREE SEED ALGORITHM ENHANCED WITH TOURNAMENT SELECTION METHOD

Ayşe BEŞKİRLİ

Computer Engineering, M.S. Thesis, 2019

Thesis Supervisor: Asst. Prof. Dr. Hasan TEMURTAŞ

Thesis Co-Advisor: Asst. Prof. Dr. Durmuş ÖZDEMİR

SUMMARY

Optimization methods have been developed for the solution of engineering problems that are difficult or impossible to solve in real life. Optimization methods used in the solution of many problems are the process of obtaining the best possible result under certain limitations. They emerge from the behavior of living things in nature and are called meta-heuristic algorithms. One of these algorithms, the population-based tree-seed algorithm (TSA), has recently been proposed as a novel algorithm and is used to solve continuous optimization problems. In TSA, during seed formation, trees were selected by using the tournament selection method instead of normally randomly selected trees, and seed production were carried out and the algorithm has been improved. Also, the ST parameter found in the structure of the algorithm has been optimized to improve the solution of large-scale (20, 50, 100 and 1000) problems. As a result of the improvements, the proposed method was called as modified tree-seed algorithm (MTSA). MTSA has been applied to numerical test functions and convergence and box graphics have been obtained. In addition, some algorithms in the literature have been applied to numerical test functions. The obtained results were compared to MTSA and the results were statistically analyzed. Experimental results and comparisons showed that the proposed MTSA method is an alternative optimization tool in terms of solution quality and robustness. In addition, adopting MTS and TS methods, a Turkey-specific application of an energy demand application optimization problem, which is a real-life optimization problem, was carried out. To show the success of MTSA in the energy demand estimation problem, the results were compared to the results of some methods in the literature. According to the results of the analysis, the MTSA method is a realistic and acceptable estimation tool for energy demand scenarios.

Keywords: Benchmark Functions, Energy Demand Estimation Problem, Meta-Heuristic Algorithms, Modified Tree Seed Algorithm, Optimization, Tree Seed Algorithm

TEŞEKKÜR

Tez çalışmalarım süresince bilimsel katkılarını ve desteklerini esirgemeyen, görüş ve önerilerini paylaşarak her konuda yardımcı olan değerli tez danışmanlarım; Dr. Öğr. Üyesi Hasan TEMURTAŞ ve Dr. Öğr. Üyesi Durmuş ÖZDEMİR'e teşekkür ederim.

Her zaman yanımda olup beni destekleyen ve aynı zamanda bana güç veren annem Emine BEŞKİRLİ ve babam Kerim BEŞKİRLİ'ye, fikir ve önerileri ile her konuda daima yol gösteren ve her zaman yanımda olup beni destekleyen abim Mehmet BEŞKİRLİ'ye teşekkür ederim.

Ayşe BEŞKİRLİ
Kütahya-2019

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	v
SUMMARY	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ	x
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xi
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	6
2.1. Ağaç Tohum Algoritması ile İlgili Çalışmalar	6
2.2. Enerji Talep Tahmini ile İlgili Çalışmalar	8
3. MATERYAL VE METOT	18
3.1. Ağaç Tohum Algoritması	18
3.2. Modifiye Ağaç Tohum Algoritması	20
3.3. Sayısal Test Fonksiyonu Problemi	22
3.1. Enerji Talep Tahmini Problemi	26
4. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA	27
4.1. Sayısal Test Fonksiyonlarının Sonuçları ve İstatistiksel Analizi.....	27
4.1.1. TSA ve MTSA'nın karşılaştırmalı analiz sonuçları	27
4.1.2. TSA ile MTSA'nın performanslarının istatistiksel analizi.....	53
4.1.3. MTSA'nın literatürdeki algoritmalar ile karşılaştırılması	53
4.2. Enerji Talep Tahmin Probleminin Sonuçları	57
4.2.1. Enerji talep tahmin problemine önerilen yöntemin uygulanması.....	58
4.2.2. MTSA ile TSA'nın literatürdeki yöntemler ile karşılaştırılması.....	59
4.2.3. MTSA ve TSA yöntemleri kullanılarak enerji talebinin gelecek projeksiyonlarının tahmini	62
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	67
5.1 Sonuçlar	67
5.2 Öneriler	68
KAYNAKLAR DİZİNİ	69
ÖZGEÇMİŞ	

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
1.1. Sezgisel yöntemlerin sınıflandırılması.....	3
3.1. TSA'nın akış şeması.....	20
3.2. Sayısal test fonksiyonlarının 3-D grafikleri.....	26
3.3. Tahmin yöntemlerinin sınıflandırılması.	26
4.1. D=20 ve ST=0.1 değerleri için F1 fonksiyonuna ait TSA ve MTSA'nın yakınsama (a) ve kutu (b ve c) grafikleri.	33
4.2. D=20 ve ST=0.1 değerleri için F7 fonksiyonuna ait TSA ve MTSA'nın yakınsama (a) ve kutu grafiği (b ve c) grafikleri.	35
4.3. D=20 ve ST=0.5 değerleri için F1 fonksiyonuna ait TSA ve MTSA'nın yakınsama (a) ve kutu (b ve c) grafikleri.	41
4.4. D=20 ve ST=0.5 değerleri için F7 fonksiyonuna ait TSA ve MTSA'nın yakınsama (a) ve kutu (b ve c) grafikleri.	42
4.5. D=20 ve ST=0.9 değerleri için F1 fonksiyonuna ait TSA ve MTSA'nın yakınsama (a) ve kutu (b ve c) grafikleri.	48
4.6. D=20 ve ST=0.9 değerleri için F7 fonksiyonuna ait TSA ve MTSA'nın yakınsama (a) ve kutu (b ve c) grafikleri.	49
4.7. Algoritmaların sıralama sonuçları (Çizelge 4.15'in özeti).....	57
4.8. Algoritmaların 1996-2005 yılları arasındaki enerji talep tahminlerinin kıyaslanması.	62
4.9. Senaryo 1 için önerilen yöntemin gelecekteki enerji talep tahmini.	64
4.10. Senaryo 2 için önerilen yöntemin gelecekteki enerji talep tahmini.	64
4.11. Senaryo 3 için önerilen yöntemin gelecekteki enerji talep tahmini.	65
4.12. MTSA'nın gelecekteki enerji talebinin senaryolara göre tahmini.	65

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. Türkiye’de yapılan enerji talep tahmini ile ilgili çalışmalar.	15
3.1. Sayısal test fonksiyonları (Türü: T, Tek modlu: U, Çok modlu: M).	22
4.1. TSA ve MTSA için parametre verileri.....	27
4.2. Fonksiyonların analiz sonuçları ST=0.1 ve D=20.	28
4.3. Fonksiyonların analiz sonuçları ST=0.1 ve D=50.	29
4.4. Fonksiyonların analiz sonuçları ST=0.1 ve D=100.	31
4.5. Fonksiyonların analiz sonuçları ST=0.5 ve D=20.	35
4.6. Fonksiyonların analiz sonuçları ST=0.5 ve D=50.	37
4.7. Fonksiyonların analiz sonuçları ST=0.5 ve D=100.	38
4.8. Fonksiyonların analiz sonuçları ST=0.9 ve D=20.	43
4.9. Fonksiyonların analiz sonuçları ST=0.9 ve D=50.	44
4.10. Fonksiyonların analiz sonuçları ST=0.9 ve D=100.	46
4.11. TSA ve MTSA için parametre verileri.....	51
4.12. Fonksiyonların analiz sonuçları D=1000.	51
4.13. Fonksiyonların en iyi değerleri için Wilcoxon testi (p değeri).	53
4.14. Algoritmaların çalıştırılma bilgileri.	54
4.15. ABC, PSO, GSA, SSA, GOA, MVO, TSA ve MTSA’nın karşılaştırma sonuçları ile p değeri (p) ve işaret değeri (S), D=50.	54
4.16. Fonksiyonların en iyi değerler için Wilcoxon testi (p değeri).	57
4.17. Türkiye’nin Enerji talebi, GSYH, nüfus, ithalat ve ihracat verileri.	58
4.18. Lineer form için katsayıların ve hata miktarlarının karşılaştırılması.	60
4.19. MTSA ve TSA yöntemlerine ait 1996-2005 yılları arasındaki enerji talep tahminleri.	61
4.20. Önerilen yöntem ile mevcut yöntemlerin 1996-2005 yılları arasındaki ortalama bağıl hataları.	61
4.21. Önerilen yöntemin Senaryo 1, 2 ve 3’e göre toplam enerji talebinin gelecek projeksiyonları.	63

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Kısaltmalar</u>	<u>Açıklama</u>
TSA	Ağaç Tohum Algoritması
MTSA	Modifiye Ağaç Tohum Algoritması
ST	Arama eğilimi
F _n	Fonksiyon numarası
D	Boyut
N	Popülasyondaki ağaç sayısı
NS	Tohum sayısı
Best	En iyi değer
Ort	Ortalama
Std	Standart sapma
MaxFEs	Maksimum fonksiyon değerlendirme sayısı
P	P değeri
S	İşaret değeri
Pop	Popülasyon sayısı
GSYH	Gayri Safi Yurtiçi Hasıla
ABC	Yapay Arı Kolonisi
PSO	Parçacık Sürü Optimizasyonu
GSA	Yerçekimsel Arama Algoritması
SSA	Salp Sürüsü Algoritması
GOA	Çekirge Optimizasyonu Algoritması
MVO	Çoklu Dize Optimizasyonu
DEA	Diferansiyel Evrim Algoritması
AAA	Yapay Alg Algoritması
ACO	Karınca Kolonisi Optimizasyonu
BA	Yarasa Algoritması

1. GİRİŞ

Enerji ihtiyacı ve talebi geçmişten günümüze, ülkelerin ekonomik ve sosyal gelişiminde önemli rol oynamaktadır. Yaşamımızın her safhasında kendini gösteren enerji, sanayi başta olmak üzere sosyal ve ekonomik alandaki gelişmeler ile birlikte ülkelerin ihtiyaç duyduğu enerji miktarı her geçen gün artmaktadır (Halim Ceylan ve Öztürk, 2004). Özellikle ülkelerin gelişmişlik düzeyi ile enerji tüketimi arasında bir bağ olduğu görülmekte ve ülkelerin gerek ekonomik gerekse sosyal gelişiminde enerji önemli bir unsur olmaktadır. Enerjinin insan hayatındaki yeri ve önemi giderek artan vazgeçilmez bir unsurdur ki dünyada yaşanan nükleer santral kazaları ve finansal krizlere rağmen enerjiye olan talep artmaya devam etmektedir (Güneş ve Aslan, 2015). Günümüzün en önemli ihtiyaçlardan biri olan enerji aynı zamanda bir ülkenin gelişmişlik düzeyinin de göstergesidir (Sozen vd., 2005). Bundan dolayı gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler için enerji talep tahmininin önemi büyüktür. Özellikle enerjiye olan ihtiyaç artan nüfus ile birlikte gelişen teknoloji ve sanayileşmeye bağlı olarak hızla artmaktadır. Enerji sektörünün sağlıklı bir şekilde gelişmesinin sağlanması için talep, arz, iletim, dağıtım ve fiyatlandırma konularında planlar yapılması bu sektör için büyük önem arz etmektedir (Oğurlu, 2011). Bu planlama çalışmalarının en önemlisi artan enerji talebini göz önüne alarak gelecekteki enerji talebinin belirlenmesidir. Enerji üretimi yüksek maliyetler gerektirdiğinden ve enerjinin depolanmaması sebebiyle enerji üretimi ile enerjinin tüketimi arasında bir dengenin olması gerekmektedir (Mahmutoğlu ve Öztürk, 2015). Dolayısıyla enerji talebinin doğru bir şekilde tahmin edilmesinin önemi de artmaktadır. Tahmin edilen enerji ihtiyaç duyulan enerjiden düşük olursa enerji krizine, yüksek olursa enerji kaynakların azalmasına neden olurken aynı zamanda ekonomiye de zararı olabilmektedir (Ünler, 2008). Tahmin edilecek olan enerji talepleri ne kadar doğru olursa, yapılan planlama çalışmaları bir o kadar başarılı olacaktır. Yani planlama çalışmalarının başarısı öngörülen enerji talebinin doğruluğuna dayanmaktadır.

Enerji tahmini ile ilgili çalışmalar çoğu ülkelerde uzun süredir yürütülmesine rağmen Türkiye’de enerji tahmini konusuna ilişkin çalışmalar ise 1990’lı yılların sonlarına doğru bir ivme kazanmıştır. Devlet Planlama Teşkilatı (DPT), Türkiye İstatistik Kurumu (TUİK), Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (ETKB) 1970’li yılların sonunda enerji talep tahmini için matematiksel modeller kullanmaya başlamışlardır (Erdoğan, 2007).

Tiris, enerji talebinin 2002 – 2030 yılları arasında yıllık ortalama %1,7 oranında artacağını söylemiştir (Tiris, 2005). 2012 yılındaki verilere göre Türkiye’nin toplam birincil enerji arzı 121 MTEP olup, bu arzın %31’i kömür, %31’si doğalgaz, %25’si petrol, %4’ü hidrolik %3’ü

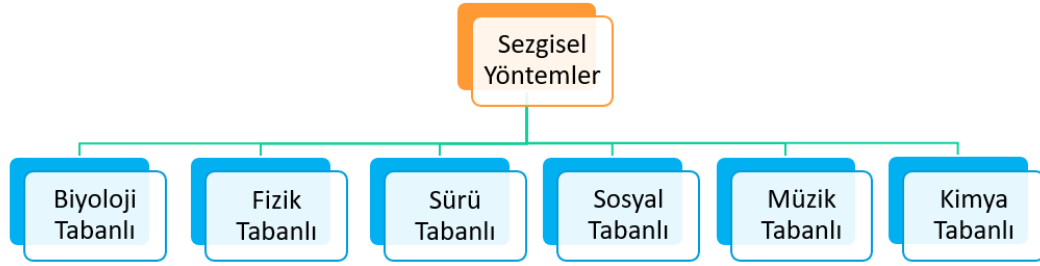
odun-çöp, hayvan, bitki atıkları ile jeotermal, rüzgâr ve güneş alırken bunun %3 oranı ise diğer kaynaklar izlemiştir (WECTNC, 2014). Türkiye ihtiyaç duyduğu enerjinin yaklaşık %30'unu kendisi üretirken, geri kalan kısmı ise ithal edilen kaynaklardan karşılamaktadır (WECTNC, 2015).

Enerji kaynakları iki sınıfta incelenmektedir. Bunlar, birincil enerji kaynakları ve ikincil enerji kaynaklarıdır. Birincil enerji tüketim kaynakları doğada buldukları halleriyle doğrudan kullanılabilen petrol, doğalgaz, kömür, rüzgâr enerjisi, güneş enerjisi, jeotermal enerjinin yanı sıra hayvansal ve bitkisel atıklar gibi enerji kaynaklarıdır (Kıran vd., 2012a). İkincil enerji kaynakları ise rüzgâr, güneş, fosil yakıtlar gibi birincil enerji kaynaklarının birçok işleme tabi tutulmasıyla oluşan enerji kaynaklarıdır. Elektrik enerjisi ikincil enerji kaynaklarına örnek olarak gösterilmektedir. Ancak Türkiye enerji ihtiyacının önemli bir bölümünü petrol ve doğalgaz gibi fosil yakıtlardan karşılamaktadır. Türkiye'nin ihtiyaç duyduğu enerjinin büyük bir kısmını ise dış kaynaklara bağlı olarak kullanılmaktadır (Çalışkan, 2009). Türkiye ekonomisindeki ve nüfusundaki büyüme hızı ile birlikte enerji kullanımında bir artış söz konusu olmuştur. Bu nedenle enerji ihtiyacının yaklaşık %70'ini ithalata karşılayan Türkiye, kalkınmaya ve sanayileşmeye, bütçe planlamasına, enerji kaynaklarına erişime ve yatırımlara bir engel oluşturmaması için uzun dönemde ihtiyaç duyduğu enerji miktarını doğruya yakın bir şekilde tahmin edilmesi gerekmektedir (WECTNC, 2015).

Bu nedenle gerçek hayatta karşılan, çözümü zor veya imkânsız olan mühendislik problemlerinin çözümü için araştırmacılar birçok sezgisel ya da meta-sezgisel algoritmalar geliştirmişlerdir (B. Akay ve Karaboga, 2012; Guden vd., 2005; Yılmaz ve Küçüksille, 2015b). Bu algoritmaları bilgisayar ortamında modelleyerek gerçek dünya problemlerinin çözümüne daha hızlı ulaşıldığını ve bulunan sonuçların gerçek değere daha yakın olduğunu fark etmişlerdir. Bu da optimizasyon tekniklerinin ortaya çıkmasını sağlamıştır. Optimizasyon genel olarak, bir problemin çözümü için eldeki kısıtlı imkanları en iyi şekilde kullanıp elde edilen sonuçlar içerisinde en iyisini bulma işlemi olarak tanımlanmaktadır (Bunday, 1984; Edgar ve Himmelblau, 1989). Optimizasyonun görevi, sürekli veya kesikli problemler için kısıtları verilen bir fonksiyonun optimum sonucunu belirlemektir. Literatürde enerji talep tahmin probleminin çözümü için birçok yöntem kullanılmıştır. Bunlardan en çok kullanılan optimizasyon yöntemleri ile gerçekleştirilmiştir. Bu yöntemler ile gerçeğe en yakın enerji talebi tahmin edilmeye çalışılmaktadır.

Geçmişten günümüze bilime ilham veren doğadaki canlılar, yeni gelişmelerin ortaya çıkmasında çok büyük rolleri vardır. Bilim insanları doğadaki canlıların hareketlerinden

esinlenerek birçok algoritma geliştirmişlerdir. Bu tarz algoritmalara sezgisel yöntemler de denilmektedir. Şekil 1'de gösterildiği gibi sezgisel yöntemler altı doğa esinli tabandan oluşmaktadır (Akyol ve Alataş, 2012). Bunlar: Biyoloji, fizik, sürü, sosyal, müzik ve kimya tabanlı yöntemlerdir. Genetik Algoritma (Golberg, 1989) ve Diferansiyel Evrim Algoritması (Storn ve Price, 1997), Yapay Alg Algoritması (Uymaz, 2015) biyoloji tabanlı; Yerçekimsel Arama Algoritması (Rashedi vd., 2009), Isıl İşlem Algoritması (Kirkpatrick vd., 1983) fizik tabanlı; Parçacık Sürü Optimizasyonu (Kennedy ve Eberhart, 1995), Karınca Koloni Optimizasyonu (Dorigo vd., 2006), Yarasa Algoritması (Yang, 2010) sürü tabanlı; Tabu Arama Algoritması (Glover ve Laguna, 1997) sosyal tabanlı; Armoni Arama Algoritması (Yang, 2009) müzik tabanlı ve Yapay Kimyasal Reaksiyon Algoritması (Alataş, 2011) kimya tabanlı algoritmalara örnek olarak gösterilebilir (Yılmaz, 2014).



Şekil 1.1. Sezgisel yöntemlerin sınıflandırılması.

Optimizasyon teknikleri ile ilgili literatürde birçok çalışma bulunmaktadır. Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde algoritmada yapılan bazı değişiklikler sonucunda algoritmanın daha başarılı sonuç elde ettiği görülmektedir. B. Akay ve Karaboga (2012) Yapay Arı Kolonisi (ABC) algoritmasına yeni bir parametre ekleyerek algoritmanın diğer parametreleri ile birlikte parametre ayarlaması yapmışlardır. Bu parametre değerlerindeki değişiklikler ile ABC'nin optimizasyon problemlerini etkin bir şekilde çözmek için uygun bir yöntem olduğu söylenmiştir. J. Chen vd. (2018) yaptıkları çalışmada yapay arı kolonisi algoritmasını kullanarak görüntü kontrastını geliştirme yaklaşımı önermişlerdir. Önerilen yaklaşımda, yeni bir görüntü kontrast ölçüsü ekleyerek yeni bir objektif görüntü kontrastı için amaç fonksiyonu geliştirmişlerdir. Önerdikleri yöntemin mevcut yaklaşımlardan daha hızlı ve verimli olduğunu söylemişlerdir. Ahmad vd. (2016) iş akış zamanlama optimizasyonu için yeni bir hibrit genetik algoritma önermişlerdir. Literatürdeki farklı yaklaşımlar ile hibrit genetik algoritmayı kıyaslamışlardır. Deney sonuçlarına göre önerdikleri algoritmanın program sürelerinin daha iyi olduğunu vurgulamışlardır. Yılmaz ve Küçüksille (2015b) optimizasyon problemlerini çözmek için yarasa algoritmasını geliştirmişlerdir. Geliştirilmiş olan yarasa algoritmasının performansını analiz etmek için standart test fonksiyonlarını ve gerçek dünya problemlerini kullanmışlardır. Literatürdeki benzer gerçek

dünya problemleri ile kıyaslandıklarında önerdikleri yöntemin literatürdeki benzer çalışmalardan daha etkili olduğunu söylemişlerdir. Önerilen yöntem ile elde edilmiş olan sonuçların daha iyi olduğunu vurgulamışlardır. Heidari ve Pahlavani (2017) optimizasyon problemleri için levy uçuşu ile modifiye edilmiş olan gri kurt algoritmasını gerçek dünya problemlerine uygulamışlar ve literatürde yer alan diğer sezgisel algoritmalara göre daha iyi performans sergilediğini söylemişlerdir. Pan vd. (2018) sürü zekasına dayalı olan ateş böceği algoritmasını modifiye ederek yeni ve verimli ateş böceği algoritmasını önermişlerdir. Önermiş oldukları yöntemin performansını analiz etmek için bazı sayısal test fonksiyonlarını kullanmışlardır. Deney sonuçlarına göre önerdikleri yöntemin orijinal ateş böceği algoritmasına göre daha üstün olduğunu göstermişlerdir. Kaur vd. (2018) güve alev optimizasyonu algoritmasını geliştirerek yeni bir algoritma önermişlerdir. Önerilen algoritmanın uygulanabilirliğini doğrulamak için bazı sayısal test fonksiyonlarına uygulamışlardır. Önerdikleri yöntemi bazı meta-sezgisel algoritmalarla kıyaslamışlardır. Deneysel analiz sonuçlarına göre önerdikleri algoritmanın diğer algoritmalara göre yakınsama oranı ve çözüm kalitesi açısından daha üstün performans sergilediğini belirtmişlerdir. Alavidoost vd. (2017) genetik algoritmanın parametre kontrolü ve kalibrasyonunu yaparak taguchi tasarım deneyleri yapmışlardır. Elde edilen sonuçları mevcut yöntemler ile karşılaştırması sonucunda yapılan iyileştirmelerin algoritmanın performansında etkili olduğunu söylemişlerdir. Kıran ve Fındık (2015) tarafından yapay arı kolonisi algoritmasına (ABC) yeni bir (MR) parametresi ekleyerek orijinal ABC sonuçları ile ABC_{MR} sonuçlarını kıyaslamışlardır. Deneysel sonuçlar, algoritma üzerinde yapılan bu değişikliğin çok etkili olduğu ve global optimum yakınsama bakımından başarılı olduğunu göstermiştir. Babalık vd. (2018) tarafından ayrık hale getirilen ağaç tohum algoritması (TSA) üzerinde parametre ayarlaması yapılmış ve sayısal test fonksiyonlarına uygulanmıştır. Elde ettikleri sonuçları parçacık sürü optimizasyonu (PSO), yapay arı kolonisi algoritması (ABC), genetik algoritma (GA) ve diferansiyel evrim algoritması (DE) sonuçları ile kıyaslayarak önerdikleri yöntemin sonuçlarının daha iyi olduğunu söylemişlerdir.

Literatürde yer alan optimizasyon problemleri ile ilgili çalışmalar incelendiğinde meta-sezgisel algoritmalar için birçok çalışma bulunmaktadır. Bu algoritmalar orijinal halleriyle gerçek dünya problemlerine uygulandığında her zaman literatürde bulunan algoritmalara göre en iyi çözümü veremeyebilirler. Araştırmacılar, problemler üzerinde daha iyi çözüm elde etmek için algoritma üzerinde bazı değişiklikler yapmaktadırlar. Yapılan değişiklikler ile birlikte algoritmaların daha iyi bir performans sergilemesi durumunda problemin çözümü optimum olacak veya optimum sonuca yaklaşacaktır.

Bu tez çalışmasında ise, meta-sezgisel yöntemlerden biri olan TSA'nın modifiye edilmesi sonucunda oluşan MTSA ile ilk olarak sayısal test fonksiyonlarına uygulanmış olup elde edilen sonuçlar orijinal TSA sonuçları ile karşılaştırılmış ve bu sonuçların istatistiksel olarak analizleri yapılmıştır. Ayrıca literatürde yer alan Yapay Arı Kolonisi (ABC) (Karaboğa ve Baştürk 2007), Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO) (Kennedy ve Eberhart, 1995), Yerçekimsel Arama Algoritması (GSA) (Rashedi vd., 2009), Salp Sürüsü Algoritması (SSA) (Mirjalili vd., 2017), Çekirge Optimizasyonu Algoritması (GOA) (Saremi vd., 2017), Çoklu Dize Optimizasyonu (MVO) (Mirjalili vd., 2016) ve Ağaç Tohum Algoritması (TSA) algoritmaları da sayısal test fonksiyonlarında çalıştırılmış ve MTSA'nın sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Bunların yansısı önerilen yöntem olan MTSA'nın gerçek dünya problemlerinden biri olan enerji talebini optimum bir şekilde tahmin etmesi hedeflenmiştir.

Bu tez çalışması beş bölümden oluşmaktadır.

Birinci bölümde enerji talep tahmini ve optimizasyon hakkında genel bilgilere yer verilerek birlikte enerjinin önemi, optimizasyon tekniklerinin önemi ve enerji talep tahmin problemleri ile ilişkisi anlatılmış ve optimizasyonun uygulama alanlarından da kısaca bahsedilmiştir.

İkinci bölümde enerji talep tahmini problemi ve tez çalışmasında kullanılan Ağaç Tohum Algoritması (TSA) ile ilgili literatür araştırması yapılarak literatürde yer alan mevcut çalışmalar ve yapılan iyileştirme yöntemleri kısaca açıklanmıştır.

Üçüncü bölümde enerji talep tahmin problemi, sayısal test fonksiyonları, ağaç tohum algoritması (TSA) ve modifiye ağaç tohum algoritması (MTSA) hakkında bilgilendirmeler yapılmıştır.

Dördüncü bölümde orijinal TSA algoritması ile önerilen MTSA algoritması sayısal test fonksiyonlarına uygulanmış ve elde edilen sonuçlar kıyaslanarak algoritmaların performans analizleri istatistiksel olarak test edilmiştir. Aynı zamanda sonuçların yakınsama ve kutu grafikleri şekillerde sunulmuştur. Bunların yanı sıra, orijinal TSA algoritması ile önerilen MTSA algoritması gerçek dünya problemi olan enerji talep tahminine uygulanarak Türkiye'nin gelecek zaman enerji talebinin tahmini yapılmıştır.

Son bölümde ise çalışmalardan elde edilen sonuçların genel analizi yapılarak gelecek çalışmalar için önerilere yer verilmiştir.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Literatür araştırmasında ilk olarak çalışmanın konusu doğrultusunda yer alan ve aynı zamanda meta-sezgisel algoritmalarından biri olan Ağaç Tohum Algoritması (TSA)'nın uygulama alanları incelenmiştir. Bununla birlikte optimizasyon problemlerinden biri olan enerji talep tahmini ile ilgili literatürde yer alan çalışmalar incelenerek bu problem için kullanılmış olan yöntemlerden incelenmiştir.

2.1. Ağaç Tohum Algoritması ile İlgili Çalışmalar

Kıran tarafından 2015 yılında popülasyon tabanlı yeni bir algoritma olarak önerilen TSA, sürekli optimizasyon problemlerini çözmek için kullanılmıştır (Kıran, 2015). Literatür incelendiğinde TSA ile ilgili birçok çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalardan bazıları şu şekildedir:

Kıran (2016) kısıtlı optimizasyon probleminden biri olan basınçlı kap tasarımı-PVD probleminin çözümü için TSA algoritmasını kullanmıştır. Elde etmiş olduğu deneysel sonuçları ABC algoritması ve PSO algoritması ile karşılaştırmıştır. Önermiş olduğu yöntemin çözüm kalitesi ve sağlamlığına dayanarak umut verici ve aynı zamanda karşılaştırılabilir sonuçlar elde edildiğini söylemiştir.

Çınar ve Kıran (2016) TSA'nın işlem süresini ölçmek için TSA'nın seri ve paralel versiyonu sunmuşlardır. Önerdikleri yöntemin performansını analiz etmek için literatürde iyi bilinen sayısal test fonksiyonlarını kullanmışlardır. Yapılmış olan deneylerde farklı boyutlarda popülasyonlar göz önünde bulundurulmuşlardır ve aynı zamanda problemlerin boyutunu ise 10 olarak sabitlemişlerdir. Bu koşullar altında çalışmanın 30 kez çalıştığını vurgulamışlardır. Elde edilmiş olan sonuçları çalışma süresi bakımından birbirleriyle karşılaştırmışlardır. Deneysel analiz sonuçlarına göre paralel TSA'nın, seri TSA versiyonundan 150 kat kadar daha hızlı olduğu kanısına varmışlardır.

Muneeswaran ve Rajasekaran (2016) radyal temel fonksiyon sinir ağı (RBFN)'nin davranışlarını iyileştirmek için TSA algoritmasını kullanmışlardır. Önermiş oldukları yöntem ile PSO tabanlı radyal temel fonksiyon sinir ağı ile karşılaştırdıklarında önerilen yöntemin daha iyi fitness değerine sahip olduğunu ve mevcut çalışmanın görüntü ve sinyal işleme gibi problemlerde kullanılabileceğini söylemişlerdir.

Çınar ve Kıran (2017) sınır koşul mekanizmalarının TSA performansına etkilerini beş sayısal test fonksiyonları üzerinde incelemişlerdir. Elde edilmiş olan ortalama sonuçlar arasında bir miktar farklılık olduğu fakat işaretli sıra testine göre bu farklılıkların TSA'daki rastlantısallıktan kaynaklandığını ve TSA için sınır koşulları arasında önemli bir fark bulunmadığını tespit etmişlerdir. Sonuç olarak TSA sayısal test fonksiyonlarını optimize etmek için sınır koşulu mekanizmasına göre sağlam olduğunu belirtmişlerdir.

Kıran (2017) çok modlu sayısal test fonksiyonlarında TSA'nın daha iyi bir performans sergilemesi için TSA'nın orijinal versiyonuna soldurma işlemi (WP) olarak adlandırılmış olan yeni bir kontrol parametresi eklemiştir. Önerilmiş olan yöntemin TSA üzerine etkilerini araştırmak için 13 çok modlu test fonksiyonu kullanılmıştır. Deneysel sonuçlar TSA'nın önerilmiş olan yeni versiyonunun çoğu durumda standart sapmalara dayanan çözüm kalitesi ve dayanıklı olması bakımından TSA'nın orijinal versiyonuna göre daha iyi olduğunu aynı zamanda TSA'nın soldurma işlemi probleminin çözümünde sağlam bir iyileştirici olduğunu belirtmiştir.

Çınar vd. (2018) ikili optimizasyon problemlerini çözmek için yeni bir yöntem sunmuşlardır. İkili optimizasyon problemi TSA kullanılarak XOR mantık operatörü ile çözülmüştür. Önerilmiş olan yöntem ikili PSO algoritması ile farklı özelliklere sahip beş farklı sayısal test fonksiyonu ile karşılaştırmışlar ve aynı zamanda tablolarda yakınsama grafiklerini sunmuşlardır. Yakınsama grafiklerine göre önerilmiş olan yöntemin bazı test fonksiyonunda ikili PSO algoritmasında daha iyi sonuçlar elde ettiğini söylemişlerdir. Elde edilmiş olan deneysel sonuçlara göre önerilen yöntemin büyük ölçekli ikili optimizasyon problemlerini çözmek için uygulanabileceğini söylemişlerdir.

Babalık vd. (2018) modifiye edilmiş olan TSA ile kısıtlı optimizasyon problemlerini çözmek için Deb'in kurallarını kullanmışlardır. Geliştirilmiş olan TSA'nın performans analizini test etmek için test fonksiyonları ve mühendislik tasarım optimizasyon problemlerine uygulamışlardır. Modifiye edilmiş TSA ile elde edilmiş olan sonuçlar standart test fonksiyonlarında PSO, ABC, GA ve DE algoritması sonuçları ile karşılaştırmışlardır. Ayrıca mühendislik tasarım optimizasyonu problemleri önerilmiş olan yöntem ile kıyaslanmıştır. Yapılmış olan deneysel analiz ve sonuçlara göre önerilen yöntemin çözüm kalitesi ve sağlamlık açısından kısıtlı optimizasyon problemleri için umut verici olduğunu vurgulamışlardır.

F. Chen vd. (2018) ağ saldırı tespit modelinde TSA algoritması kullanılmak üzere özellik seçim yöntemi önermişlerdir. Deneysel sonuçlara göre önerilmiş olan yöntemin saldırı tespitinde uygun özellik seçebildiğini belirtmişlerdir.

El-Fergany ve Hasanien (2018) optimum güç akış (OPF) problemi çözmek için TSA algoritmasının yeni bir uygulamasını sunmuşlardır. TSA tabanlı OPF problemi ve diğer evrimsel algoritmalara dayalı OPF problemlerinin sonuçları arasındaki detaylı karşılaştırmalara göre önerilen yöntemin geçerliliğini, sağlamlığını ve etkinliğini doğruladığı vurgulanmış olup önerilmiş olan yöntemin diğer optimizasyon problemlerine uygulandığında daha etkili olacağını düşündüklerini söylemişlerdir.

Aslan vd. (2018) orijinal TSA'nın konum güncelleme denklemine yeni bir operatör ekleyerek orijinal TSA'yı geliştirdiklerini söylemişlerdir. Orijinal TSA ile geliştirilmiş olan TSA literatürde iyi bilinen test fonksiyonları üzerinde test edilmiş ve aynı zamanda tablolarda yakınsama grafiklerine yer verilmiştir. Deneysel analiz sonuçlarına göre geliştirilmiş olan TSA'nın büyük ölçekli problemler için orijinal TSA versiyonuna göre oldukça başarılı sonuçlar elde ettiğini belirtmişlerdir.

Çınar ve Kıran (2018) TSA kullanılarak ikili optimizasyon problemlerini çözmek için hibrit model geliştirmişlerdir. Önerilmiş olan algoritmaların performansını ikili optimizasyon problemlerinden biri olan kapasiteli olmayan tesis yeri problemi (UFLP) üzerinde araştırmışlardır. Yapılmış olan deneysel analiz sonuçlarına göre önerilen yöntemin ikili optimizasyon problemlerini çözmek için rekabetçi bir ikili optimizasyon algoritması olduğunu söylemişlerdir.

Muneeswaran ve Rajasekaran (2019) çalışmalarında kontrast sınırlı adaptif histogram eşitlemede yerel kontrast parametresini optimize ederek geliştirmek için TSA algoritmasını sunmuşlardır. TSA kullanılarak geliştirilmiş olan yöntemin literatürde bulunan diğer kontrast geliştirme yöntemlerine göre görüntülerin çok iyi bir şekilde iyileştirdiklerini vurgulamışlardır.

2.2. Enerji Talep Tahmini ile İlgili Çalışmalar

Literatürde yapay sinir ağları, meta-sezgisel algoritmalar, hibrit meta-sezgisel algoritmalar ve regresyon yöntemleri kullanılarak enerji talep tahmini üzerine yapılan birçok çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalardan bazılarında aşağıda yer verilmiştir.

Bakırtaş vd. (2000) tek değişkenli ARMA metodu ile elektrik tüketimini modelleyerek 1997-2010 yılları için elektrik tüketiminin tahmini yapılmış ve sonuçları tablolarda sunulmuştur.

Sarak ve Satman (2003) Türkiye'nin konut ısıtma için derece-gün yöntemi ile doğalgaz tüketimini tahmin etmişlerdir. Elde edilmiş olan sonuçları gerçek veriler ile kıyaslayarak önerilen yöntemin başarısının doğrulandığını belirtmişlerdir.

Halim Ceylan ve Öztürk (2004) Türkiye'nin 1970 ile 2001 yılları arasındaki enerji taleplerini nüfus, gayri safi yurtiçi hasıla (GSYH), ihracat ve ithalat verilerine dayanarak modellemişlerdir. Enerji talep tahmini ise genetik algoritma (GA) yaklaşımı kullanılarak yapılmıştır. Karşılaştırma sonuçlarına göre önerilmiş olan yöntemin gelecekteki enerji talebinin trendlerini tahmin etmek için kullanılabilir ve mevcut verilere uygun bir alternatif model olduğunu söylemişlerdir.

Öztürk vd. (2004a) Türkiye'de konut-ticari enerji girdi değerlerini tahmin etmek için genetik algoritma (GA) önermişlerdir. GA'nın, Türkiye'nin ve diğer ülkelerin gelecekteki enerji değerlerini tahmin etmek için alternatif bir çözüm algoritması olarak kullanılabileceği sonucuna varmışlardır.

Aras ve Aras (2004) birinci dereceden otoregresif zaman serseri modeli ile doğalgaz talebini tahmin etmişlerdir. Elde edilmiş olan sonuçlar mevcut sonuçlar ile karşılaştırılmış ve önerilen yöntemin tahmin hatalarının önemli ölçüde azalttığını söylemişlerdir.

Yumurtacı ve Asmaz (2004) lineer regresyon metodunu kullanarak 1950-2050 yılları için nüfus artışı ve kişi başına enerji tüketimi artış oranlarını esas alınarak Türkiye'nin elektrik enerjisi talep tahminini gerçekleştirmişlerdir.

Görücü (2004a) yapay sinir ağı modeli ile Ankara'nın gaz tüketimini tahmin etmişlerdir. Yaptıkları analiz sonuçları belirtmişlerdir.

Görücü (2004b) çoklu regresyon yöntemi ile 2002-2005 yılları için Ankara'nın gaz tüketimini tahmin etmişlerdir. Elde edilmiş olan sonuçlar tablolarda sunulmuş ve önerilen yöntemin başarılı olduğu belirtilmiştir.

Öztürk vd. (2004b) genetik algoritma yaklaşımını kullanarak 2000-2020 yılları arasındaki petrol ekserji üretimi ve tüketimini tahmin etmişlerdir. Tahmin yöntemi için lineer, karesel ve üstel olmak üzere üç farklı form oluşturmuşlardır. Elde edilmiş olan çalışma sonuçlarına göre gelecekteki petrol ekserji üretimi ve tüketimi çalışmaları için önerilen yöntemin olası bir araç olarak uygulanması durumunda yeni bir yön vereceğini söylemişlerdir.

Ersel Canyon vd. (2004) Türkiye'nin gayri safi yurtiçi hasıla (GSYH), nüfus, ithalat ve ihracat verilerine dayalı gelecekteki enerji talebini genetik algoritma (GA) metodu önermişlerdir. Karesel ve üstel olmak üzere iki farklı form oluşturmuşlardır. Önermiş oldukları yöntemin mevcut tahmin tekniklerine alternatif bir çözüm ve tahmin tekniği olarak kullanılabileceğini söylemişlerdir.

Öztürk vd. (2005) Türkiye'nin endüstriyel ve toplamda kullanılacak elektrik enerjisi tahmini için genetik algoritma (GA) önermişlerdir. Karesel ve üstel olmak üzere iki farklı form oluşturulmuş ve 2002-2025 yılları arasındaki elektrik enerji tüketimini tahmin etmişlerdir. Karşılaştırma sonuçlarına göre önerilen yöntemin elektrik enerjisi tüketimini tahmin etmek için başarılı olduğunu görmüşlerdir.

Adnan Sözen vd. (2005) Türkiye'nin net enerji tüketim tahminini yapay sinir ağı tekniği kullanarak modellemişlerdir. Sonuç olarak, YSA tekniği enerji kaynakları için mevcut verileri kullanarak gelecekteki enerji tüketim eğilimlerini tahmin etmek için kullanılabilir olduğunu belirtmişlerdir.

Haldenbilen ve Ceylan (2005) Türkiye'deki ulaştırma enerji talebinin tahmini için genetik algoritma (GA) yaklaşımını önermişlerdir. Yapılmış olan çalışmada GA metoduna dayanan gelecekteki ulaştırma enerji talebini tahmin verimliliğini arttırma amacıyla lineer, karesel ve üstel olmak üzere üç farklı enerji talep formu geliştirmişlerdir. Sonuç olarak üstel formun ulaştırma enerji talebi için alternatif bir çözüm ve tahmin tekniği kullanılabileceğini söylemişlerdir.

Halim Ceylan vd. (2005) Türkiye'nin toplam enerji ve ekserji üretim ve tüketiminin tahmini için genetik algoritma (GA) metodu ile 1990-2000 yılları arasındaki verileri kullanarak lineer, karesel ve üstel olmak üzere üç farklı form geliştirmişlerdir. Elde edilmiş olan tahmin sonuçlarının analizine göre Türkiye'nin toplan enerji ve ekserji üretim ve tüketiminin gelecekteki tahmini kullanılabilir olduğunu aynı zamanda mevcut yöntemlere alternatif bir çözüm olarak kullanılabileceğini vurgulamışlardır.

Murat ve Ceylan (2006) ulaşım enerji talebini tahmin edebilmek için yapay sinir ağı modeli geliştirmişlerdir. Elde edilmiş olan sonuçların analizine göre YSA tekniği, enerji kaynakları için mevcut verileri kullanarak gelecekteki enerji tüketim eğilimlerini tahmin etmek için kullanılabilir olduğunu söylemişlerdir.

Canyurt ve Öztürk (2006) genetik algoritma (GA) yöntemi ile petrol talebinin tahminini gerçekleştirmek için ilk olarak Türkiye'nin petrol talepleri nüfus, gayri safi milli hasıla (GSMH), ithalat, ihracat, petrol ithalatı, otomobil satışları, kamyon satışları, otobüs satışları ve petrol üretimi verilerini incelemişler ve üç farklı senaryo kullanmışlardır. Önerilen yöntemin başarılı bir tahmin aracı olduğunu vurgulayarak elde edilmiş olan sonuçlar tablolarda sunulmuştur.

Özçelik ve Hepbaşı (2006) Türkiye'de petrol ekserji üretimi ve tüketimin değerlerini benzetilmiş tavlama (SAA) metodunu kullanarak tahmin etmişlerdir. Önerilen yöntemin

Türkiye'nin gelecekteki petrol ekserji değerlerini tahmin edebilmek için alternatif bir çözüm algoritması olarak kullanılabileceğini söylemişlerdir.

Toksarı (2007) Türkiye'deki enerji talebinin tahmin edilmesi için karınca kolonisi optimizasyonu (ACO) yöntemini önermiştir. ACO yöntemi ile enerji talep tahmini modeli için 1970 ve 2005 yılları arasındaki gayri safi yurtiçi hasıla (GSYH), nüfus, ithalat ve ihracat verilerini kullanmıştır. Ekonomik göstergelere dayalı enerji talep tahmini, lineer ve karesel formlar kullanılarak modellenmiştir. Sonuç olarak, önerilmiş olan yöntemin başarılı bir enerji tahmin aracı olduğunu belirtmiştir.

Canyurt ve Öztürk (2007) genetik algoritma (GA) tekniği ile Türkiye'de fosil yakıtların talebini tahmin etmişlerdir. Önerilen modellerin, herhangi bir ülkenin gelecekteki fosil yakıt kullanım değerleri için alternatif bir çözüm ve tahmin teknikleri olarak kullanılabileceği sonucuna varmışlardır.

Erdoğan (2007) çalışmasında ilk olarak Türkiye'nin elektrik talebini hem kısa hem de uzun dönem fiyat ve gelir esnekliklerinin tahminini gerçekleştirmiştir. Buna ek olarak gelecekteki net elektrik tüketiminin tahmini için otoregresif hareketli ortalamalar (ARIMA) yöntemini geliştirmiştir.

Ediger ve Akar (2007) yapmış oldukları çalışmada 2005'ten 2020'ye kadar Türkiye'nin gelecekteki birincil enerji talebini tahmin etmek için otoregresif hareketli ortalamalar (ARIMA) metodunu önermişlerdir ve önerilmiş olan yöntemin daha güvenilir olduğunu belirtmişlerdir.

Hamzaçebi (2007) Türkiye'nin net elektrik enerjisi tüketimini sektörlere göre yani sanayi, konut, tarım ve taşımacılık alanlarında yapay sinir ağı metodunu kullanarak 2020 yılına kadar tahmin etmiştir. Yapmış olduğu karşılaştırma sonuçlarına göre önermiş olduğu yöntemin daha iyi sonuçlar verdiğini belirtmiştir.

Adnan Sözen ve Arcaklıoğlu (2007) Türkiye'deki temel enerji kaynaklarının gelecek öngörülerine yönelik beklentileri yapay sinir ağı (YSA) metodunu kullanarak gerçekleştirmiştir. Analiz sonuçlarına göre, önerilen metodun gelecekteki öngörüler için kabul edilebilir hatalar içerisinde olduğu ve açıkça tahmin ettiğini söylemişlerdir.

D. Akay ve Atak (2007) Türkiye'nin toplam ve endüstriyel elektrik enerjisi tahmini için gri tahmin metodunu önermişlerdir. Yapılmış olan analiz sonuçlarına göre önerilmiş olan yöntemin daha doğru sonuçlar tahmin ettiği ve mevcut çalışmalara göre belirgin avantajlara sahip olduğunu gösterdiğini söylemişlerdir.

Ünler (2008) Türkiye'nin enerji talep tahmini için parçacık sürü optimizasyonu (PSO) önermiştir. Temel enerji göstergeleri olarak 1979-2005 yıllarındaki gayri safi yurtiçi hasıla (GSYH), nüfus, ithalat ve ihracat verilerini kullanmıştır. Algoritmanın doğruluğunu test etmek için aynı problem için geliştirilmiş olan karınca kolonisi optimizasyonu (ACO) enerji talep tahmini modeli ile kıyaslanmış ve önerilen yöntemin başarılı olduğunu aynı zamanda çoklu regresyon modelleri kullanan diğer problemler için de kullanılabilir olduğunu belirtmiştir.

Hüseyin Ceylan vd. (2008) meta-sezgisel algoritmalarından biri olan harmoni arama algoritmasını kullanarak ulaştırma enerji talebini tahmin etmek için yeni bir yöntem önermişlerdir. Analiz sonuçlarına göre önerilmiş olan yöntemin alternatif bir çözüm ve tahmin tekniği olarak kullanılabileceğini belirtmişlerdir.

D. M. Toksarı (2009) Türkiye'nin net elektrik enerjisi talep tahminini 1979-2006 yıllarındaki gayri safi yurtiçi hasıla (GSYH), nüfus, ithalat ve ihracat verilerine dayanarak ve karınca kolonisi optimizasyonu (ACO) metodunu kullanarak hem lineer hem de karesel form kullanarak modellemiştir.

Mucuk ve Uysal (2009) Türkiye'nin 2007-2015 yıllarındaki birincil enerji talebinin tahmini için otoregresif hareketli ortalamalar (ARIMA) metodunu önermişlerdir. Çalışmada Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından sağlanan 1970-2006 dönemindeki yıllık verileri kullanılmış ve sonuçları tablolarda sunulmuştur.

Kavaklıoğlu vd. (2009) Türkiye'nin elektrik enerjisini modellemek ve tahmin etmek için yapay sinir ağlarını önermişlerdir. Ekonomik göstergeler ve nüfus sayısı ile bir matematiksel model oluşturmuşlardır. Yapılmış olan analiz sonuçlarına göre elektrik tüketiminin Yapay Sinir Ağları kullanılarak modellenebileceğini ve modellerin gelecekteki elektrik tüketimini tahmin etmek için kullanılabileceğini belirtmişlerdir.

Küçükali ve Barış (2010) bulanık mantık yöntemini Türkiye'nin kısa vadeli brüt elektrik enerjisi talebini tahmin etmek için kullanmışlardır. Önerilmiş olan yöntemin iyi tahminler yaptığını söylemişlerdir.

Yiğit (2011) genetik algoritma (GA) metodunu kullanarak elektrik enerjisi talep tüketiminin tahminini gerçekleştirmiştir. Karesel ve lineer olmak üzere iki farklı form oluşturulmuş aynı zamanda 2020 yılına kadar Türkiye'nin net elektrik enerjisi tüketimini tahmin etmiştir. Önerilmiş olan yöntemin literatürdeki diğer metotlar ile karşılaştığında daha güvenilir ve tatmin edici bir yöntem olduğunu söylemiştir.

Kankal vd. (2011) Türkiye'nin enerji tüketimi tahmin yapay sinir ağı metodunu önermişlerdir. Önerilen yöntemin tahmin sonuçlarına tablolarda yer verilerek önerilen yöntemin Türkiye'nin enerji tüketimi tahmini için uygun bir yöntem olduğu belirtilmiştir.

Dilaver ve Hunt (2011a) yapısal zaman serisi modeli ile Türkiye'nin endüstriyel elektrik enerjisi talep tahminini gerçekleştirmişlerdir. Türk sanayi elektrik tüketimi, sanayi katma değeri ve elektrik fiyatları arasındaki bağlantı incelenmiş ve endüstriyel elektrik talep fonksiyonunu, yapısal zaman serisi yöntemi ile 1960-2008 dönemi arasındaki yıllık verilere uygulayarak tahmin etmişlerdir.

Dilaver ve Hunt (2011b) 1960-2008 yıllarına ait verileri yapısal zaman serisi modeline uygulayarak Türkiye'nin konut elektrik talebinin modellenmesi ve 2009-2020 yılına kadar elektrik talebinin tahmin edilmesini gerçekleştirmişlerdir.

Kıran vd. (2012a) Türkiye'nin elektrik enerjisi talebini tahmin etmek için yeni bir hibrit yöntem önermişlerdir. Önerilen yöntemin parçacık sürü optimizasyonu (PSO) ve karınca kolonisi optimizasyonu (ACO) iki meta-sezgisel tekniği birleştiren ilk model olduğunu belirtmişlerdir. Önerilmiş olan yöntem ile 1979-2005 yıllarındaki gayri safi yurtiçi hasıla (GSYH), nüfus, ithalat ve ihracat verilerini kullanarak 2006 ile 2025 yılları arasındaki enerji talebini tahmin etmişlerdir. Sonuç olarak, önerilen yöntemin başarılı bir şekilde enerji talep tahmininde bulunduğu söylemişlerdir.

Kıran vd. (2012b) Türkiye'deki elektrik enerjisi talebini tahmin etmek için yapay arı kolonisi (ABC) ve parçacık sürü optimizasyonu (PSO) teknikleri ile yeni bir yöntem geliştirmişlerdir. Önerilen modellerin uygulanabilirliğini ve doğruluğunu göstermek amacıyla aynı problem için literatürde yer alan karınca kolonisi optimizasyonu (ACO) ile karşılaştırma yapmışlardır. Elde edilen sonuçlara göre, önerilen yöntemin hata oranları ACO'dan daha düşük olup daha uygun çözümler sunduğunu söylemişlerdir.

Bayrak ve Esen (2014) Türkiye'nin enerji talep tahmini için yapay sinir ağı modelini önermişlerdir. 2012-2020 yıllarındaki enerji talep tahmini için 1960-2011 verilerini kullanmışlardır. Elde edilen tahmin sonuçlarını ETKB'nin resmi tahmin sonuçları ile kıyasladıklarında aralarında oldukça fark olduğunu belirterek önerilen yöntemin enerji talep tahmini için başarılı sonuçlar elde ettiğini söylemişlerdir.

Uğuz vd. (2015) Türkiye'nin uzun dönem enerji talebini belirleyebilmek için ABCVSS yöntemine dayalı talep tahmin algoritması önermişlerdir. Talep tahmini için lineer ve karesel

denklemler kullanılmış, denklemlerin katsayılarını önerdikleri yöntem ile belirlemişlerdir. Aynı zamanda ABC algoritmasının yerel ve global arama yeteneğini geliştirdiklerini belirtmişlerdir. Önerilen yöntemde girdi parametreleri olarak 1979-2005 yılları arasındaki GDP, nüfus, ithalat, ihracat verileri seçilerek üç farklı senaryo yardımı ile uzun dönem enerji talebi tahmin edilmiş ve literatürde aynı problem üzerine uygulanmış olan PSO, ACO, HAPE algoritmaları ile performansını karşılaştırılmışlardır. Önerilen yöntemin diğer yöntemlere göre istatistiksel olarak daha başarılı olduğunu vurgulamışlardır.

Bulut ve Yıldız (2016) sırt regresyonu (RR) ve en küçük kareler regresyonu (PLSR) yöntemlerini kullanarak enerji talebini tahmin etmişlerdir. Türkiye'nin enerji talebini tahmin edebilmek için 1979-2011 yılları arasındaki gayri safi yurtiçi hasıla (GSYH), nüfus, ithalat ve ihracat verilerini kullanmışlardır. Yöntemlerin geçerliliğini 2006-2011 yılları arasındaki verileri kullanarak test etmişlerdir. Sonuç olarak RR ve PLSR yöntemlerini klasik yöntemlere alternatif olarak kullanmalarını önermişlerdir.

M. Beşkirli vd. (2017) diferansiyel evrim algoritması (DEA) yöntemini kullanarak Türkiye'nin uzun dönem enerji talebini tahmin etmişlerdir. Lineer ve karesel modellerin katsayıları 1979-2011 yılları arasındaki 33 yıllık verileri yani gayri safi yurtiçi hasıla (GSYH), nüfus, ithalat ve ihracat verilerini kullanarak 2012-2031 yılları arasındaki enerji talebini tahmin etmişlerdir. Çalışmada kullanılmış olan yöntemleri ortalama mutlak bağıl hatalarına göre değerlendirdiklerinde hem lineer hem de karesel model için önermiş oldukları yöntemin en düşük bağıl hataya sahip olduğunu yani önerilen yöntemin başarılı bir enerji talep tahmin aracı olduğu kanıtladıklarını söylemişlerdir.

Tefek vd. (2017) hibrit yerçekimi arama ve öğretim öğrenme tabanlı optimizasyon algoritmasını tasarlamışlar ve Türkiye'nin 2015-2030 yılları arası birincil enerji talep tahminini gerçekleştirmişlerdir. Literatürde bulunan diğer çalışmalardan farklı olarak sosyoekonomik göstergeler olan nüfus, gayri safi yurt içi hasıla ve elektriksel göstergeler olan kurulu güç, elektrik üretimi ve elektrik net tüketim verilerini kullanmışlardır. Tasarladıkları hibrit yöntemi lineer, karesel ve üstel modelleri 1980-2010 yılları arası verilerle eğitmişler ve 2011-2014 yılları arası verilerle test etmişlerdir. Çalışma sonuçları için istatistiksel yöntemler olan MAPE ve RMSE değerleri baz alınmış ve diğer çalışmalar ile kıyaslanmıştır. Önerilen yöntemle, enerji ithalatındaki strateji düzenlenebilir ve böylece daha gerçekçi enerji politikaları oluşturulabilir sonucuna varmışlardır.

Çayır Ervural ve Ervural (2018) Türkiye'nin enerji talep tahminini genetik algoritma tabanlı gri tahmin metodu (GAGM) ile parçacık sürü optimizasyon tabanlı gri tahmin metodunu (PSOGM) kullanarak gerçekleştirmişlerdir. Önerilen yaklaşımın daha doğru tahminlerde bulunduğunu söylemişlerdir.

Koç vd. (2018) enerji talebini tahmin etmek için yerçekimsel arama algoritması (GSA) ve yabancı ot algoritması (IWO) yöntemini önermişlerdir. 1979-2005 yılları arasındaki verileri kullanarak enerji talep tahminini gerçekleştirmişler ve önerilen yöntemi literatürde yer alan diğer yöntemler ile kıyasladıklarında IWO metodunun en başarılı yöntem olduğunu, 1979-2011 yılları arasındaki verileri kullanılarak gerçekleştirilen enerji talep tahmininde ise GSA metodu IWO ile karşılaştırılmış ve sonuç olarak IWO metodunun daha iyi bir performans elde ettiğini söylemişlerdir.

A. Beşkirli vd. (2018) 2006-2025 yılları arasındaki Türkiye'nin uzun dönem birincil enerji talep tahminini yapay alg algoritması (AAA) metodu kullanarak gerçekleştirmişlerdir. Gayri safi yurtiçi hasıla (GSYH), nüfus, ithalat ve ihracat verileri dahil olmak üzere 1979 ve 2005 yılları arasındaki 27 yıllık verileri kullanarak enerji talebini tahmin etmişlerdir. Bu yöntem için lineer ve üstel formların katsayılarını kullanmışlardır. Önermiş oldukları yöntemin geçerliliğini test etmek için 2006-2014 yılları arasındaki gözlenen enerji talep değerlerini kullanmışlardır. Çalışmada yer alan tüm yöntemlerin ortalama mutlak bağıl hatalarını değerlendirdiklerinde lineer form için en düşük hatayı önermiş oldukları yöntem ile elde ettiklerini yani önerilmiş olan yöntemin başarılı bir şekilde enerji talep tahmininde bulunduğunu vurgulamışlardır.

Korkmaz ve Akgüngör (2018) Türkiye'de ulaşım enerjisi talep tahmini için çiçek tozlaşması algoritmasını önermişlerdir. Literatürdeki mevcut enerji talep tahmini problemi ile kıyasladıklarında önerdikleri yöntemin daha iyi performans gösterdiğini söylemişlerdir.

Çizelge 2.1. Türkiye'de yapılan enerji talep tahmini ile ilgili çalışmalar.

Kullanılan Yöntem	Yazarlar	Tahmin Türü
Tek Değişkenli ARMA	Bakırtaş vd. (2000)	Elektrik Tüketimi
Derece-Gün Modeli	Sarak ve Satman (2003)	Doğalgaz Talebi
Sırt Regresyonu (RR) ve En Küçük Kareler Regresyonu	Bulut ve Yıldız (2016)	Enerji Talebi
Lineer Regresyon	Yumurtacı ve Asmaz (2004)	Elektrik Talebi

Çizelge 2.1. (devam) Türkiye’de yapılan enerji talep tahmini ile ilgili çalışmalar.

Çoklu Regresyon	Görücü (2004b)	Gaz Tüketimi
	Canyurt ve Öztürk (2006)	Enerji Talebi
	Halim Ceylan ve Öztürk (2004)	Enerji Talebi
	Öztürk vd. (2005)	Enerji Talebi
	Halim Ceylan vd. (2005)	Enerji ve Ekserji Tüketimi
Genetik Algoritma (GA)	Haldenbilen ve Ceylan (2005)	Ulaştırma Enerji Talebi
	Canyurt ve Öztürk (2006)	Petrol Talebi
	Yiğit (2011)	Elektrik Talebi
	Öztürk vd. (2004b)	Petrol Ekserji Tüketimi
	Canyurt ve Öztürk (2007)	Fosil Yakıt Talebi
	Öztürk vd. (2004a)	Konut-Ticari Enerji Talebi
	Görücü (2004a)	Gaz Tüketimi
	Sözen ve Arcaklıoğlu (2007)	Enerji Tüketimi
	Murat ve Ceylan (2006)	Ulaştırma Enerji Talebi
Yapay Sinir Ağı (YSA)	Hamzaçebi (2007)	Elektrik Tüketimi
	Adnan Sözen vd. (2005)	Enerji Tüketimi
	Kavaklıoğlu vd. (2009)	Elektrik Talebi
	Kankal vd. (2011)	Enerji Tüketimi
	Bayrak ve Esen (2014)	Enerji Talebi
Otoregresif Hareketli Ortalama (ARIMA)	Aras ve Aras (2004)	Doğalgaz Talebi
	Erdoğan (2007)	Elektrik Talebi
	Ediger ve Akar (2007)	Birincil Enerji Talebi
	Mucuk ve Uysal (2009)	Birincil Enerji Talebi
Benzetilmiş Tavlama	Özçelik ve Hepbaşlı (2006)	Petrol Ekserji Tahmini
Karınca Kolonisi Optimizasyonu (ACO)	Toksarı (2007)	Enerji Talebi
	D. M. Toksarı (2009)	Elektrik Talebi
Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO)	Ünler (2008)	Enerji Talebi
Gri Tahmin Metodu	D. Akay ve Atak (2007)	Elektrik Talebi
	Çayır Ervural ve Ervural (2018)	Enerji Talebi
Yapısal zaman serisi	Dilaver ve Hunt (2011a)	Endüstriyel Elektrik Talebi
	Dilaver ve Hunt (2011b)	Konut Elektrik Talebi
Harmoni Arama Algoritması	Hüseyin Ceylan vd. (2008)	Ulaştırma Enerji Talebi

Çizelge 2.1. (devam) Türkiye’de yapılan enerji talep tahmini ile ilgili çalışmalar.

Bulanık Mantık	Küçükali ve Barış (2010)	Elektrik Enerjisi Talebi
Yapay Arı Kolonisi (ABC) ve Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO)	Kıran vd. (2012b)	Elektrik Talebi
Karıca Kolonisi Algoritması (ACO) ve Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO)	Kıran vd. (2012a)	Elektrik Talebi
Değişken Arama Teknikleri ile Yapay Arı Kolonisi (ABCVSS)	Uğuz vd. (2015)	Enerji Talebi
Diferansiyel Evrim Algoritması (DEA)	M. Beşkirli vd. (2017)	Enerji Talebi
Yerçekimsel Arama Algoritması (GSA) ve Öğretme Öğrenme Tabanlı Optimizasyon Algoritması (TLBO)	Tefek vd. (2017)	Enerji Talebi
Yerçekimsel Arama Algoritması (GSA) ve Yabani Ot Algoritması (IWO)	Koç vd. (2018)	Enerji Talebi
Yapay Alg Algoritması (AAA)	A. Beşkirli vd. (2018)	Enerji Talebi
Çiçek Tozlaşması Algoritması	Korkmaz ve Akgüngör (2018)	Ulaşım Enerjisi Talebi

3. MATERYAL VE METOT

Bu araştırmada kullanılan materyaller ve yöntemler hakkında detaylı bilgi bu başlık altında verilmiştir. Bu bölümde öncelikle çalışmalarda kullanılan orijinal TSA ve MTSA algoritmaları detaylı bir şekilde açıklanmıştır. Daha sonra yöntemlerin uygulandığı sayısal test fonksiyonu problemlerine ait bilgilere yer verilmiştir. Son olarak ise orijinal TSA ile önerilen yöntem olan MTSA'nın başarısını göstermek için gerçek dünya optimizasyon problemlerinden biri olan enerji talep tahmini optimizasyon problemi kısaca anlatılmıştır.

3.1. Ağaç Tohum Algoritması

Kıran (2015) tarafından 2015 yılında popülasyon tabanlı yeni bir algoritma olarak önerilen ağaç tohum algoritması (TSA) sürekli optimizasyon problemlerini çözmek için kullanılmıştır. TSA'da ağaçlar ve tohumlar arasında belirli bir bağlantı bulunmaktadır. Bu bağlantı doğal fenomenler tarafından oluşmaktadır. Doğada ağaç tohumları toprak yüzeye dağılırlar ve bu tohumlar zamanla büyür ve yeni ağaçları oluşturur (Kıran, 2016). Burada, ağaçların yüzeyleri araştırma alanı olarak düşünüldüğünde ağaçların ve tohumların konumu optimizasyon problemleri için mümkün çözümleri ifade etmektedir (Kıran, 2017). Bundan dolayı ağaçların oluşumunda tohumların konumunun önemi artmıştır. Arama alanı için iki denklem bulunmaktadır. Bunlardan birincisi, ağaç popülasyonunun en iyi yeri için tohum üretiminin yapılması işlemidir. Bu işlem sayesinde algoritmanın yerel arama gücü artırılmıştır. İkinci denklemde ise, yeni bir tohum üretimi için iki farklı ağaç konumu kullanılarak işlem gerçekleştirilmektedir (Kıran, 2015).

$$S_{i,j} = T_{i,j} + \alpha_{i,j}x(B_j - T_{r,j}) \quad (1)$$

$$S_{i,j} = T_{i,j} + \alpha_{i,j}x(T_{i,j} - T_{r,j}) \quad (2)$$

$S_{i,j}$ ağacın üretileceği i. tohumun j. boyutunu göstermektedir. $T_{i,j}$, i. ağacın j. boyutudur. B_j şimdikiye kadar elde edilen en iyi ağaç konumunun j. boyutudur. $T_{r,j}$, popülasyondan rastgele seçilen r. ağacın j. boyutudur. α , [-1,1] aralığında rastgele üretilen ölçekleme faktörüdür. Yeni bir tohumun konumunu oluşturmak için bu iki denklemden biri seçilmektedir. Bu seçim [0,1] aralığında arama eğilimi (ST) kontrol parametresi tarafından kontrol edilmektedir. Güçlü bir yerel arama ve hızlı yakınsama için ST'nin değerinin yüksek olması gerekmektedir ancak ST'nin değeri

düşük olursa yavaş yakınsama yaparak global araması güçlenmiş olur (Muneeswaran ve Rajasekaran, 2017). TSA'nın akış şeması Şekil 3.1'de verilmiştir.

Kıran tarafından yapılan çalışmada TSA algoritmasının başlangıç aşamasına yönelik denklemler şu şekilde vermiştir:

TSA ile arama başlangıcında optimizasyon problemleri için olası çözümler olan ilk ağaç pozisyonları Denklem 3'te verilmiştir.

$$T_{i,j} = L_{j,min} + r_{i,j}(H_{j,max} - L_{j,min}) \quad (3)$$

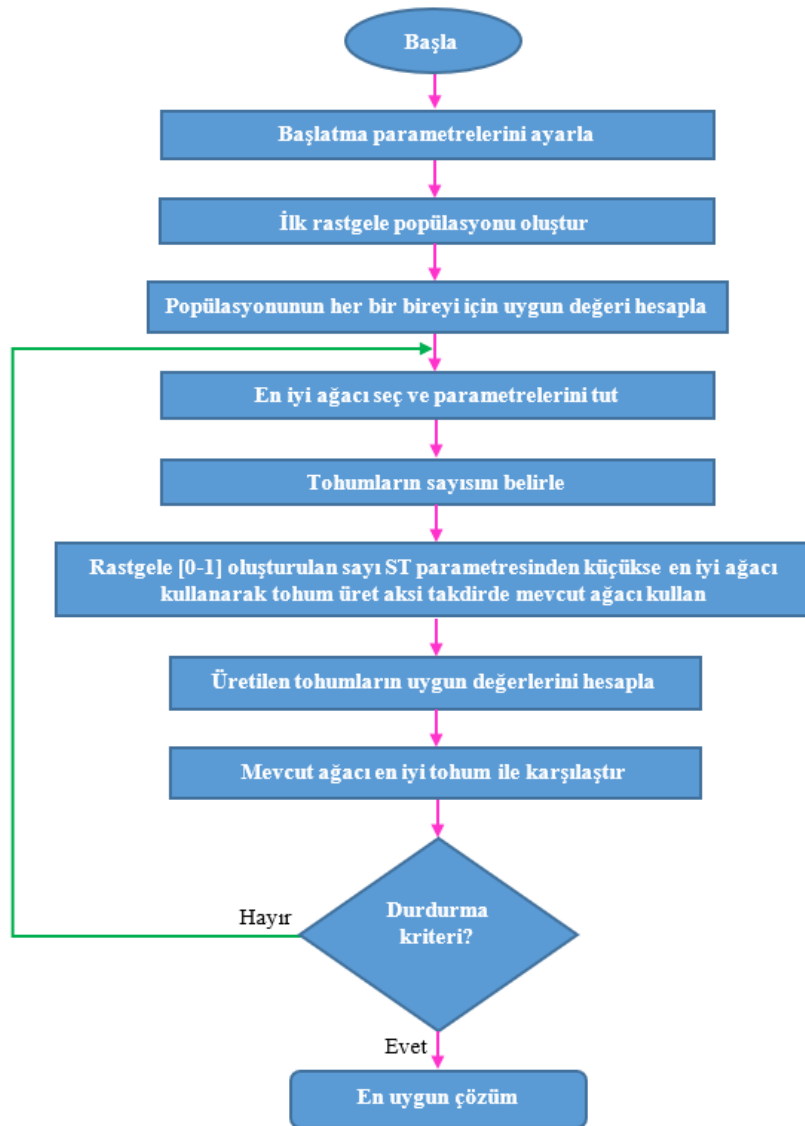
Burada $L_{j,min}$ arama uzayının alt sınırını, $H_{j,max}$ arama uzayının üst sınırını, $r_{i,j}$ her bir boyut ve konum için $[0, 1]$ aralığında üretilen rastgele bir sayıdır.

Minimizasyon için popülasyondan seçilen en iyi çözüm Denklem 4'tedir.

$$B = \min\{f(\bar{T}_i)\} \quad i = 1, 2, \dots, N \quad (4)$$

Burada N popülasyondaki ağaçların sayısını belirtmektedir.

Bir ağaç için yeni tohum yerleri oluşturulurken tohum sayısı (NS) popülasyon büyüklüğüne bağlı olup birden fazla olabilir. Popülasyon büyüklüğünün %10'u bir ağaç için üretilen minimum tohum sayısıdır. Popülasyonun %25'i ise bir ağaçtan elde edilen maksimum tohum sayısıdır. TSA'da tohum üretimi sayısı tamamen rastgele üretilmektedir. Şekil 1'deki TSA'nın akış şemasında TSA'nın kontrol parametresi olan ST'nin nasıl kullanıldığı görülmektedir. $[0-1]$ aralığında rastgele üretilmiş olan sayı ST değerinden küçük ise Denklem 1 kullanılır aksi takdirde Denklem 2 kullanılır.



Şekil 3.1. TSA'nın akış şeması

3.2. Modifiye Ağaç Tohum Algoritması

Problemlerdeki karmaşıklık arttıkça algoritmanın en iyi çözümü elde etmesi çoğu zaman zorlaşmaktadır (Güden vd.). Algoritmanın etkili çözümler üretebilmesi için algoritma üzerinde bazı değişiklikler yapmak gerekmektedir. Bu nedenle TSA'da bulunan ağaçların seçim yönteminde değişiklik yaparak algoritmanın hem yerel hem de global arama uzayını genişletmek hedeflenmiştir. Tohum oluşturmak için normalde rastgele seçilen ağaç yerine turnuva seçim yöntemi önerildi. Turnuva seçim yöntemi rastgele seçilen iki değerden güçlü olanının seçilmesi mantığı ile çalışmaktadır. Ağaçtan oluşturulacak tohum sayısı popülasyonun %10'u ile %25'i arasında rastgele bir N değeridir. Daha sonra bu N tane ağaç bir turnuvaya katılır ve en iyi

uygunluklu ağaçlar seçilir. Turnuva seçiminin avantajı, popülasyonun daha kötü ağaçların seçilmeyecek olması ve bundan dolayı sonraki ağaç konumu belirleme yapısına katılmayacak olmasıdır. Popülasyon içinden turnuva seçim yöntemi ile seçilen ağaçlar popülasyondan silinmemektedir yani popülasyonda turnuva ile seçilen bir ağacın tekrar seçilme olasılığı vardır. Her bir tohumun her bir boyutu ST parametresinin değerine göre en iyi uygunluk değerine sahip ağaç veya popülasyondan rasgele seçilen ağaç ile güncellenmektedir. ST parametresi 0 ile 1 arasında değer almaktadır. Bu çalışmada ayrıca ST parametresinin optimizasyonu yapılarak en iyi parametre değerinin tespiti yapılmıştır. TSA'nın tohum seçim yönteminde yapılan değişiklik ile önerilen yöntemin ismi modifiye ağaç tohum algoritması (MTSA) olarak adlandırılmıştır.

Aşağıda sunulan Denklem 5 ve 6'da daha kaliteli tohum üretmek için ağaçların seçim metodunda yapılan değişiklik görselleştirilmiştir. Bu formüllere göre üretilen tohumlar ST parametresine göre seçilmektedir. [0-1] arasında rastgele seçilen bir sayı ST değerinde küçük ise Denklem 5, rastgele seçilen sayı ST değerinden büyük ise Denklem 6 kullanılır.

$$S_{i,j} = T_{i,j} + \alpha_{i,j}x(B_j - T_{r,j})$$

(5)

$$S_{i,j} = T_{i,j} + \alpha_{i,j}x(T_{i,j} - T_{r,j})$$

(6)

Burada $S_{i,j}$, i. ağaç tohumunun j. boyutunu temsil etmektedir. $T_{i,j}$, i. ağacın j. boyutudur. B_j , elde edilen en iyi ağaç pozisyonunun j. boyutunu içermektedir. $T_{t,j}$, turnuva yöntemi ile

popülasyondan seçilen t . ağacın j . boyutudur ve α ise $[-1,1]$ aralığında rastgele üretilen ölçeklendirme faktörünü temsil etmektedir.

Denklem 5 ve 6'da tohum üretimi aşaması yeniden formülize edilmiştir. Orijinal TSA'nın formülünde yer alan ağaçların, rastgele seçilmesi (T_r) yerine turnuva seçim yöntemi (T_t) kullanılarak ağaçların seçilmesi işleminde yenilik yapılmıştır. Bu sayede tohum üretiminin kalitesi artırılarak arama uzayında daha kaliteli çözümler elde edilmesi sağlanmıştır.

3.3. Sayısal Test Fonksiyonu Problemi

MTSA ile orijinal TSA yöntemlerinin performanslarını karşılaştırmak için 15 sayısal test fonksiyonuna uygulanmıştır. Yöntemlerin uygulandığı 15 farklı sayısal test fonksiyonları Çizelge 3.1'de verilmiştir.

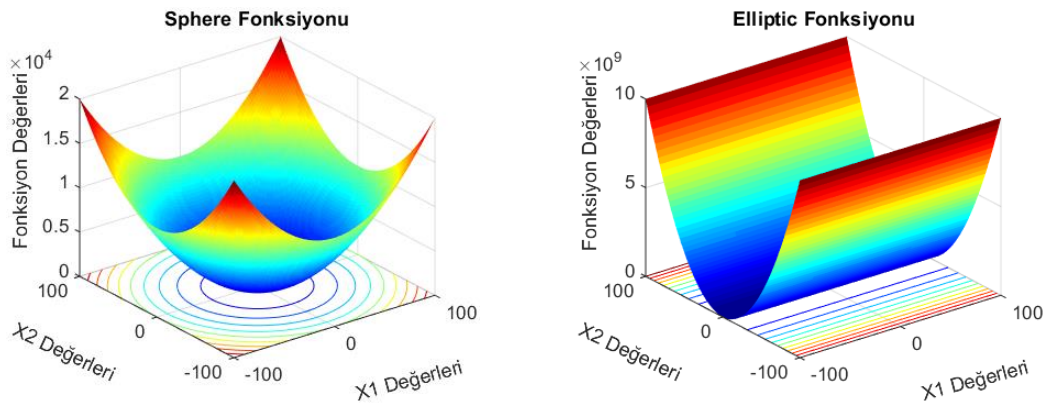
Çizelge 3.1. Sayısal test fonksiyonları (Türü: T, Tek modlu: U, Çok modlu: M).

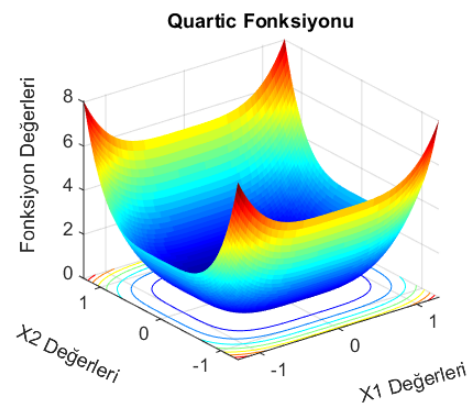
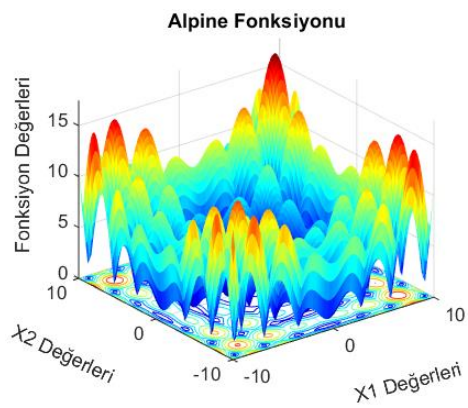
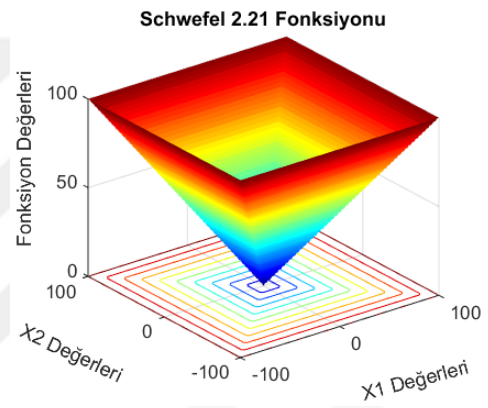
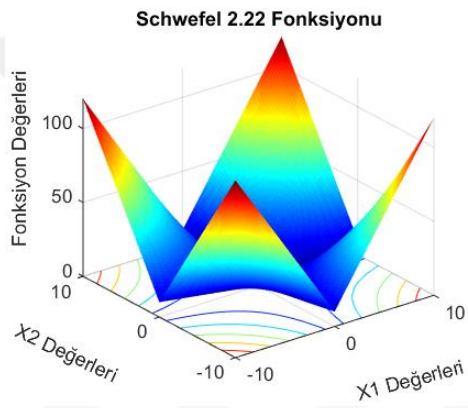
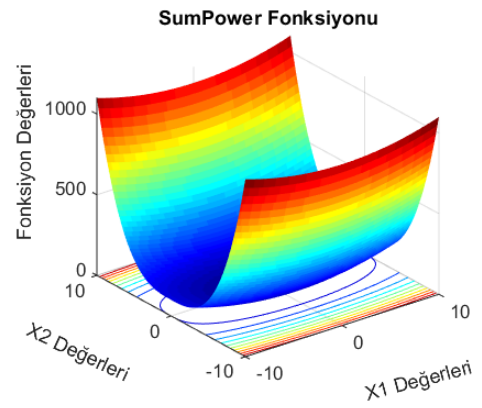
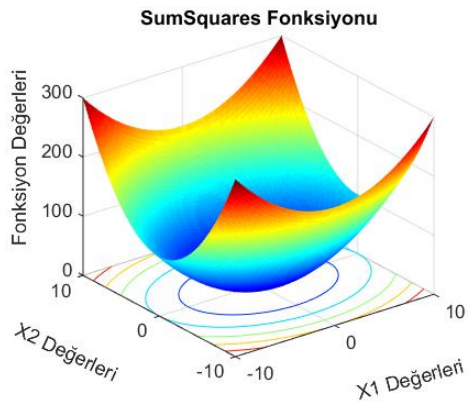
Fn.	Fonksiyon	T	Aralık	Formül
F1	Sphere	U	$[-100, 100]^D$	$f_1(x) = \sum_{i=1}^n x_i^2$
F2	Elliptic	U	$[-100, 100]^D$	$f_2(x) = \sum_{i=1}^n (10^6)^{(i-1)/(n-1)} x_i^2$
F3	SumSquares	U	$[-10, 10]^D$	$f_3(x) = \sum_{i=1}^n i x_i^2$
F4	SumPower	M	$[-10, 10]^D$	$f_4(x) = \sum_{i=1}^n x_i ^{(i+1)}$
F5	Schwefel2.22	U	$[-10, 10]^D$	$f_5(x) = \sum_{i=1}^n x_i + \prod_{i=1}^n x_i $
F6	Schwefel2.21	U	$[-100, 100]^D$	$f_6(x) = \max_i \{ x_i , 1 \leq i \leq n\}$
F7	Alpine	M	$[-10, 10]^D$	$f_7(x) = \sum_{i=1}^n x_i \sin(x_i) + 0.1 x_i $
F8	Quartic	U	$[-1.28, 1.28]^D$	$f_8(x) = \sum_{i=1}^n i x_i^4$

Çizelge 3.1. (devam) Sayısal test fonksiyonları (Türü: T, Tek modlu: U, Çok modlu: M).

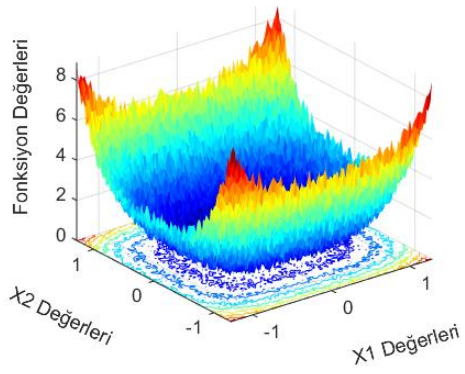
F9	QuarticWN	U	$[-1.28, 1.28]^D$	$f_9(x) = \sum_{i=1}^n ix_i^4 + random[0, 1]$
F10	Rosenbrock	U	$[-10, 10]^D$	$f_{10}(x) = \sum_{i=1}^{N-1} [100(x_{i+1} - x_i^2)^2 + (x_i - 1)^2]$
F11	Rastrigin	M	$[-5.12, 5.12]^D$	$f_{11}(x) = \sum_{i=1}^N x_i^2 - 10 \cos(2\pi x_i) + 10$
F12	Non-Continuous Rastrigin	M	$[-5.12, 5.12]^D$	$f_{12}(x) = \sum_{i=1}^n [y_i^2 - 10 \cos(2\pi y_i) + 10]$ $y_i = \begin{cases} x_i, & x_i < \frac{1}{2} \\ \frac{round(2x_i)}{2}, & x_i \geq \frac{1}{2} \end{cases}$
F13	Griewank	M	$[-600, 600]^D$	$f_{13}(x) = \sum_{i=1}^N \frac{x_i^2}{4000} - \prod_{i=1}^N \cos\left(\frac{x_i}{\sqrt{i}}\right) + 1$
F14	Schwefel2.26	M	$[-500, 500]^D$	$f_{14}(x) = 418.98 * n - \sum_{i=1}^n x_i \sin(\sqrt{ x_i })$
F15	Ackley	M	$[-32, 32]^D$	$f_{15}(x) = 20 + e \pm 20 \exp\left(-0.2 \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i^2}\right) - \exp\left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \cos(2\pi x_i)\right)$

Yöntemlerin uygulandığı 15 farklı test fonksiyonlarının 3-D grafiklerine Şekil 3.2’de yer verilmiştir.

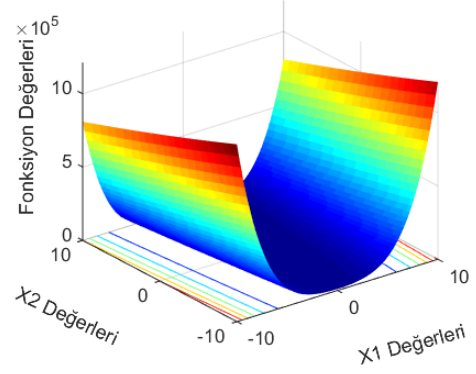




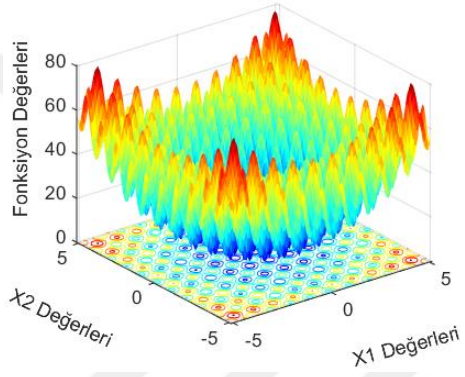
QuarticWN Fonksiyonu



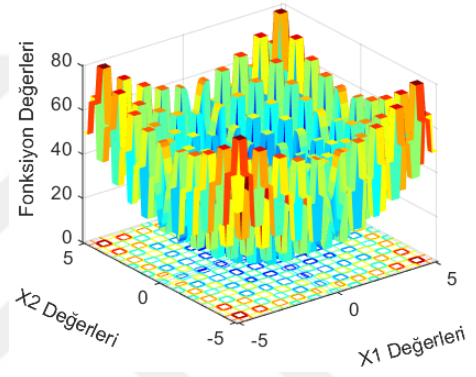
Rosenbrock Fonksiyonu



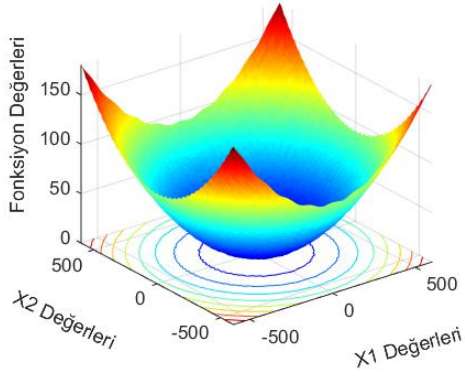
Rastrigin Fonksiyonu



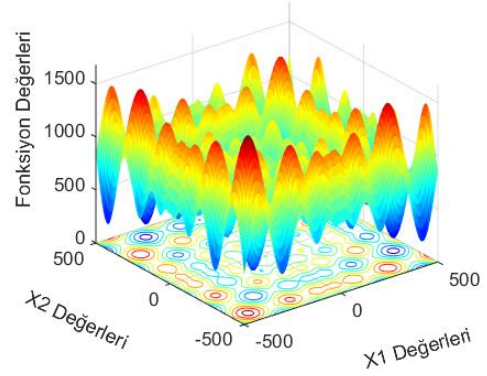
Non-Continuous Rastrigin Fonksiyonu

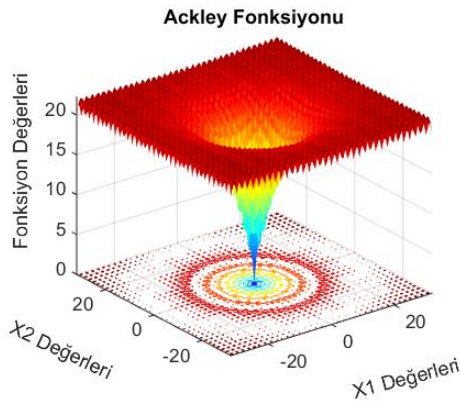


Griewank Fonksiyonu



Schwefel 2.26 Fonksiyonu

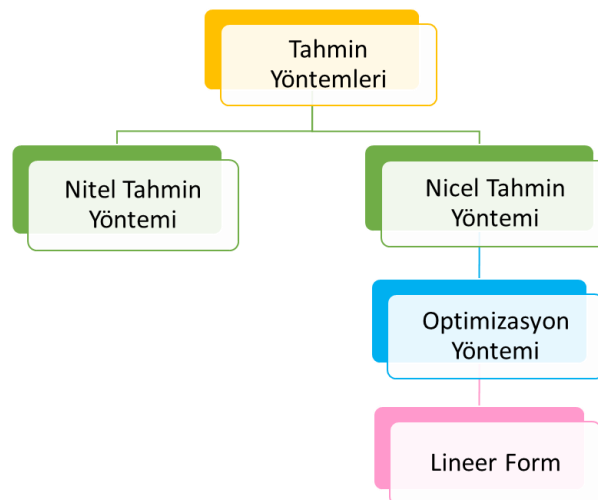




Şekil 2.2. Sayısal test fonksiyonlarının 3-D grafikleri.

3.1. Enerji Talep Tahmini Problemi

Enerji talep tahmini için Şekil 3.3'teki gibi nitel ve nicel olmak üzere iki yöntem bulunmaktadır (Uygun, 2015). Nitel yöntem, istatistiksel verilerin bulunmadığı çalışılan konu üzerine araştırmacıların görüş ve deneyimlerine bağlı olarak tahminlerde bulunmasıdır (Uygun, 2015). Nitel yöntemlere delphi tekniği, araştırma teknikleri, pert ve benzerlik gibi yöntemler örnek olarak gösterilebilir. Bunların yanı sıra nicel yöntemlerle tahmin ise matematiksel modellere dayanmaktadır (Uygun, 2015). Yeterli miktarda sayısal verilerin mevcut olmasının yanı sıra geçmişe ait sayısal verilerin de biliniyor olması gerekmektedir. Literatüre bakıldığında nicel tahmin yöntemleri için üstel düzeltme, otoregresif hareketli ortalama, çoklu regresyon, yapay sinir ağları ve optimizasyon gibi birçok nicel yöntemler bulunmaktadır. Bu çalışmada ise nicel tahmin yöntemlerinden biri olan optimizasyon teknikleri kullanılmış olup lineer form ile modellenerek enerji talebi tahmin edilmiştir.



Şekil 3.3. Tahmin yöntemlerinin sınıflandırılması.

4. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu bölümde TSA ve MTSA'nın sayısal test fonksiyonları üzerindeki performansı karşılaştırmalı analizler yapılarak test edilmiş ayrıca yakınsama ve kutu grafiklerine yer verilmiştir (A. Beşkirli vd., 2019). Aynı zamanda TSA ve önerilen MTSA yöntemi enerji talep tahmini problemine uygulanmış olup elde edilen enerji talep tahmin sonuçları ile gözlenen enerji talep sonuçları karşılaştırılmıştır. Tüm bu problemler MATLAB 2014 (8.3) programında gerçekleştirilmiştir.

4.1. Sayısal Test Fonksiyonlarının Sonuçları ve İstatistiksel Analizi

Bu başlık altında TSA ile önerilen yöntemin karşılaştırmalı analiz sonuçlarına, yakınsama ve kutu grafiklerine yer verilmiştir. Ayrıca önerilen yöntemin istatistiksel analiz testi yapılarak literatürde yer alan ABC, PSO, GSA, SSA, GOA, MVO ve TSA algoritmaları ile karşılaştırılması yapılmış ve sonuçları Çizelgelerde sunulmuştur.

4.1.1. TSA ve MTSA'nın karşılaştırmalı analiz sonuçları

TSA ve MTSA'nın başlangıç popülasyon değerleri 10, 20, 30, 40 ve 50 olarak belirlenmiştir. Algoritmanın sonlandırma kriteri olarak maksimum fonksiyon değerlendirme sayısı (MaxFEs) baz alınmıştır. Denklem 7'de MaxFEs hesaplama formülü verilmiştir.

$$MaxFEs = D * 10,000 \quad (7)$$

Büyük boyutlu problemlerde MTSA'nın performansını ölçmek için problemlerin boyutları 20, 50 ve 100 olarak seçilmiştir. Ayrıca ST parametresi için 0.1, 0.5 ve 0.9 değerleri kullanılarak ST'nin parametre optimizasyonu yapılmıştır. Yöntemler 30 kez çalıştırılarak algoritmanın kararlılığı ölçülmüştür. Parametre verileri ile ilgili bilgiler Çizelge 4.1'de sunulmuştur.

Çizelge 4.1. TSA ve MTSA için parametre verileri.

	TSA	MTSA
Popülasyon değerleri	10, 20, 30, 40 ve 50	10, 20, 30, 40 ve 50
Problem boyutları	20, 50 ve 100	20, 50 ve 100
ST parametresinin değerleri	0.1, 0.5 ve 0.9	0.1, 0.5 ve 0.9
Çalışma sayısı	30	30
Durdurma kriteri	MaxFEs	MaxFEs

Tüm bu parametrelere göre gerek TSA’da gerekse MTSA’da algoritma çalıştırılmış olup elde edilen en iyi, ortalama ve standart sapma değerleri Çizelge 4.2- 4.10’da sunulmuştur. Elde edilen fonksiyon sonuçlarının yakınsama grafikleri ile algoritmanın kararlılığını gösteren kutu grafikleri Şekil 4.1- 4.6’da gösterilmiştir.

Çizelge 4.2’ye bakıldığında F11 fonksiyonu için popülasyon değerleri 10 ve 20, F12 ve F14 fonksiyonları için popülasyon değeri 10 olduğunda TSA algoritması iyi sonuç verirken diğer popülasyon değerlerinde MTSA daha iyi sonuç elde etmiştir.

Çizelge 4.2. Fonksiyonların analiz sonuçları ST=0.1 ve D=20.

	TSA					MTSA				
	Pop=10	Pop=20	Pop=30	Pop=40	Pop=50	Pop=10	Pop=20	Pop=30	Pop=40	Pop=50
F1										
Best	1.74E-188	2.47E-84	1.80E-50	3.13E-35	4.99E-26	5.95E-241	3.22E-128	1.18E-83	3.39E-60	1.21E-44
Ort.	1.18E-183	8.73E-82	3.45E-49	1.37E-34	3.12E-25	1.72E-233	2.30E-125	1.58E-81	2.06E-58	4.21E-43
Std.	0.00E+00	1.77E-81	6.83E-49	1.02E-34	2.19E-25	0.00E+00	3.59E-125	2.36E-81	3.17E-58	4.33E-43
F2										
Best	2.09E-187	3.96E-82	6.33E-48	7.85E-33	1.90E-23	8.27E-241	1.39E-125	8.99E-81	6.55E-57	8.19E-42
Ort.	5.34E-180	2.28E-78	9.61E-47	9.98E-32	1.48E-22	8.91E-223	1.63E-121	1.68E-78	1.95E-55	2.14E-40
Std.	0.00E+00	1.01E-77	1.11E-46	1.25E-31	1.12E-22	0.00E+00	5.23E-121	3.57E-78	2.31E-55	3.45E-40
F3										
Best	7.01E-189	3.14E-85	5.77E-52	1.76E-36	4.37E-27	5.16E-246	1.11E-129	3.22E-84	2.28E-61	9.26E-46
Ort.	7.26E-184	1.21E-82	2.34E-50	1.17E-35	1.91E-26	1.20E-215	2.55E-125	1.15E-82	1.29E-59	2.06E-44
Std.	0.00E+00	2.41E-82	3.96E-50	9.62E-36	1.11E-26	0.00E+00	1.17E-124	1.36E-82	1.85E-59	2.18E-44
F4										
Best	6.50E-240	1.87E-106	2.53E-65	1.57E-48	9.43E-36	8.36E-294	1.24E-176	1.76E-124	1.72E-98	3.72E-79
Ort.	1.55E-217	5.75E-99	3.33E-60	3.09E-42	4.01E-33	1.78E-249	3.64E-16	2.45E+00	1.85E-08	7.67E-15
Std.	0.00E+00	1.84E-98	1.50E-59	1.46E-41	1.09E-32	0.00E+00	1.96E-15	1.32E+01	9.96E-08	3.12E-14
F5										
Best	7.73E-130	8.02E-57	1.93E-34	2.83E-24	6.79E-18	2.25E-172	3.82E-87	2.89E-56	5.78E-40	1.13E-29
Ort.	7.39E-127	4.45E-56	6.04E-34	8.63E-24	1.62E-17	2.65E-168	1.32E-85	6.59E-55	3.09E-39	5.27E-29
Std.	2.24E-126	3.98E-56	3.94E-34	4.68E-24	5.40E-18	0.00E+00	3.08E-85	1.13E-54	2.27E-39	3.59E-29
F6										
Best	8.95E-11	6.27E-06	9.23E-04	2.46E-02	9.33E-02	1.21E-09	2.70E-08	1.41E-06	3.45E-06	1.06E-05
Ort.	1.04E-08	5.62E-05	3.63E-03	4.73E-02	1.79E-01	2.41E-06	2.89E-06	3.83E-01	2.30E-01	1.06E-01
Std.	1.87E-08	3.94E-05	1.73E-03	1.71E-02	5.57E-02	2.41E-06	7.80E-06	1.03E+00	4.16E-01	2.11E-01
F7										
Best	9.55E-276	1.30E-161	5.21E-21	1.24E-07	2.98E-04	0.00E+00	9.55E-259	2.41E-152	4.06E-78	4.82E-35
Ort.	4.24E-08	3.12E-16	5.51E-05	1.75E-03	7.22E-03	3.45E+06	2.04E-02	2.37E-02	7.59E-03	7.59E-03
Std.	2.28E-07	1.60E-15	2.47E-04	2.46E-03	2.90E-03	1.86E+07	2.53E-02	4.04E-02	1.95E-02	2.44E-02
F8										
Best	1.41E-225	5.06E-102	2.65E-64	3.52E-46	1.00E-35	9.56E-273	5.83E-158	5.57E-109	1.25E-82	1.40E-65
Ort.	2.13E-212	4.47E-97	6.65E-61	1.73E-44	2.51E-34	5.73E-232	1.19E-23	3.50E-08	1.63E-08	5.45E-45
Std.	0.00E+00	1.34E-96	1.41E-60	3.58E-44	2.59E-34	0.00E+00	6.43E-23	1.88E-07	8.77E-08	2.89E-44
F9										
Best	7.98E-04	1.07E-03	1.99E-03	2.34E-03	2.57E-03	7.33E-04	8.52E-04	1.12E-03	1.27E-03	1.36E-03

Çizelge 4.2. (devam) Fonksiyonların analiz sonuçları ST=0.1 ve D=20.

Ort.	2.67E-03	3.25E-03	4.18E-03	5.55E-03	6.11E-03	2.31E-03	2.34E-03	2.66E-03	2.58E-03	2.87E-03
Std.	1.07E-03	1.18E-03	1.35E-03	1.44E-03	1.88E-03	1.27E-03	9.62E-04	1.19E-03	6.78E-04	6.80E-04
F10										
Best	4.06E-03	6.20E+00	1.09E+01	1.32E+01	1.39E+01	1.58E-03	5.80E-03	1.07E+01	8.78E+00	9.64E-03
Ort.	7.81E+00	1.07E+01	1.29E+01	1.38E+01	1.45E+01	6.70E+00	1.12E+01	1.68E+01	2.00E+01	1.72E+01
Std.	1.21E+01	1.65E+00	1.20E+00	2.47E-01	2.23E-01	4.40E+00	1.12E+01	9.85E+00	1.40E+01	1.02E+01
F11										
Best	2.98E+00	3.02E+00	1.72E+01	2.59E+01	4.37E+01	3.98E+00	3.98E+00	2.98E+00	9.95E-01	9.95E-01
Ort.	1.00E+01	1.51E+01	4.38E+01	6.43E+01	7.71E+01	1.26E+01	8.13E+00	6.33E+00	4.51E+00	4.81E+00
Std.	4.08E+00	1.41E+01	1.50E+01	1.61E+01	1.26E+01	4.29E+00	2.72E+00	2.29E+00	2.31E+00	1.99E+00
F12										
Best	6.00E+00	9.01E+00	3.07E+01	4.24E+01	4.44E+01	1.00E+01	8.00E+00	8.00E+00	7.40E+00	6.04E+00
Ort.	1.55E+01	3.09E+01	5.61E+01	6.66E+01	6.96E+01	1.54E+01	1.20E+01	1.13E+01	1.31E+01	1.26E+01
Std.	5.02E+00	1.43E+01	1.33E+01	9.33E+00	1.09E+01	4.34E+00	3.68E+00	3.19E+00	4.86E+00	3.78E+00
F13										
Best	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Ort.	4.27E-03	2.56E-04	4.53E-06	3.71E-04	2.07E-03	8.77E-03	1.48E-03	4.20E-03	1.48E-03	6.25E-04
Std.	6.39E-03	1.33E-03	1.72E-05	1.47E-03	7.42E-03	1.23E-02	3.40E-03	5.62E-03	3.40E-03	2.34E-03
F14										
Best	1.18E+02	1.18E+02	2.37E+02	1.49E+03	1.99E+03	2.37E+02	1.18E+02	1.18E+02	1.18E+02	1.18E+02
Ort.	6.74E+02	8.22E+02	1.84E+03	2.54E+03	3.23E+03	9.11E+02	6.45E+02	5.20E+02	4.07E+02	4.30E+02
Std.	3.17E+02	5.95E+02	9.83E+02	4.84E+02	4.40E+02	3.00E+02	3.01E+02	1.80E+02	2.00E+02	2.15E+02
F15										
Best	2.22E-15	2.22E-15	2.22E-15	2.22E-15	7.55E-14	2.22E-15	2.22E-15	2.22E-15	2.22E-15	2.22E-15
Ort.	2.44E-15	2.29E-15	2.22E-15	2.44E-15	2.51E-13	3.85E-02	2.22E-15	2.22E-15	2.22E-15	2.22E-15
Std.	6.66E-16	3.99E-16	0.00E+00	6.66E-16	9.54E-14	2.07E-01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00

Çizelge 4.3'e bakıldığında F7, F10, F11, F12, F14 ve F15 fonksiyonları için popülasyon değeri 10 olduğunda TSA algoritması iyi sonuç vermekte ancak diğer popülasyon değerlerinde MTSA ile daha iyi sonuç elde edilmiştir.

Çizelge 4.3. Fonksiyonların analiz sonuçları ST=0.1 ve D=50.

	TSA					MTSA				
	Pop=10	Pop=20	Pop=30	Pop=40	Pop=50	Pop=10	Pop=20	Pop=30	Pop=40	Pop=50
F1										
Best	3.58E-75	1.75E-25	1.15E-13	9.87E-09	8.93E-06	6.43E-133	9.28E-61	1.09E-41	3.72E-30	2.73E-23
Ort.	4.02E-71	2.20E-24	3.84E-13	2.97E-08	1.74E-05	5.10E-127	5.59E-59	5.55E-40	1.26E-28	1.59E-22
Std.	1.23E-70	2.43E-24	2.35E-13	1.41E-08	7.60E-06	1.92E-126	1.62E-58	1.38E-39	1.65E-28	1.06E-22
F2										
Best	8.91E-73	1.29E-23	5.95E-12	7.54E-07	4.85E-04	7.85E-130	4.17E-60	1.88E-39	1.56E-27	6.10E-21
Ort.	6.22E-70	2.31E-22	3.66E-11	2.55E-06	1.20E-03	3.95E-124	1.11E-56	6.82E-38	1.51E-26	4.40E-20
Std.	1.10E-69	2.23E-22	3.41E-11	1.30E-06	3.69E-04	2.03E-123	2.20E-56	1.07E-37	1.27E-26	3.74E-20
F3										
Best	2.21E-75	5.72E-26	7.14E-15	1.03E-09	9.35E-07	3.22E-135	2.62E-62	4.08E-42	1.19E-30	2.87E-24
Ort.	1.89E-72	3.47E-25	5.24E-14	5.29E-09	2.59E-06	5.26E-129	4.99E-60	7.06E-41	1.55E-29	5.22E-23
Std.	4.03E-72	3.25E-25	4.31E-14	3.28E-09	7.93E-07	1.30E-128	5.81E-60	1.42E-40	1.85E-29	6.00E-23

Çizelge 4.3. (devam) Fonksiyonların analiz sonuçları ST=0.1 ve D=50.

F4										
Best	1.15E-42	4.56E-08	6.76E+01	3.94E+03	3.80E+04	3.22E-81	4.65E-35	8.02E-26	7.62E-18	6.62E-15
Ort.	3.56E-30	1.07E-01	2.77E+03	6.78E+04	4.73E+06	1.60E-51	5.62E-26	1.70E-15	1.57E-11	2.23E-08
Std.	1.92E-29	3.42E-01	4.81E+03	1.32E+05	8.25E+06	8.60E-51	2.32E-25	6.38E-15	4.35E-11	6.26E-08
F5										
Best	1.01E-62	7.86E-23	5.21E-13	1.02E-08	3.13E-06	1.85E-107	9.10E-50	5.39E-34	2.41E-24	8.52E-19
Ort.	2.85E-61	3.85E-22	1.54E-12	2.46E-08	6.26E-06	2.09E-104	2.66E-48	1.32E-32	1.95E-23	4.12E-18
Std.	3.25E-61	2.29E-22	7.37E-13	1.01E-08	1.99E-06	6.63E-104	4.07E-48	1.15E-32	1.83E-23	3.07E-18
F6										
Best	1.91E+01	3.75E+01	5.40E+01	6.10E+01	5.82E+01	1.87E+01	1.83E+01	2.09E+01	2.57E+01	2.32E+01
Ort.	3.43E+01	5.41E+01	6.68E+01	7.13E+01	7.32E+01	3.21E+01	3.05E+01	3.29E+01	3.61E+01	3.76E+01
Std.	1.01E+01	8.64E+00	6.30E+00	4.32E+00	4.59E+00	8.50E+00	6.48E+00	4.53E+00	6.74E+00	7.98E+00
F7										
Best	1.28E-15	4.40E-12	3.93E-02	6.67E-02	9.24E+00	5.16E-15	8.88E-16	4.44E-16	1.75E-24	3.49E-15
Ort.	7.05E-05	2.21E-04	3.97E+00	1.06E+01	1.95E+01	1.11E-02	7.59E-15	5.05E-15	1.24E-13	2.40E-12
Std.	3.77E-04	8.53E-04	6.01E+00	8.04E+00	5.84E+00	6.00E-02	1.32E-14	4.39E-15	6.52E-13	5.50E-12
F8										
Best	2.99E-61	4.83E-19	5.44E-11	3.14E-07	1.52E-05	7.95E-117	1.86E-55	2.52E-40	9.18E-30	3.73E-25
Ort.	1.11E-55	7.92E-17	9.32E-10	1.42E-06	9.31E-05	2.15E-105	1.00E-51	5.32E-37	1.42E-27	5.79E-23
Std.	3.64E-55	2.98E-16	1.13E-09	9.17E-07	5.50E-05	1.16E-104	3.17E-51	1.15E-36	2.45E-27	5.86E-23
F9										
Best	1.02E-02	2.59E-02	2.78E-02	7.36E-02	7.41E-02	6.33E-03	9.35E-03	7.83E-03	1.46E-02	1.64E-02
Ort.	1.80E-02	4.39E-02	7.02E-02	1.04E-01	1.38E-01	1.19E-02	1.56E-02	1.95E-02	2.29E-02	2.52E-02
Std.	4.42E-03	1.04E-02	1.70E-02	1.84E-02	2.54E-02	3.72E-03	4.04E-03	5.53E-03	4.79E-03	5.74E-03
F10										
Best	7.81E-02	3.48E+01	4.27E+01	4.79E+01	8.98E+01	4.73E-01	9.61E-02	2.69E+01	3.73E+01	3.92E+01
Ort.	4.26E+01	4.90E+01	4.96E+01	7.18E+01	2.56E+02	4.08E+01	5.30E+01	7.23E+01	5.70E+01	5.89E+01
Std.	2.60E+01	2.15E+01	1.50E+01	3.63E+01	8.64E+01	2.88E+01	2.55E+01	3.10E+01	2.31E+01	2.31E+01
F11										
Best	3.78E+01	3.39E+01	4.22E+01	1.35E+02	2.07E+02	4.97E+01	2.79E+01	2.59E+01	2.59E+01	2.09E+01
Ort.	6.54E+01	5.82E+01	1.76E+02	3.12E+02	3.60E+02	7.38E+01	4.87E+01	4.19E+01	3.89E+01	3.37E+01
Std.	1.52E+01	1.75E+01	9.13E+01	7.86E+01	6.37E+01	1.37E+01	9.09E+00	7.52E+00	7.96E+00	5.82E+00
F12										
Best	4.20E+01	6.55E+01	1.10E+02	2.26E+02	2.66E+02	6.00E+01	4.30E+01	3.90E+01	3.90E+01	4.45E+01
Ort.	7.99E+01	1.42E+02	2.67E+02	3.63E+02	3.83E+02	8.78E+01	6.61E+01	6.07E+01	5.70E+01	6.81E+01
Std.	1.78E+01	7.71E+01	8.54E+01	4.58E+01	3.83E+01	1.63E+01	1.01E+01	1.19E+01	1.18E+01	1.24E+01
F13										
Best	0.00E+00	0.00E+00	1.98E-13	2.22E-08	2.12E-05	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Ort.	7.39E-04	0.00E+00	1.54E-12	1.25E-07	5.99E-05	2.14E-03	9.86E-04	4.93E-04	9.04E-04	2.47E-04
Std.	2.78E-03	0.00E+00	2.12E-12	1.30E-07	3.85E-05	5.50E-03	2.51E-03	1.84E-03	2.81E-03	1.33E-03
F14										
Best	2.90E+03	2.25E+03	3.12E+03	5.46E+03	6.29E+03	3.26E+03	1.99E+03	2.00E+03	1.54E+03	1.76E+03
Ort.	4.33E+03	3.63E+03	7.16E+03	9.92E+03	1.13E+04	4.59E+03	3.46E+03	3.01E+03	2.60E+03	2.40E+03
Std.	7.36E+02	1.34E+03	2.54E+03	1.84E+03	1.83E+03	5.14E+02	6.39E+02	5.74E+02	5.47E+02	3.70E+02
F15										
Best	4.44E-15	1.35E-13	8.85E-08	2.91E-05	7.24E-04	6.66E-15	4.44E-15	4.44E-15	6.66E-15	1.05E-12

Çizelge 4.3. (devam) Fonksiyonların analiz sonuçları ST=0.1 ve D=50.

Ort.	6.88E-15	4.78E-13	1.72E-07	4.82E-05	1.20E-03	8.44E-15	6.29E-15	6.66E-15	9.77E-15	2.33E-12
Std.	1.20E-15	3.00E-13	4.79E-08	1.24E-05	2.67E-04	4.15E-15	1.01E-15	8.11E-16	1.23E-15	1.06E-12

Çizelge 4.4 incelendiğinde F7 ve F14 fonksiyonları için popülasyon değeri 10 olduğunda TSA algoritması iyi sonuç vermekte ancak diğer popülasyon değerlerinde MTSA daha iyi sonuç elde etmiştir.

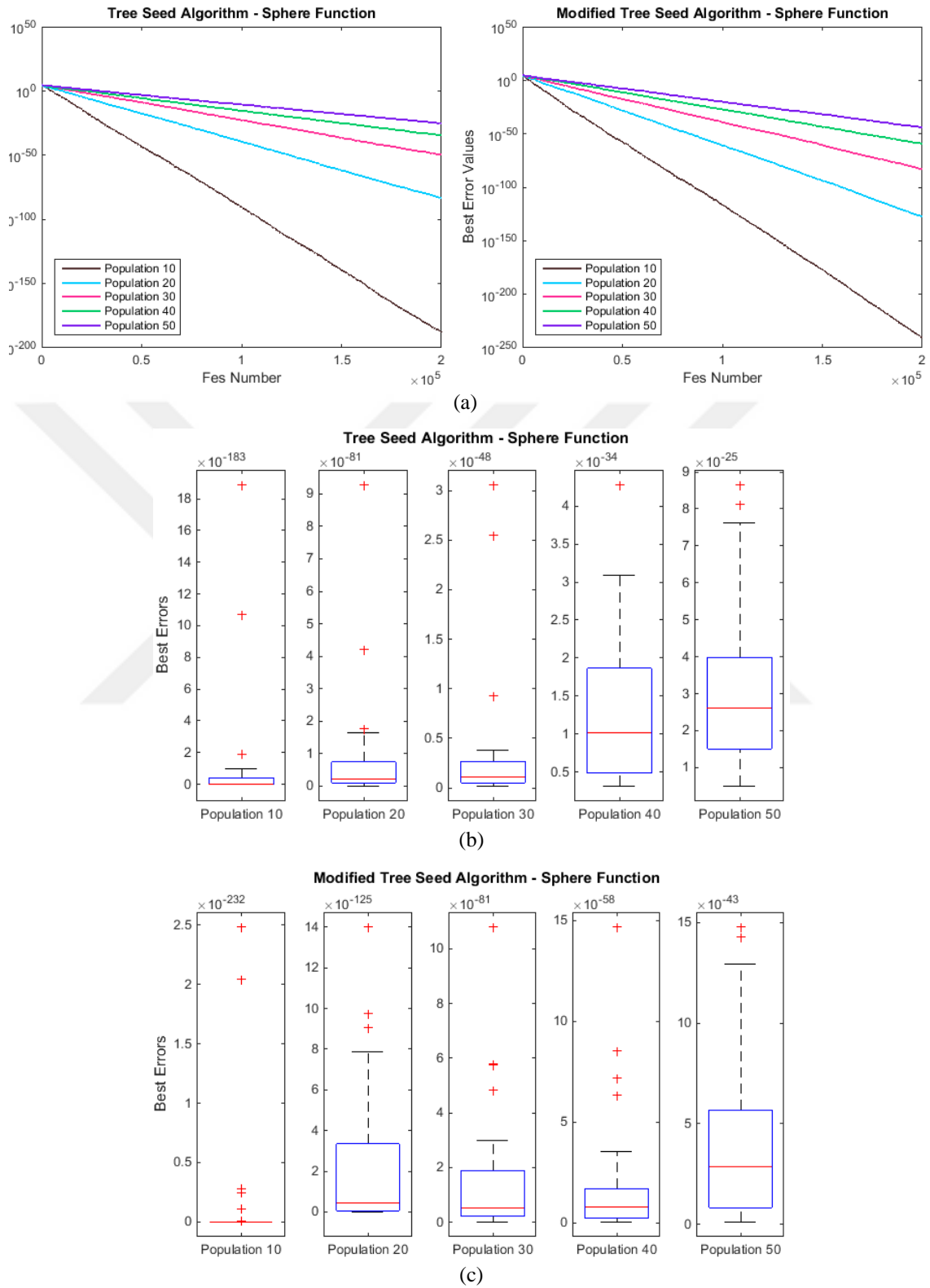
Çizelge 4.4. Fonksiyonların analiz sonuçları ST=0.1 ve D=100.

	TSA					MTSA				
	Pop=10	Pop=20	Pop=30	Pop=40	Pop=50	Pop=10	Pop=20	Pop=30	Pop=40	Pop=50
F1										
Best	9.71E-21	1.03E-01	1.07E+02	6.89E+02	3.89E+03	3.47E-61	2.98E-21	4.52E-14	5.90E-09	2.33E-06
Ort.	1.57E-18	5.27E-01	2.50E+02	1.81E+03	5.08E+03	1.40E-56	1.86E-19	1.65E-12	1.47E-07	2.14E-05
Std.	3.50E-18	3.59E-01	1.06E+02	4.03E+02	6.03E+02	4.48E-56	2.64E-19	1.94E-12	2.41E-07	2.58E-05
F2										
Best	1.13E-19	3.65E+00	2.66E+03	3.15E+04	9.20E+04	8.81E-58	5.10E-20	6.32E-12	1.10E-06	7.73E-05
Ort.	1.70E-16	1.88E+01	5.93E+03	4.52E+04	1.20E+05	1.41E-54	2.99E-17	2.14E-10	1.62E-05	1.49E-03
Std.	6.41E-16	9.43E+00	1.95E+03	7.85E+03	1.53E+04	6.01E-54	9.14E-17	2.82E-10	2.45E-05	1.52E-03
F3										
Best	3.28E-21	1.81E-02	1.96E+01	2.50E+02	6.70E+02	1.65E-60	8.56E-22	2.50E-14	2.89E-09	2.85E-07
Ort.	5.89E-19	1.33E-01	4.94E+01	4.12E+02	1.01E+03	7.17E-57	3.38E-20	9.66E-13	3.73E-08	9.96E-06
Std.	1.63E-18	9.14E-02	1.86E+01	7.64E+01	1.44E+02	2.79E-56	6.01E-20	1.35E-12	2.61E-08	8.82E-06
F4										
Best	4.03E+06	3.06E+25	5.07E+33	5.23E+36	7.26E+40	8.57E-09	9.39E+06	1.01E+13	1.89E+16	1.74E+17
Ort.	1.82E+20	4.27E+31	3.69E+39	1.50E+42	1.02E+46	1.03E+13	3.32E+19	2.38E+22	8.77E+23	5.15E+24
Std.	7.04E+20	1.29E+32	1.17E+40	2.74E+42	5.01E+46	5.53E+13	1.79E+20	1.28E+23	4.17E+24	2.61E+25
F5										
Best	1.16E-22	1.19E-04	1.95E-01	2.82E+00	8.81E+00	1.62E-56	1.98E-21	1.44E-14	6.89E-10	1.33E-07
Ort.	3.99E-21	3.68E-04	3.45E-01	4.18E+00	1.54E+01	2.53E-54	2.15E-20	1.74E-13	2.65E-09	2.47E-07
Std.	5.52E-21	1.68E-04	8.95E-02	1.28E+00	4.20E+00	4.66E-54	2.47E-20	1.72E-13	1.35E-09	4.21E-07
F6										
Best	9.54E+01	9.41E+01	9.13E+01	9.28E+01	9.36E+01	9.16E+01	9.28E+01	8.73E+01	9.26E+01	9.28E+01
Ort.	9.74E+01	9.62E+01	9.57E+01	9.60E+01	9.58E+01	9.69E+01	9.63E+01	9.58E+01	9.59E+01	9.57E+01
Std.	8.15E-01	1.04E+00	1.38E+00	1.08E+00	9.27E-01	1.53E+00	1.27E+00	1.85E+00	1.25E+00	1.19E+00
F7										
Best	1.93E-14	1.27E-03	8.23E-01	1.52E+01	4.80E+01	4.68E-14	2.13E-14	2.70E-13	1.91E-08	2.11E-06
Ort.	3.03E-12	2.92E-02	9.01E+00	5.06E+01	8.01E+01	4.84E-13	6.52E-14	9.22E-12	5.40E-07	3.58E-05
Std.	1.25E-11	2.88E-02	1.23E+01	1.94E+01	1.69E+01	6.51E-13	2.68E-14	1.30E-11	8.41E-07	4.80E-05
F8										
Best	2.38E-20	2.15E-03	2.38E+00	6.65E+00	2.12E+01	5.99E-50	1.69E-19	7.37E-13	1.11E-09	5.01E-07
Ort.	3.57E-16	8.75E-02	7.57E+00	3.58E+01	7.11E+01	1.84E-42	2.11E-16	5.86E-10	1.92E-07	1.31E-05
Std.	5.90E-16	1.22E-01	7.70E+00	1.95E+01	1.82E+01	6.55E-42	4.45E-16	2.96E-09	2.80E-07	2.68E-05
F9										
Best	7.09E-02	4.05E-01	2.16E+00	6.85E+00	4.33E+01	3.75E-02	5.04E-02	9.88E-02	1.45E-01	1.30E-01

Çizelge 4.4. (devam) Fonksiyonların analiz sonuçları ST=0.1 ve D=100.

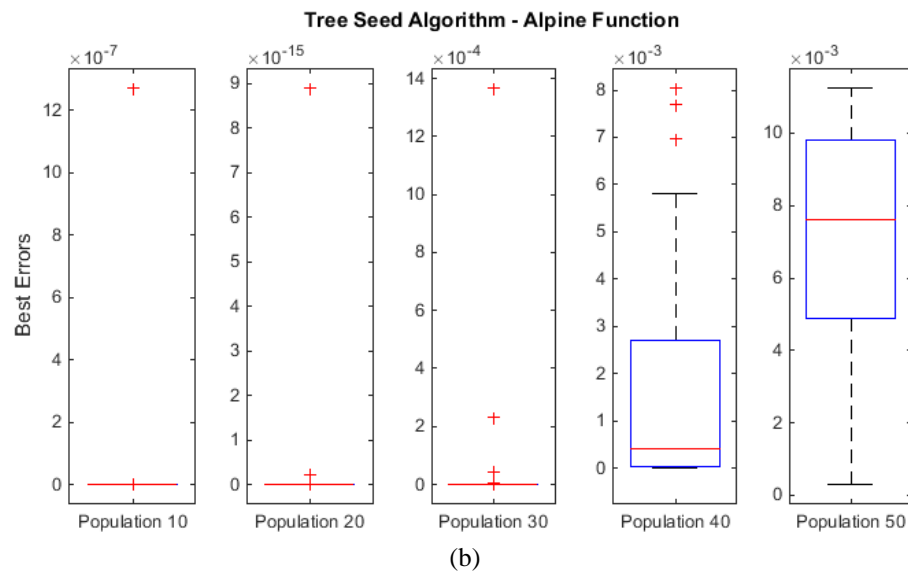
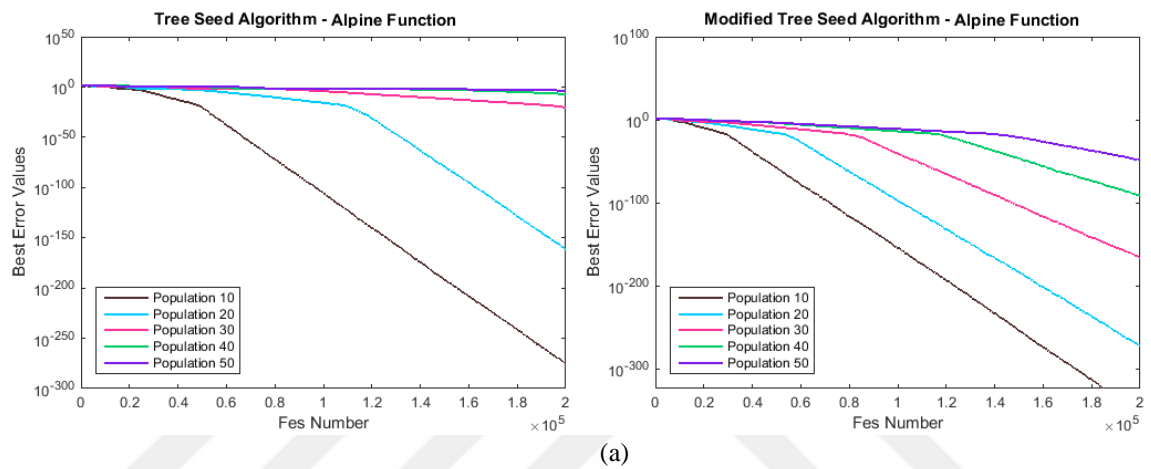
Ort.	1.61E-01	9.48E-01	1.23E+01	4.46E+01	6.97E+01	6.75E-02	1.26E-01	1.74E-01	2.34E-01	2.85E-01
Std.	4.63E-02	3.18E-01	8.47E+00	1.83E+01	1.44E+01	2.84E-02	3.82E-02	4.60E-02	6.12E-02	7.17E-02
F10										
Best	6.56E+01	2.80E+02	2.52E+04	1.23E+05	2.87E+05	2.56E+01	9.80E+01	9.58E+01	8.74E+01	9.63E+01
Ort.	1.77E+02	1.73E+03	1.32E+05	5.88E+05	8.19E+05	1.30E+02	1.78E+02	1.81E+02	1.94E+02	2.15E+02
Std.	5.24E+01	2.10E+03	1.14E+05	2.86E+05	2.58E+05	4.89E+01	5.26E+01	4.87E+01	4.65E+01	5.73E+01
F11										
Best	1.66E+02	1.25E+02	1.71E+02	3.46E+02	5.25E+02	1.57E+02	1.19E+02	1.04E+02	1.06E+02	9.05E+01
Ort.	2.32E+02	1.76E+02	2.87E+02	6.26E+02	8.12E+02	2.36E+02	1.74E+02	1.46E+02	1.38E+02	1.25E+02
Std.	3.63E+01	2.74E+01	8.70E+01	1.94E+02	1.78E+02	3.65E+01	3.07E+01	2.27E+01	1.96E+01	2.12E+01
F12										
Best	2.09E+02	2.23E+02	3.00E+02	5.36E+02	6.47E+02	1.94E+02	1.54E+02	1.71E+02	1.58E+02	1.67E+02
Ort.	2.83E+02	3.10E+02	6.03E+02	8.82E+02	9.96E+02	2.96E+02	2.32E+02	2.13E+02	2.18E+02	2.18E+02
Std.	4.57E+01	8.03E+01	2.15E+02	1.84E+02	1.28E+02	4.54E+01	3.46E+01	3.02E+01	3.03E+01	2.47E+01
F13										
Best	0.00E+00	1.61E-02	1.92E+00	8.84E+00	3.04E+01	0.00E+00	0.00E+00	1.01E-13	7.64E-09	3.51E-07
Ort.	2.47E-04	2.78E-01	2.95E+00	1.71E+01	4.56E+01	2.15E-16	1.07E-03	2.13E-03	2.47E-04	1.17E-03
Std.	1.33E-03	1.87E-01	7.55E-01	4.68E+00	7.51E+00	2.61E-16	2.75E-03	4.70E-03	1.33E-03	2.97E-03
F14										
Best	7.67E+03	5.83E+03	8.98E+03	1.36E+04	1.81E+04	8.05E+03	7.57E+03	6.34E+03	6.66E+03	5.69E+03
Ort.	1.06E+04	9.26E+03	1.42E+04	2.03E+04	2.49E+04	1.12E+04	9.45E+03	8.48E+03	8.30E+03	7.60E+03
Std.	1.77E+03	1.67E+03	4.22E+03	4.47E+03	4.15E+03	1.35E+03	1.06E+03	1.04E+03	1.02E+03	7.99E+02
F15										
Best	2.29E-12	3.75E-02	3.10E+00	6.45E+00	8.88E+00	1.33E-14	4.22E-12	6.35E-08	5.85E-06	1.22E-04
Ort.	1.16E-10	1.02E-01	4.51E+00	7.77E+00	1.04E+01	3.85E-02	4.95E-11	1.86E-07	3.72E-05	3.88E-04
Std.	1.56E-10	4.73E-02	5.34E-01	5.94E-01	5.38E-01	2.07E-01	7.11E-11	1.12E-07	2.18E-05	1.50E-04

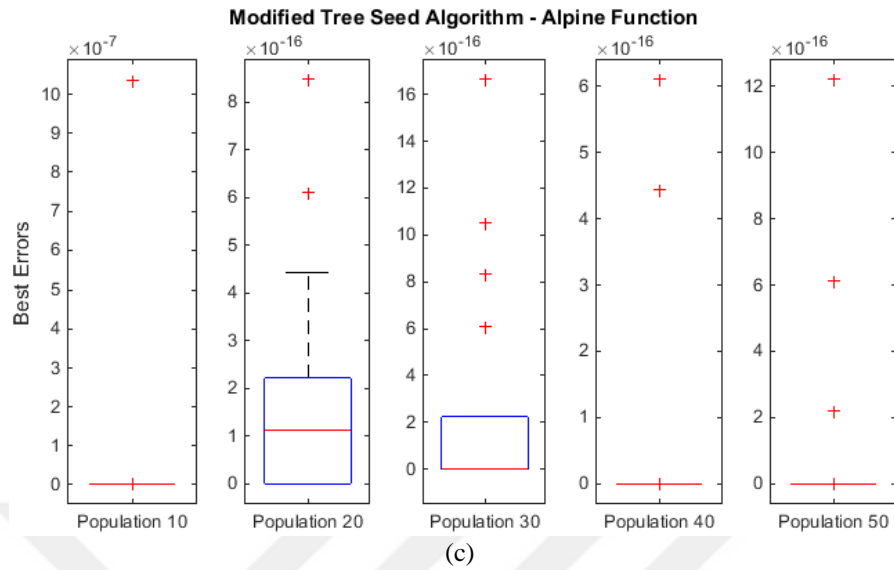
Çizelge 4.2, 4.3 ve 4.4'te algoritmanın ST değeri 0.1 ve problem boyutu 20, 50, 100 olarak alınmıştır. Bu şartlarda hem TSA hem de MTSA algoritmaları ile F1-F15 fonksiyonları çözülmüştür. Bu çizelgelere göre bazı fonksiyonlarda popülasyon değeri 10 iken TSA algoritması iyi sonuç vermektedir ancak geriye kalan fonksiyonlarda ise MTSA'nın sonuçları TSA'nın sonuçlarına göre daha iyi bir sonuç elde ederek MTSA iyi bir performans sergilediği söylenebilir.



Şekil 4.1. $D=20$ ve $ST=0.1$ değerleri için F1 fonksiyonuna ait TSA ve MTSA'nın yakınsama (a) ve kutu (b ve c) grafikleri.

Şekil 4.1'de 30 kez çalıştırılan sphere fonksiyonuna ait yakınsama grafiği ve kutu grafiklerine yer verilmiştir. Her iki algoritma birbirine benzer bir yakınsama sergilemiştir ancak MTSA daha iyi bir sonuç elde etmiştir. Kutu grafikleri incelendiğinde TSA'nın 40 ve 50 popülasyonda kararsız bir düzen sergilediği ancak 10, 20 ve 30 popülasyonda en iyi sonuçların daha fazla olduğu görülmektedir. MTSA'da ise 20 ve 50 popülasyonda hafif kararsızlık olsa da 10, 20 ve 40 popülasyonda daha kararlı bir düzen sergileyerek TSA'ya göre daha kararlılık sergilediği söylenebilir.





Şekil 4.2. D=20 ve ST=0.1 değerleri için F7 fonksiyonuna ait TSA ve MTSA'nın yakınsama (a) ve kutu grafiği (b ve c) grafikleri.

Şekil 4.2'de TSA'nın alpine fonksiyonuna ait yakınsama grafiğine bakıldığında 30, 40 ve 50 popülasyona ait değerlerin birbirine yakın değerlere sahip olduğu ancak 10 ve 20 popülasyonda daha iyi yakınsama yaparak iyi bir sonuç elde ettiği görülmektedir. MTSA ise bütün popülasyon değerlerinde TSA'ya göre daha iyi sonuç elde ederken birbirine yakın değerler bulunmamaktadır. Kutu grafiğinde ise MTSA 20 popülasyon hariç diğer popülasyon değerlerinde daha kararlı olduğu görülmekle bundan dolayı TSA'dan daha iyi bir sonuç elde etmektedir.

Algoritmanın ST değeri 0.5 ve problem boyutu 20 olduğunda elde edilen sonuçlar Çizelge 4.5'te verilmiştir. F6 fonksiyonunda 10 popülasyon için elde edilen değer hariç bütün fonksiyonlarda MTSA'nın TSA'ya göre en iyi çözümü ürettiği görülmektedir.

Çizelge 4.5. Fonksiyonların analiz sonuçları ST=0.5 ve D=20.

	TSA					MTSA				
	Pop=10	Pop=20	Pop=30	Pop=40	Pop=50	Pop=10	Pop=20	Pop=30	Pop=40	Pop=50
F1										
Best	1.40E-149	9.04E-64	6.93E-38	2.18E-26	3.80E-19	2.22E-205	1.99E-100	1.85E-64	2.08E-45	1.90E-33
Ort.	2.19E-144	4.68E-62	5.56E-37	1.17E-25	1.60E-18	1.26E-198	4.11E-98	9.31E-63	1.56E-44	6.38E-33
Std.	1.13E-143	7.29E-62	8.93E-37	8.00E-26	1.23E-18	0.00E+00	6.04E-98	2.39E-62	1.57E-44	4.67E-33
F2										
Best	9.22E-148	1.59E-61	2.04E-35	6.19E-24	1.98E-16	7.90E-202	1.77E-98	6.18E-62	6.05E-43	3.60E-31
Ort.	5.30E-143	1.44E-59	1.17E-34	4.35E-23	4.70E-16	6.24E-197	7.61E-95	2.52E-60	1.68E-41	5.88E-30
Std.	1.19E-142	2.14E-59	9.59E-35	3.38E-23	1.99E-16	0.00E+00	1.34E-94	3.78E-60	2.16E-41	6.73E-30
F3										
Best	2.18E-150	3.68E-65	1.51E-39	1.18E-27	1.09E-20	2.51E-207	5.97E-102	4.76E-66	5.98E-47	6.81E-35

Çizelge 4.5. (devam) Fonksiyonların analiz sonuçları ST=0.5 ve D=20.

Ort.	4.10E-146	3.50E-63	3.93E-38	7.92E-27	8.39E-20	4.44E-200	1.47E-98	5.65E-64	1.18E-45	5.98E-34
Std.	1.59E-145	6.84E-63	5.05E-38	5.35E-27	4.19E-20	0.00E+00	4.75E-98	8.28E-64	1.10E-45	4.51E-34
F4										
Best	5.62E-222	6.77E-90	4.19E-54	9.23E-38	1.80E-28	4.19E-312	3.18E-167	1.41E-115	2.70E-85	2.69E-66
Ort.	4.88E-203	1.48E-80	1.38E-49	2.15E-34	1.84E-25	3.20E-238	4.10E-144	2.27E-32	2.34E-28	1.36E-22
Std.	0.00E+00	7.97E-80	4.43E-49	9.26E-34	5.63E-25	0.00E+00	2.21E-143	1.22E-31	1.26E-27	7.30E-22
F5										
Best	1.00E-91	2.22E-38	9.58E-23	9.37E-16	9.40E-12	9.40E-130	1.74E-62	2.69E-40	1.53E-28	3.74E-21
Ort.	2.50E-89	1.75E-37	2.88E-22	2.03E-15	2.43E-11	8.87E-127	2.15E-61	1.76E-39	6.68E-28	8.06E-21
Std.	5.01E-89	1.53E-37	1.96E-22	9.97E-16	9.28E-12	2.47E-126	4.08E-61	1.42E-39	4.37E-28	4.30E-21
F6										
Best	3.26E-12	1.84E-05	3.40E-03	4.62E-02	2.81E-01	5.08E-12	2.14E-10	5.75E-08	1.09E-05	1.12E-04
Ort.	1.52E-10	9.09E-05	1.15E-02	1.04E-01	3.94E-01	1.05E-07	1.72E-07	1.43E-01	1.90E-03	1.85E-03
Std.	2.55E-10	6.49E-05	4.64E-03	3.13E-02	7.46E-02	3.69E-07	4.27E-07	6.73E-01	9.99E-03	7.27E-03
F7										
Best	3.41E-130	5.35E-14	1.57E-03	9.35E-03	1.65E-02	1.76E-285	4.46E-147	6.69E-55	7.99E-23	2.12E-14
Ort.	1.41E-06	5.70E-04	8.75E-03	1.63E-01	7.97E-01	7.26E-08	8.66E-08	2.17E-10	3.82E-08	1.27E-07
Std.	4.73E-06	9.99E-04	5.22E-03	3.91E-01	1.01E+00	3.18E-07	4.66E-07	1.17E-09	2.06E-07	3.86E-07
F8										
Best	3.18E-193	3.69E-85	3.01E-53	1.25E-38	1.75E-29	2.47E-259	8.80E-142	1.85E-95	1.41E-69	1.84E-53
Ort.	1.04E-185	1.53E-81	2.67E-51	7.46E-37	3.22E-28	9.31E-242	9.98E-134	1.32E-90	4.00E-25	1.76E-51
Std.	0.00E+00	4.50E-81	5.92E-51	1.51E-36	3.89E-28	0.00E+00	3.06E-133	3.01E-90	2.15E-24	3.86E-51
F9										
Best	1.41E-03	2.08E-03	2.92E-03	2.60E-03	4.32E-03	7.15E-04	1.02E-03	1.84E-03	1.13E-03	2.38E-03
Ort.	2.64E-03	4.58E-03	6.44E-03	7.97E-03	9.80E-03	2.19E-03	2.82E-03	3.60E-03	4.18E-03	4.89E-03
Std.	6.53E-04	1.54E-03	1.81E-03	2.56E-03	3.06E-03	7.81E-04	9.67E-04	7.29E-04	1.50E-03	1.50E-03
F10										
Best	2.40E+00	1.23E+01	1.29E+01	1.46E+01	1.43E+01	1.66E-01	4.20E+00	1.09E+01	1.06E+01	1.14E+01
Ort.	1.19E+01	1.36E+01	1.45E+01	1.51E+01	1.54E+01	1.24E+01	1.57E+01	1.35E+01	1.38E+01	1.42E+01
Std.	1.07E+01	5.67E-01	4.62E-01	2.69E-01	2.84E-01	1.67E+01	1.46E+01	1.23E+00	9.66E-01	8.30E-01
F11										
Best	9.95E-01	3.55E+00	2.33E+01	4.70E+01	6.24E+01	1.78E-15	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	9.54E-12
Ort.	4.89E+00	2.62E+01	5.58E+01	7.05E+01	8.59E+01	5.07E+00	9.29E-01	9.65E-01	2.86E+00	7.59E+00
Std.	4.57E+00	1.27E+01	1.33E+01	1.07E+01	8.57E+00	2.84E+00	9.94E-01	2.52E+00	4.80E+00	9.26E+00
F12										
Best	5.00E+00	1.41E+01	2.79E+01	4.20E+01	4.67E+01	2.00E+00	2.00E+00	3.00E+00	6.31E+00	9.00E+00
Ort.	9.61E+00	2.96E+01	4.88E+01	5.65E+01	6.51E+01	7.77E+00	6.59E+00	1.13E+01	1.37E+01	1.71E+01
Std.	3.31E+00	7.61E+00	9.87E+00	8.45E+00	9.57E+00	3.07E+00	3.61E+00	5.04E+00	3.38E+00	4.58E+00
F13										
Best	0.00E+00	0.00E+00	4.63E-14	1.52E-06	5.11E-06	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Ort.	9.28E-04	5.04E-03	1.96E-02	7.67E-02	1.30E-01	8.86E-04	1.92E-09	7.75E-12	0.00E+00	7.77E-17
Std.	2.80E-03	1.40E-02	2.57E-02	7.40E-02	9.04E-02	2.50E-03	1.04E-08	4.17E-11	0.00E+00	4.19E-16
F14										
Best	2.55E-04	2.55E-04	1.80E+03	1.82E+03	2.61E+03	2.55E-04	2.55E-04	2.55E-04	2.55E-04	2.55E-04
Ort.	2.01E+02	1.45E+03	2.58E+03	2.99E+03	3.25E+03	2.61E+02	2.37E+01	1.05E+01	1.62E+02	3.35E+02
Std.	1.30E+02	7.19E+02	3.96E+02	3.42E+02	3.06E+02	1.48E+02	4.74E+01	3.20E+01	3.18E+02	5.26E+02

Çizelge 4.5. (devam) Fonksiyonların analiz sonuçları ST=0.5 ve D=20.

F15										
Best	2.22E-15	2.22E-15	2.22E-15	2.02E-13	6.10E-10	2.22E-15	2.22E-15	2.22E-15	2.22E-15	2.22E-15
Ort.	2.29E-15	2.22E-15	2.74E-15	1.29E-12	2.52E-09	2.59E-15	2.22E-15	2.22E-15	2.29E-15	3.26E-15
Std.	3.99E-16	0.00E+00	9.39E-16	2.12E-12	2.36E-09	1.01E-15	0.00E+00	0.00E+00	3.99E-16	1.11E-15

ST 0.5 ve problem boyutu 50 olduğunda Çizelge 4.6'da yer alan F6 ve F7 fonksiyonları 10 popülasyondaki değerleri TSA'da daha iyidir. Diğer tüm popülasyon değerleri için tüm fonksiyonlarda MTSA daha iyi çözüm elde etmiş ve sonuçları aynı çizelgede verilmiştir.

Çizelge 4.6. Fonksiyonların analiz sonuçları ST=0.5 ve D=50.

	TSA					MTSA				
	Pop=10	Pop=20	Pop=30	Pop=40	Pop=50	Pop=10	Pop=20	Pop=30	Pop=40	Pop=50
F1										
Best	1.31E-57	1.46E-16	2.07E-07	4.68E-04	4.68E-02	9.45E-113	2.17E-48	2.24E-32	4.53E-22	3.17E-17
Ort.	3.33E-55	1.40E-15	5.91E-07	1.49E-03	9.61E-02	1.14E-108	6.35E-47	4.26E-31	2.64E-21	3.04E-16
Std.	4.97E-55	1.07E-15	2.90E-07	6.37E-04	3.29E-02	4.92E-108	1.09E-46	6.02E-31	2.55E-21	2.12E-16
F2										
Best	3.28E-56	1.72E-14	1.40E-05	3.00E-02	3.23E+00	1.52E-110	1.76E-46	8.31E-30	4.95E-20	5.61E-15
Ort.	7.82E-53	1.30E-13	3.66E-05	8.18E-02	6.11E+00	2.62E-106	8.69E-45	2.49E-28	5.17E-19	4.87E-14
Std.	2.31E-52	1.85E-13	1.88E-05	2.42E-02	1.83E+00	9.49E-106	1.35E-44	4.82E-28	6.27E-19	3.70E-14
F3										
Best	3.22E-58	2.20E-17	2.30E-08	8.30E-05	6.70E-03	5.28E-114	4.40E-50	6.24E-33	3.90E-23	8.90E-19
Ort.	2.72E-55	3.15E-16	7.09E-08	1.82E-04	1.32E-02	1.28E-108	1.37E-47	1.14E-31	3.11E-22	3.84E-17
Std.	1.23E-54	3.98E-16	5.03E-08	5.78E-05	3.89E-03	6.00E-108	2.14E-47	2.01E-31	3.32E-22	4.19E-17
F4										
Best	2.51E-53	7.15E-12	4.05E-01	1.29E+03	1.56E+05	9.99E-86	1.83E-47	4.99E-30	2.55E-24	6.48E-21
Ort.	9.51E-41	1.72E-06	4.12E+01	4.35E+04	7.27E+06	5.92E+01	4.45E-01	4.58E+02	4.56E-03	7.24E-04
Std.	3.77E-40	6.76E-06	6.33E+01	7.24E+04	1.05E+07	3.19E+02	2.39E+00	2.46E+03	1.58E-02	3.75E-03
F5										
Best	8.80E-43	1.18E-12	2.95E-06	1.19E-03	4.21E-02	8.83E-83	4.97E-36	8.22E-24	9.75E-17	3.32E-13
Ort.	1.26E-41	5.08E-12	8.68E-06	3.49E-03	9.04E-02	5.29E-81	7.37E-35	5.36E-23	3.34E-16	1.75E-12
Std.	1.30E-41	4.38E-12	2.94E-06	1.24E-03	3.69E-02	8.47E-81	8.62E-35	7.86E-23	1.92E-16	7.70E-13
F6										
Best	6.99E+00	2.96E+01	4.40E+01	5.78E+01	6.07E+01	1.71E+01	6.14E+00	6.67E+00	9.75E+00	1.32E+01
Ort.	1.33E+01	3.57E+01	5.64E+01	6.56E+01	7.04E+01	3.54E+01	1.79E+01	1.38E+01	1.57E+01	1.99E+01
Std.	3.68E+00	4.21E+00	6.42E+00	4.27E+00	4.14E+00	8.53E+00	8.94E+00	3.95E+00	4.48E+00	3.84E+00
F7										
Best	4.44E-16	1.55E-04	1.93E-01	9.65E+00	2.12E+01	1.05E-15	2.22E-16	2.47E-16	7.16E-12	3.90E-08
Ort.	7.09E-06	1.62E-01	1.21E+01	2.25E+01	3.16E+01	3.17E-03	9.98E-08	4.48E-07	2.98E-05	1.34E-03
Std.	2.67E-05	4.78E-01	7.36E+00	5.67E+00	4.55E+00	1.48E-02	5.33E-07	2.41E-06	1.36E-04	3.41E-03
F8										
Best	4.61E-59	1.23E-16	6.08E-09	1.77E-05	9.12E-04	2.58E-114	4.12E-55	3.49E-38	1.40E-26	1.94E-22
Ort.	7.67E-54	1.90E-15	8.30E-08	8.42E-05	2.53E-03	1.03E-105	2.25E-50	2.22E-34	3.10E-25	2.89E-20

Çizelge 4.6. (devam) Fonksiyonların analiz sonuçları ST=0.5 ve D=50.

Std.	3.81E-53	2.52E-15	6.59E-08	4.80E-05	1.19E-03	4.51E-105	5.40E-50	1.01E-33	5.86E-25	5.37E-20
F9										
Best	1.01E-02	4.32E-02	6.25E-02	1.25E-01	1.23E-01	6.10E-03	1.37E-02	1.34E-02	1.90E-02	1.52E-02
Ort.	2.05E-02	6.17E-02	1.13E-01	1.72E-01	2.52E-01	1.32E-02	2.16E-02	2.39E-02	3.20E-02	3.62E-02
Std.	6.01E-03	1.09E-02	3.05E-02	3.06E-02	5.85E-02	3.91E-03	5.41E-03	5.72E-03	7.94E-03	7.89E-03
F10										
Best	3.03E+01	4.36E+01	4.76E+01	1.71E+02	6.70E+02	6.37E-03	2.58E+01	3.97E+01	4.06E+01	4.37E+01
Ort.	5.71E+01	4.53E+01	6.00E+01	3.72E+02	1.00E+03	5.55E+01	4.90E+01	5.17E+01	5.31E+01	4.55E+01
Std.	3.38E+01	3.22E+00	2.66E+01	1.10E+02	2.45E+17	3.76E+01	1.96E+01	2.02E+01	1.98E+01	5.07E+00
F11										
Best	2.59E+01	1.89E+01	1.12E+02	2.28E+02	2.29E+02	2.09E+01	1.19E+01	1.09E+01	9.95E+00	1.01E+01
Ort.	3.73E+01	1.01E+02	2.32E+02	3.41E+02	3.76E+02	3.96E+01	2.29E+01	1.80E+01	3.79E+01	3.02E+01
Std.	7.25E+00	6.98E+01	6.45E+01	4.36E+01	3.95E+01	1.04E+01	5.09E+00	4.56E+00	2.64E+01	1.77E+01
F12										
Best	3.80E+01	7.80E+01	1.11E+02	2.21E+02	2.20E+02	3.50E+01	2.70E+01	4.21E+01	4.26E+01	5.04E+01
Ort.	6.74E+01	1.82E+02	2.49E+02	3.17E+02	3.58E+02	4.99E+01	6.30E+01	6.71E+01	9.86E+01	1.05E+02
Std.	2.25E+01	5.71E+01	5.37E+01	4.50E+01	3.48E+01	1.03E+01	2.28E+01	2.42E+01	4.60E+01	4.56E+01
F13										
Best	0.00E+00	8.88E-16	1.11E-06	1.91E-03	1.95E-01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Ort.	2.47E-04	1.58E-10	1.27E-04	3.12E-02	3.59E-01	3.29E-04	3.70E-18	0.00E+00	0.00E+00	5.73E-14
Std.	1.33E-03	5.96E-10	5.28E-04	2.97E-02	1.21E-01	1.77E-03	1.99E-17	0.00E+00	0.00E+00	2.52E-13
F14										
Best	1.66E+03	2.15E+03	6.07E+03	9.69E+03	9.81E+03	1.46E+03	3.55E+02	7.11E+02	2.37E+02	8.35E+02
Ort.	2.40E+03	7.80E+03	1.03E+04	1.18E+04	1.24E+04	2.41E+03	1.38E+03	1.54E+03	3.23E+03	5.14E+03
Std.	3.64E+02	2.40E+03	1.64E+03	8.36E+02	6.79E+02	5.54E+02	3.74E+02	1.29E+03	2.49E+03	2.62E+03
F15										
Best	6.66E-15	8.87E-09	2.31E-04	1.49E-02	2.64E-01	6.66E-15	6.66E-15	8.88E-15	5.28E-12	1.49E-09
Ort.	7.18E-15	1.96E-05	6.41E-04	5.29E-02	1.00E+00	7.77E-15	7.33E-15	9.99E-15	1.31E-11	3.43E-09
Std.	9.39E-16	1.96E-05	4.57E-04	5.54E-02	6.97E-01	1.49E-15	1.02E-15	1.11E-15	5.96E-12	1.51E-09

Çizelge 4.7’de ST değeri 0.5 ve 100 boyut için değerler elde edilmiştir. F7 fonksiyonu TSA’da 10 popülasyon değeri ile MTSA’ya göre daha iyi bir sonuç elde ederken diğer durumlarda MTSA daha başarılı çözüm elde etmiştir.

Çizelge 4.7. Fonksiyonların analiz sonuçları ST=0.5 ve D=100.

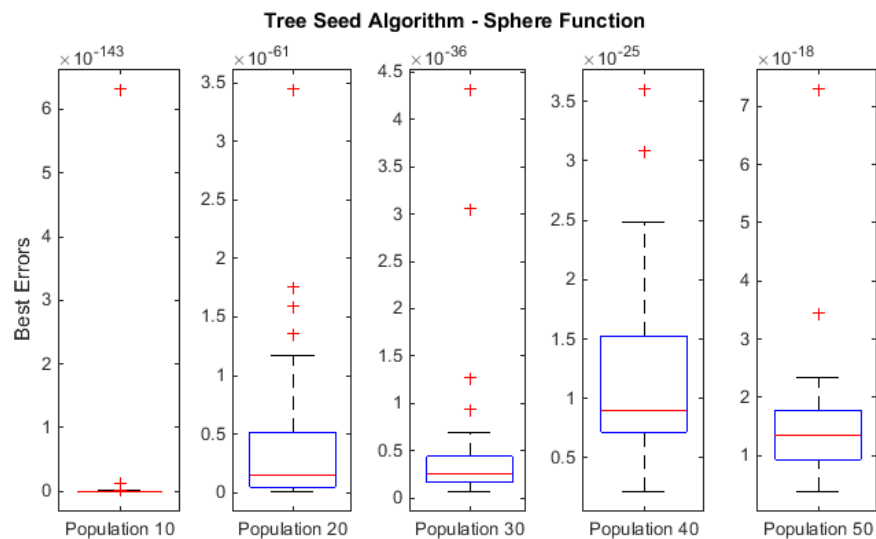
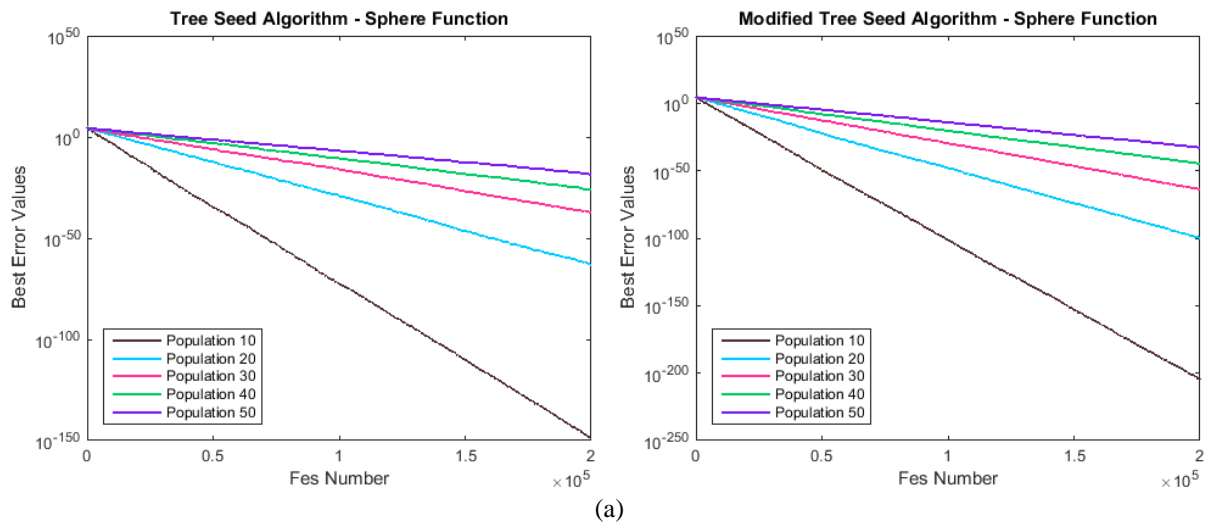
	TSA					MTSA				
	Pop=10	Pop=20	Pop=30	Pop=40	Pop=50	Pop=10	Pop=20	Pop=30	Pop=40	Pop=50
F1										
Best	1.02E-23	3.64E-02	1.13E+02	1.63E+03	5.43E+03	9.58E-61	3.15E-22	9.52E-14	1.70E-08	2.36E-06
Ort.	1.58E-21	1.04E-01	2.18E+02	2.81E+03	9.99E+03	2.01E-56	1.19E-20	9.31E-13	1.17E-07	1.53E-05
Std.	3.68E-21	5.39E-02	9.39E+01	8.54E+02	2.29E+03	1.02E-55	1.47E-20	8.11E-13	1.17E-07	1.17E-05
F2										
Best	2.07E-21	1.56E+00	5.98E+03	8.19E+04	2.68E+05	1.04E-58	8.27E-20	9.79E-12	2.42E-06	6.66E-04

Çizelge 4.7. (devam) Fonksiyonların analiz sonuçları ST=0.5 ve D=100.

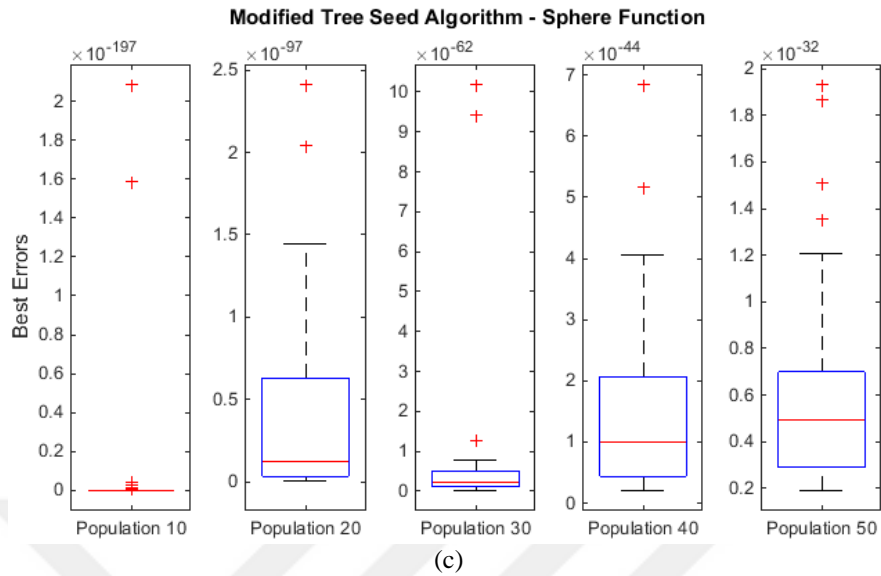
Ort.	1.28E-19	8.02E+00	1.16E+04	1.38E+05	4.46E+05	1.46E-55	2.67E-18	1.47E-10	1.87E-05	3.07E-03
Std.	1.43E-19	5.49E+00	3.29E+03	2.80E+04	9.18E+04	3.05E-55	2.70E-18	1.20E-10	1.69E-05	3.00E-03
F3										
Best	4.83E-24	7.64E-03	2.76E+01	2.79E+02	1.53E+03	3.63E-61	3.32E-22	1.57E-14	7.09E-09	9.11E-07
Ort.	1.45E-21	2.54E-02	5.91E+01	7.43E+02	2.47E+03	1.40E-58	3.13E-21	2.89E-13	3.36E-08	6.32E-06
Std.	2.83E-21	1.51E-02	1.90E+01	2.25E+02	4.29E+02	2.52E-58	2.50E-21	3.88E-13	3.64E-08	7.43E-06
F4										
Best	1.08E-01	9.73E+16	4.73E+25	1.18E+34	3.25E+38	2.31E-05	3.21E+04	2.19E+07	4.62E+10	5.79E+08
Ort.	1.39E+08	4.29E+24	7.24E+31	4.03E+37	7.25E+42	2.09E+53	1.54E+40	3.84E+32	7.16E+33	4.49E+29
Std.	4.57E+08	1.39E+25	3.35E+32	6.98E+37	2.23E+43	7.39E+53	7.34E+40	2.04E+33	3.85E+34	2.42E+30
F5										
Best	6.01E-22	4.66E-04	6.35E-01	7.71E+00	3.26E+01	2.46E-52	3.35E-20	2.62E-13	9.34E-09	9.37E-07
Ort.	1.32E-20	8.30E-04	1.11E+00	1.25E+01	4.23E+01	2.20E-50	3.88E-19	2.15E-12	3.24E-08	3.31E-06
Std.	1.63E-20	2.34E-04	3.71E-01	2.72E+00	6.89E+00	3.86E-50	3.26E-19	1.73E-12	1.78E-08	1.72E-06
F6										
Best	7.70E+01	8.36E+01	8.97E+01	9.21E+01	9.14E+01	6.48E+01	7.21E+01	7.16E+01	7.40E+01	7.44E+01
Ort.	8.90E+01	9.40E+01	9.51E+01	9.54E+01	9.52E+01	7.53E+01	8.29E+01	8.61E+01	8.80E+01	8.83E+01
Std.	6.30E+00	2.60E+00	2.09E+00	1.17E+00	1.42E+00	6.07E+00	7.31E+00	5.84E+00	5.33E+00	4.95E+00
F7										
Best	1.48E-14	2.84E-02	5.07E+00	3.20E+01	5.00E+01	3.21E-14	8.24E-15	3.60E-10	9.71E-06	2.28E-04
Ort.	2.21E-07	3.54E+00	4.64E+01	7.33E+01	9.39E+01	5.53E-05	1.10E-11	4.71E-06	2.65E-03	2.66E-02
Std.	1.14E-06	1.12E+01	2.12E+01	1.59E+01	1.45E+01	2.98E-04	5.16E-11	1.94E-05	5.92E-03	3.04E-02
F8										
Best	3.86E-23	4.63E-04	2.99E-01	7.53E+00	2.86E+01	7.68E-53	2.50E-22	4.03E-16	2.30E-10	3.78E-08
Ort.	4.29E-20	2.67E-03	2.47E+00	2.52E+01	5.54E+01	4.25E-47	1.93E-20	2.40E-13	8.17E-09	1.48E-06
Std.	1.13E-19	2.67E-03	1.71E+00	1.20E+01	1.63E+01	1.50E-46	2.54E-20	3.07E-13	1.37E-08	3.43E-06
F9										
Best	6.95E-02	3.45E-01	1.44E+00	7.74E+00	3.22E+01	3.55E-02	8.19E-02	8.50E-02	1.41E-01	1.83E-01
Ort.	1.36E-01	6.41E-01	3.62E+00	2.61E+01	6.25E+01	7.11E-02	1.18E-01	1.48E-01	2.08E-01	2.67E-01
Std.	7.13E-02	1.48E-01	1.84E+00	9.87E+00	1.57E+01	2.64E-02	3.03E-02	3.51E-02	4.17E-02	5.26E-02
F10										
Best	5.56E+01	2.28E+02	9.17E+03	8.55E+04	2.63E+05	6.10E+00	9.21E+01	7.29E+01	9.21E+01	9.33E+01
Ort.	1.78E+02	5.32E+02	3.70E+04	2.71E+05	7.96E+05	1.21E+02	1.75E+02	1.65E+02	1.59E+02	1.79E+02
Std.	5.60E+01	1.97E+02	3.48E+04	1.23E+05	2.91E+05	7.34E+01	4.49E+01	4.30E+01	4.95E+01	5.44E+01
F11										
Best	1.11E+02	1.04E+02	3.52E+02	4.92E+02	7.07E+02	1.24E+02	7.06E+01	5.93E+01	5.31E+01	6.41E+01
Ort.	1.46E+02	1.76E+02	6.10E+02	7.86E+02	9.09E+02	1.61E+02	9.98E+01	8.60E+01	7.79E+01	1.11E+02
Std.	1.89E+01	5.71E+01	1.48E+02	1.03E+02	7.87E+01	2.27E+01	1.38E+01	1.57E+01	1.58E+01	7.82E+01
F12										
Best	1.41E+02	1.84E+02	3.72E+02	3.90E+02	8.58E+02	1.44E+02	1.25E+02	1.21E+02	1.07E+02	1.53E+02
Ort.	2.17E+02	3.74E+02	6.80E+02	8.58E+02	9.36E+02	2.01E+02	1.67E+02	1.86E+02	2.24E+02	2.34E+02
Std.	3.84E+01	1.50E+02	1.56E+02	1.22E+02	4.94E+01	4.13E+01	3.35E+01	3.83E+01	9.96E+01	5.73E+01
F13										
Best	0.00E+00	1.97E-02	1.87E+00	1.45E+01	5.93E+01	0.00E+00	0.00E+00	5.74E-14	8.31E-09	2.23E-06
Ort.	4.11E-04	6.06E-02	3.05E+00	2.88E+01	9.02E+01	5.75E-04	0.00E+00	1.02E-12	5.79E-08	3.01E-05

Çizelge 4.7. (devam) Fonksiyonların analiz sonuçları ST=0.5 ve D=100.

Std.	2.21E-03	4.53E-02	7.69E-01	7.90E+00	1.68E+01	2.18E-03	0.00E+00	2.37E-12	4.26E-08	6.01E-05
F14										
Best	6.94E+03	6.79E+03	1.70E+04	2.24E+04	2.48E+04	6.54E+03	5.09E+03	4.17E+03	3.67E+03	5.56E+03
Ort.	8.44E+03	1.32E+04	2.43E+04	2.74E+04	2.90E+04	8.90E+03	6.23E+03	6.51E+03	7.38E+03	1.25E+04
Std.	9.30E+02	4.79E+03	3.97E+03	1.86E+03	1.32E+03	9.54E+02	6.97E+02	3.49E+03	3.62E+03	6.65E+03
F15										
Best	1.17E-12	3.72E-02	2.89E+00	8.51E+00	1.25E+01	1.33E-14	3.07E-12	3.04E-08	1.30E-05	2.18E-04
Ort.	9.84E-10	4.10E-01	6.05E+00	1.21E+01	1.53E+01	1.91E-14	1.92E-11	1.42E-07	4.86E-05	6.03E-04
Std.	3.63E-09	1.20E+00	3.15E+00	3.79E+00	2.46E+00	4.00E-15	2.01E-11	1.14E-07	2.07E-05	2.71E-04

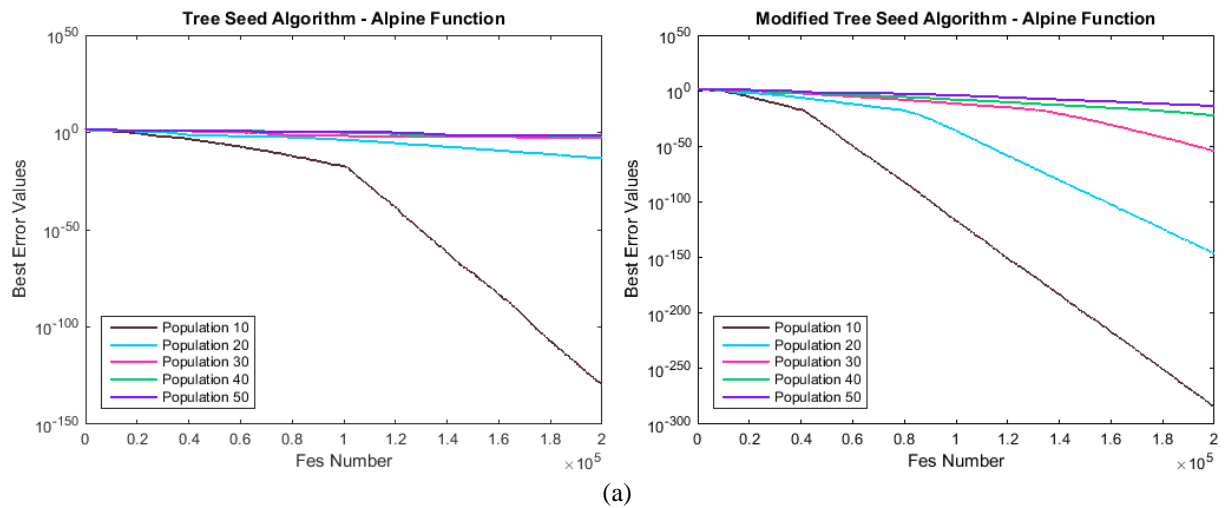


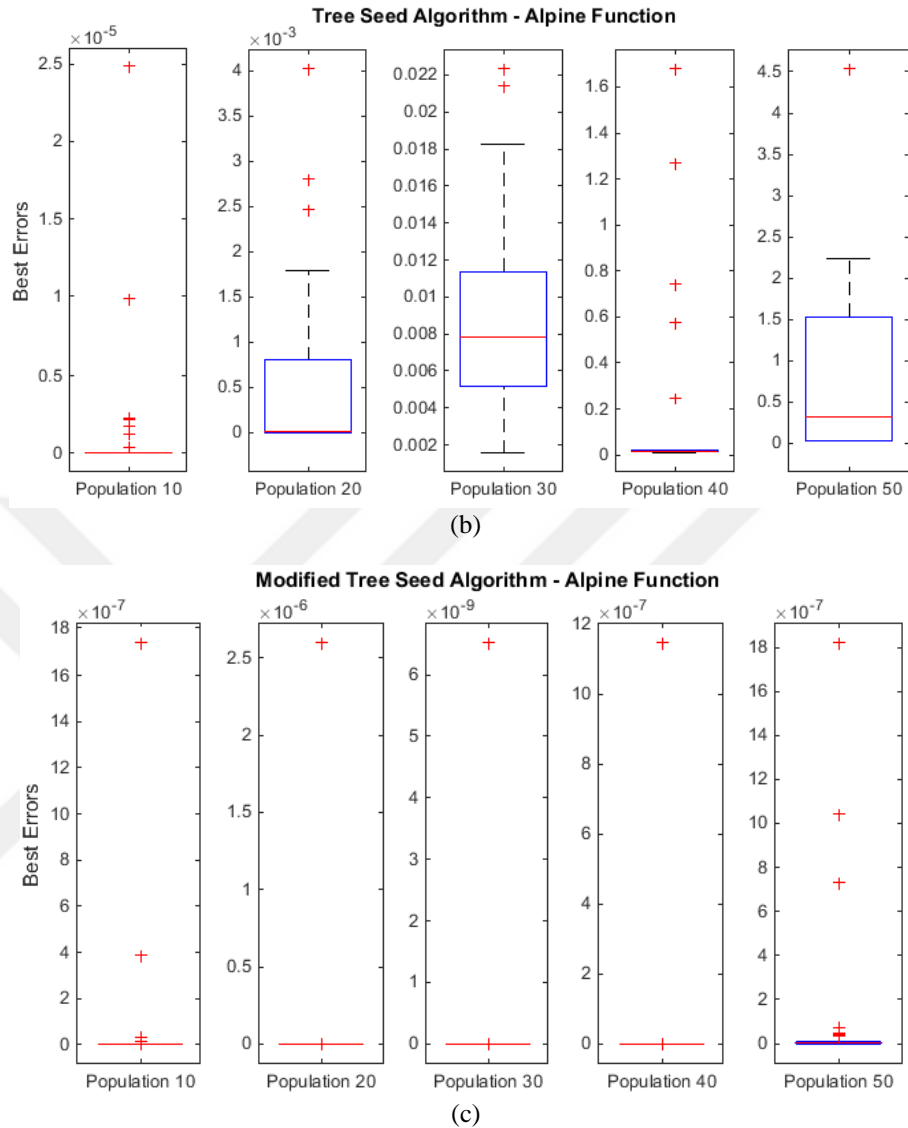
(b)



Şekil 4.3. D=20 ve ST=0.5 değerleri için F1 fonksiyonuna ait TSA ve MTSA'nın yakınsama (a) ve kutu (b ve c) grafikleri.

Şekil 4.3'te TSA ve MTSA'nın sphere fonksiyonu için yakınsama grafiği mevcuttur. Burada MTSA'nın popülasyon değeri 10 iken diğer popülasyon değerlerine göre daha hızlı bir yakınsama gösterdiği ve diğer yöntemlerden daha iyi bir sonuç elde ettiği söylenebilir. Kutu grafiklerinde ise hem TSA hem de MTSA kararlılık yönünden birbirine benzer olduğu söylenebilir.





Şekil 4.4. $D=20$ ve $ST=0.5$ değerleri için F7 fonksiyonuna ait TSA ve MTSA'nın yakınsama (a) ve kutu (b ve c) grafikleri.

Şekil 4.4'te alpine fonksiyonunda TSA'nın yakınsama grafiği 20, 30, 40 ve 50 popülasyon değerlerinde birbirine çok yakın iken popülasyon değeri 10 olduğunda daha hızlı bir yakınsama sergileyerek diğerlerinden farklı bir görünüme sahip olmuştur. MTSA'nın sonuçları TSA'dan daha iyi olduğundan 40 ve 50 popülasyon hariç diğer popülasyon değerlerinde daha hızlı bir yakınsama yapmıştır. TSA ve MTSA'nın kutu grafiği şekillerine bakıldığında ise MTSA'nın TSA'ya göre daha kararlı bir grafik oluşturduğu görülmektedir.

Çizelge 4.8'de algoritmaların ST değeri 0.9 ve boyutu 20 alınmıştır. Bu çözüm sonuçları incelendiğinde bütün popülasyon değerleri için MTSA'nın TSA'ya göre daha optimum sonuç elde ettiği görülmektedir.

Çizelge 4.8. Fonksiyonların analiz sonuçları ST=0.9 ve D=20.

	TSA					MTSA				
	Pop=10	Pop=20	Pop=30	Pop=40	Pop=50	Pop=10	Pop=20	Pop=30	Pop=40	Pop=50
F1										
Best	7.64E-92	4.86E-41	3.10E-25	7.06E-17	2.81E-12	3.11E-121	2.29E-58	6.86E-37	7.42E-26	7.61E-19
Ort.	2.45E-89	1.83E-39	1.20E-23	2.27E-16	8.73E-12	3.92E-117	4.42E-56	7.84E-36	6.52E-25	3.15E-18
Std.	6.43E-89	2.44E-39	1.38E-23	1.46E-16	4.61E-12	1.10E-116	6.81E-56	7.42E-36	7.19E-25	1.85E-18
F2										
Best	1.54E-89	1.88E-38	1.33E-22	7.57E-15	5.43E-10	4.69E-118	1.18E-55	3.53E-34	5.67E-23	6.88E-16
Ort.	4.87E-87	3.05E-37	1.94E-21	5.23E-14	2.22E-09	4.11E-114	1.50E-53	6.72E-33	2.90E-22	2.48E-15
Std.	8.65E-87	2.83E-37	1.55E-21	3.96E-14	1.01E-09	8.08E-114	2.03E-53	6.58E-33	2.48E-22	1.46E-15
F3										
Best	2.85E-94	8.14E-42	6.15E-26	4.27E-18	1.72E-13	2.52E-122	6.94E-59	6.42E-38	3.61E-27	4.01E-20
Ort.	1.98E-90	1.64E-40	5.69E-25	1.28E-17	5.84E-13	2.50E-118	2.21E-57	8.27E-37	3.44E-26	2.45E-19
Std.	4.01E-90	4.53E-40	5.89E-25	7.19E-18	2.44E-13	4.90E-118	2.77E-57	9.20E-37	2.52E-26	1.98E-19
F4										
Best	4.85E-154	1.72E-62	9.47E-38	3.30E-26	2.59E-19	6.07E-225	1.49E-106	2.09E-67	8.42E-48	7.20E-37
Ort.	2.87E-142	1.35E-58	3.85E-34	7.81E-24	1.25E-17	2.24E-210	9.17E-99	6.83E-63	1.10E-45	3.14E-34
Std.	1.46E-141	3.27E-58	9.65E-34	1.66E-23	3.97E-17	0.00E+00	4.49E-98	3.49E-62	2.14E-45	4.58E-34
F5										
Best	2.36E-44	1.89E-18	8.19E-11	2.40E-07	3.98E-05	8.30E-64	2.89E-30	1.19E-19	9.79E-14	1.74E-10
Ort.	1.02E-42	9.80E-18	2.77E-10	6.40E-07	8.32E-05	2.78E-62	2.28E-29	4.28E-19	1.77E-13	3.96E-10
Std.	1.64E-42	6.34E-18	2.02E-10	2.93E-07	3.55E-05	5.63E-62	2.11E-29	3.11E-19	5.27E-14	1.35E-10
F6										
Best	1.22E-07	1.82E-03	6.91E-02	3.04E-01	1.22E+00	6.34E-10	2.16E-05	1.27E-03	1.21E-02	6.45E-02
Ort.	6.35E-07	7.65E-03	1.57E-01	5.88E-01	1.56E+00	2.04E-08	7.88E-05	2.81E-03	2.55E-02	1.09E-01
Std.	4.87E-07	3.50E-03	3.76E-02	1.34E-01	2.44E-01	5.23E-08	4.39E-05	1.16E-03	8.93E-03	2.50E-02
F7										
Best	2.26E-06	9.09E-03	3.13E-01	2.51E+00	3.62E+00	1.39E-07	1.01E-06	5.26E-05	1.88E-04	2.99E-03
Ort.	2.42E-04	1.11E-01	1.56E+00	3.91E+00	5.74E+00	2.75E-05	1.10E-04	4.38E-04	2.96E-03	7.35E-03
Std.	2.52E-04	1.02E-01	4.31E-01	7.17E-01	8.79E-01	4.92E-05	1.12E-04	2.30E-04	1.45E-03	3.06E-03
F8										
Best	5.13E-138	1.35E-63	7.74E-40	2.61E-29	7.39E-23	1.28E-183	4.51E-91	2.14E-61	1.49E-44	2.86E-34
Ort.	3.07E-131	1.20E-60	1.51E-38	2.80E-28	5.29E-22	4.07E-176	8.25E-88	3.78E-58	1.52E-42	5.01E-33
Std.	9.32E-131	2.52E-60	2.41E-38	3.99E-28	4.16E-22	0.00E+00	2.48E-87	8.85E-58	3.54E-42	6.46E-33
F9										
Best	1.72E-03	3.84E-03	3.85E-03	5.65E-03	8.95E-03	1.10E-03	2.67E-03	3.39E-03	4.83E-03	3.45E-03
Ort.	4.80E-03	8.60E-03	1.07E-02	1.31E-02	1.63E-02	3.30E-03	6.20E-03	6.91E-03	8.93E-03	1.13E-02
Std.	2.28E-03	2.21E-03	3.13E-03	3.85E-03	3.98E-03	1.30E-03	1.77E-03	2.11E-03	2.31E-03	4.02E-03
F10										
Best	5.35E+00	1.16E+01	1.18E+01	1.48E+01	1.59E+01	4.01E+00	7.98E+00	7.97E+00	9.87E+00	1.03E+01
Ort.	1.33E+01	1.40E+01	1.50E+01	1.64E+01	1.76E+01	1.49E+01	1.28E+01	1.25E+01	1.27E+01	1.29E+01
Std.	2.53E+00	1.05E+00	1.01E+00	7.07E-01	1.06E+00	1.25E+01	1.73E+00	2.12E+00	1.53E+00	1.25E+00

Çizelge 4.8. (devam) Fonksiyonların analiz sonuçları ST=0.9 ve D=20.

F11										
Best	0.00E+00	9.06E+00	3.19E+01	4.40E+01	6.25E+01	0.00E+00	0.00E+00	1.17E-09	4.78E-01	2.15E+00
Ort.	3.98E-01	1.48E+01	3.73E+01	5.54E+01	7.40E+01	3.98E-01	3.52E-13	2.09E-01	2.83E+00	5.71E+00
Std.	6.08E-01	3.13E+00	3.40E+00	6.83E+00	5.49E+00	5.51E-01	1.83E-12	4.65E-01	1.12E+00	1.50E+00
F12										
Best	0.00E+00	8.86E+00	1.86E+01	2.60E+01	3.91E+01	0.00E+00	0.00E+00	4.92E-03	3.26E+00	5.74E+00
Ort.	5.00E-01	1.28E+01	2.51E+01	3.72E+01	5.05E+01	8.33E-01	6.69E-02	1.71E+00	5.95E+00	7.75E+00
Std.	7.19E-01	1.60E+00	3.83E+00	5.89E+00	6.03E+00	6.87E-01	2.49E-01	1.28E+00	1.16E+00	9.42E-01
F13										
Best	0.00E+00	3.10E-13	1.52E-02	1.03E-01	1.73E-01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	7.77E-16	2.83E-12
Ort.	4.97E-03	1.06E-02	6.48E-02	2.02E-01	3.03E-01	6.24E-04	3.04E-04	6.68E-04	7.01E-04	6.15E-04
Std.	8.65E-03	9.63E-03	2.46E-02	5.62E-02	5.45E-02	2.19E-03	1.34E-03	2.13E-03	1.92E-03	1.60E-03
F14										
Best	2.55E-04	6.96E+02	1.45E+03	2.11E+03	2.31E+03	2.55E-04	2.55E-04	2.55E-04	1.25E-01	3.81E+00
Ort.	3.16E+01	1.02E+03	1.82E+03	2.46E+03	2.81E+03	3.16E+01	2.72E-04	4.44E+00	2.00E+02	3.62E+02
Std.	5.24E+01	1.87E+02	1.86E+02	1.62E+02	2.39E+02	6.06E+01	7.19E-05	2.30E+01	1.24E+02	1.56E+02
F15										
Best	2.22E-15	2.22E-15	1.41E-11	1.95E-07	5.69E-05	2.22E-15	2.22E-15	2.22E-15	5.62E-13	7.58E-10
Ort.	2.59E-15	4.67E-10	7.98E-07	2.28E-05	1.18E-02	2.59E-15	3.18E-15	4.14E-15	1.63E-12	2.29E-09
Std.	8.28E-16	2.51E-09	4.14E-06	4.43E-05	5.33E-02	8.28E-16	1.10E-15	7.55E-16	8.64E-13	1.11E-09

Çizelge 4.9'da boyut 50 alındığında MTSA'nın TSA'ya göre en iyi çözüm sonucu elde ettiği çizelgelerde görülmektedir.

Çizelge 4.9. Fonksiyonların analiz sonuçları ST=0.9 ve D=50.

	TSA					MTSA				
	Pop=10	Pop=20	Pop=30	Pop=40	Pop=50	Pop=10	Pop=20	Pop=30	Pop=40	Pop=50
F1										
Best	9.65E-39	4.05E-09	2.95E-03	8.16E-01	1.26E+01	1.73E-79	9.47E-32	1.26E-19	6.93E-13	2.81E-09
Ort.	2.08E-37	1.05E-08	8.06E-03	1.86E+00	3.08E+01	2.03E-76	1.79E-30	3.26E-19	2.11E-12	6.30E-09
Std.	2.64E-37	4.55E-09	3.38E-03	5.57E-01	8.15E+00	5.31E-76	1.93E-30	2.07E-19	1.08E-12	2.38E-09
F2										
Best	6.98E-37	2.30E-07	3.40E-01	6.01E+01	9.44E+02	9.31E-76	3.21E-29	2.11E-17	1.27E-10	7.34E-07
Ort.	3.80E-35	7.87E-07	5.63E-01	1.12E+02	1.70E+03	7.38E-74	4.12E-28	1.21E-16	5.97E-10	1.79E-06
Std.	3.83E-35	5.43E-07	1.55E-01	3.00E+01	3.22E+02	1.75E-73	5.36E-28	8.46E-17	3.62E-10	8.14E-07
F3										
Best	8.72E-40	4.29E-10	5.51E-04	1.02E-01	2.52E+00	3.83E-79	1.39E-32	1.11E-20	8.58E-14	3.24E-10
Ort.	3.07E-38	1.35E-09	1.17E-03	2.45E-01	3.77E+00	1.34E-77	2.35E-31	7.64E-20	3.61E-13	9.27E-10
Std.	6.06E-38	8.16E-10	3.87E-04	8.79E-02	9.18E-01	2.34E-77	2.11E-31	4.50E-20	1.53E-13	5.04E-10
F4										
Best	3.11E-86	5.16E-17	9.47E-03	2.37E+02	3.22E+05	1.70E-100	2.91E-77	1.62E-51	1.12E-32	3.16E-24
Ort.	1.19E-70	5.95E-14	1.66E-01	4.52E+03	1.22E+07	1.40E-02	1.31E-08	7.11E-31	2.68E-11	1.52E-21

Çizelge 4.9. (devam) Fonksiyonların analiz sonuçları ST=0.9 ve D=50.

Std.	6.30E-70	1.43E-13	1.87E-01	5.54E+03	2.47E+07	5.00E-02	5.64E-08	3.83E-30	1.45E-10	2.94E-21
F5										
Best	6.57E-24	1.21E-05	4.80E-02	1.18E+00	7.41E+00	1.53E-49	5.01E-20	6.63E-13	1.08E-08	1.62E-06
Ort.	3.71E-23	2.06E-05	7.93E-02	1.84E+00	1.04E+01	1.06E-48	1.65E-19	1.58E-12	2.62E-08	3.17E-06
Std.	2.11E-23	5.81E-06	1.69E-02	3.29E-01	1.83E+00	9.48E-49	7.77E-20	6.17E-13	8.32E-09	7.09E-07
F6										
Best	7.34E+00	3.05E+01	4.91E+01	5.84E+01	6.72E+01	7.28E+00	4.83E+00	7.93E+00	1.63E+01	2.19E+01
Ort.	2.17E+01	3.88E+01	5.71E+01	6.74E+01	7.27E+01	2.22E+01	7.97E+00	1.25E+01	2.03E+01	2.54E+01
Std.	9.04E+00	3.81E+00	3.57E+00	4.30E+00	2.41E+00	6.77E+00	1.56E+00	1.53E+00	2.17E+00	2.27E+00
F7										
Best	3.79E-05	2.10E-01	6.96E+00	1.75E+01	2.39E+16	7.41E-08	1.72E-05	2.23E-04	7.17E-03	1.39E-02
Ort.	1.53E-03	1.36E+00	1.04E+01	2.03E+01	2.81E+01	3.12E-04	2.74E-04	1.80E-03	1.55E-02	4.69E-02
Std.	2.63E-03	8.25E-01	1.87E+00	1.55E+00	2.26E+00	9.13E-04	2.05E-04	1.16E-03	6.60E-03	2.51E-02
F8										
Best	1.43E-55	7.81E-16	1.08E-07	2.39E-04	9.97E-03	1.28E-183	4.51E-91	2.14E-61	1.49E-44	2.86E-34
Ort.	1.84E-51	2.22E-14	1.08E-06	8.00E-04	2.09E-02	4.07E-176	8.25E-88	3.78E-58	1.52E-42	5.01E-33
Std.	6.67E-51	2.20E-14	8.02E-07	4.52E-04	7.13E-03	0.00E+00	2.48E-87	8.85E-58	3.54E-42	6.46E-33
F9										
Best	2.07E-02	8.37E-02	1.45E-01	2.59E-01	2.91E-01	1.33E-02	2.85E-02	2.70E-02	4.26E-02	6.17E-02
Ort.	3.79E-02	1.13E-01	2.13E-01	3.66E-01	5.17E-01	2.24E-02	4.23E-02	5.63E-02	6.81E-02	8.36E-02
Std.	9.45E-03	1.93E-02	3.82E-02	7.04E-02	9.21E-02	5.76E-03	7.12E-03	1.12E-02	1.12E-02	1.32E-02
F10										
Best	3.67E+01	4.00E+01	1.17E+02	5.29E+02	1.89E+03	3.62E+01	1.78E+01	3.42E+01	3.52E+01	3.62E+01
Ort.	8.08E+01	6.49E+01	2.56E+02	7.93E+02	2.87E+03	8.06E+01	6.40E+01	4.73E+01	4.81E+01	5.10E+01
Std.	4.07E+01	2.67E+01	5.41E+01	1.49E+02	6.29E+02	2.92E+01	3.06E+01	1.30E+01	1.74E+01	2.26E+01
F11										
Best	9.95E-01	6.97E+01	1.45E+02	1.98E+02	2.58E+02	0.00E+00	3.88E-04	6.31E+00	1.95E+01	3.94E+01
Ort.	5.50E+00	9.30E+01	1.69E+02	2.31E+02	2.87E+02	2.09E+00	3.21E+00	1.70E+01	3.92E+01	5.00E+01
Std.	3.80E+00	1.11E+01	1.12E+01	1.55E+01	1.53E+01	1.59E+00	3.79E+00	5.29E+00	9.41E+00	5.98E+00
F12										
Best	7.01E+00	5.27E+01	9.79E+01	1.37E+02	2.11E+02	2.00E+00	1.05E+01	2.24E+01	2.98E+01	3.50E+01
Ort.	1.40E+01	6.32E+01	1.20E+02	1.80E+02	2.36E+02	5.50E+00	1.48E+01	2.76E+01	3.55E+01	4.13E+01
Std.	3.80E+00	6.18E+00	1.05E+01	1.58E+01	1.10E+01	1.88E+00	2.28E+00	2.01E+00	2.31E+00	2.73E+00
F13										
Best	0.00E+00	5.30E-08	2.36E-02	6.90E-01	1.18E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	4.05E-12	8.39E-09
Ort.	3.33E-17	6.48E-06	9.09E-02	9.22E-01	1.26E+00	2.11E-08	0.00E+00	2.22E-17	6.10E-11	8.49E-08
Std.	9.13E-17	8.88E-06	4.58E-02	6.90E-02	4.93E-02	1.14E-07	0.00E+00	8.79E-17	1.03E-10	1.34E-07
F14										
Best	6.37E-04	3.27E+03	6.12E+03	7.52E+03	8.40E+03	6.36E-04	6.36E-04	3.27E+01	7.64E+02	1.22E+03
Ort.	2.62E+02	4.22E+03	6.90E+03	8.40E+03	9.44E+03	1.26E+02	4.29E+00	5.23E+02	1.66E+03	2.17E+03
Std.	1.84E+02	4.75E+02	3.56E+02	4.24E+02	4.16E+02	1.18E+02	2.19E+01	2.68E+02	4.48E+02	4.19E+02
F15										
Best	1.11E-14	1.11E-04	6.63E-01	4.10E+00	6.79E+00	6.66E-15	1.33E-14	1.85E-10	4.46E-07	2.33E-05
Ort.	1.64E-14	7.80E-01	2.54E+00	7.08E+00	1.13E+01	9.62E-15	1.73E-14	3.47E-10	8.78E-07	4.27E-05
Std.	1.85E-14	3.33E+00	1.31E+00	3.88E+00	3.03E+00	1.19E-15	2.32E-15	1.24E-10	3.35E-07	1.25E-05

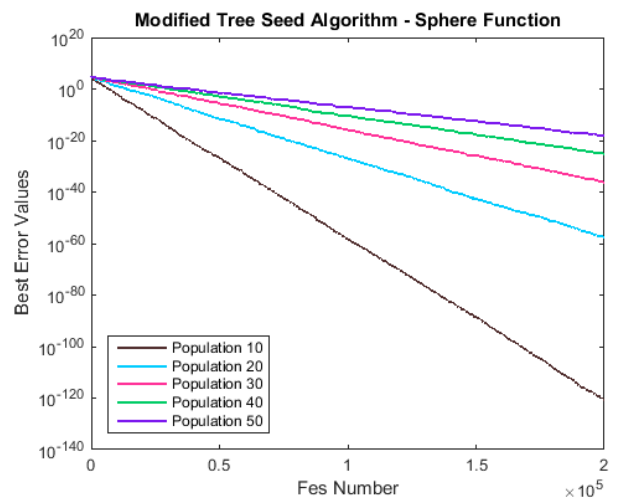
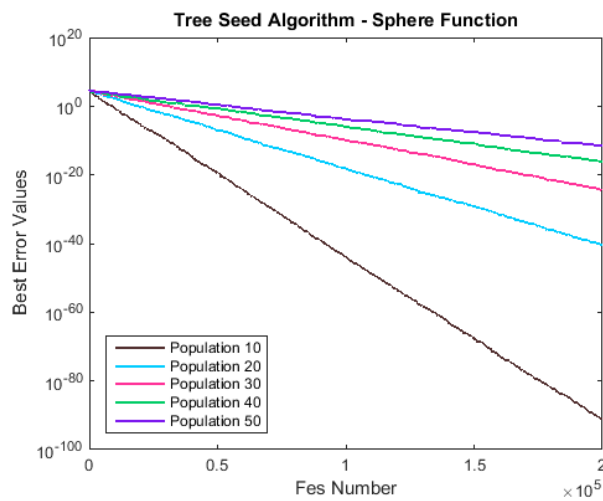
Algoritmanın ST değeri 0.9 ve problem boyutu 100 alındığında elde edilen sonuçlar Çizelge 4.10'da verilmiştir. Buradaki sonuçlara göre sadece F4 fonksiyonunda TSA'nın 10 popülasyondaki sonucu başarı elde etmiştir ancak diğer durumlarda MTSA daha başarılı bir sonuç elde ederek daha iyi bir performans sağladığı çizelgelerdeki sonuçlardan görülmektedir.

Çizelge 4.10. Fonksiyonların analiz sonuçları ST=0.9 ve D=100.

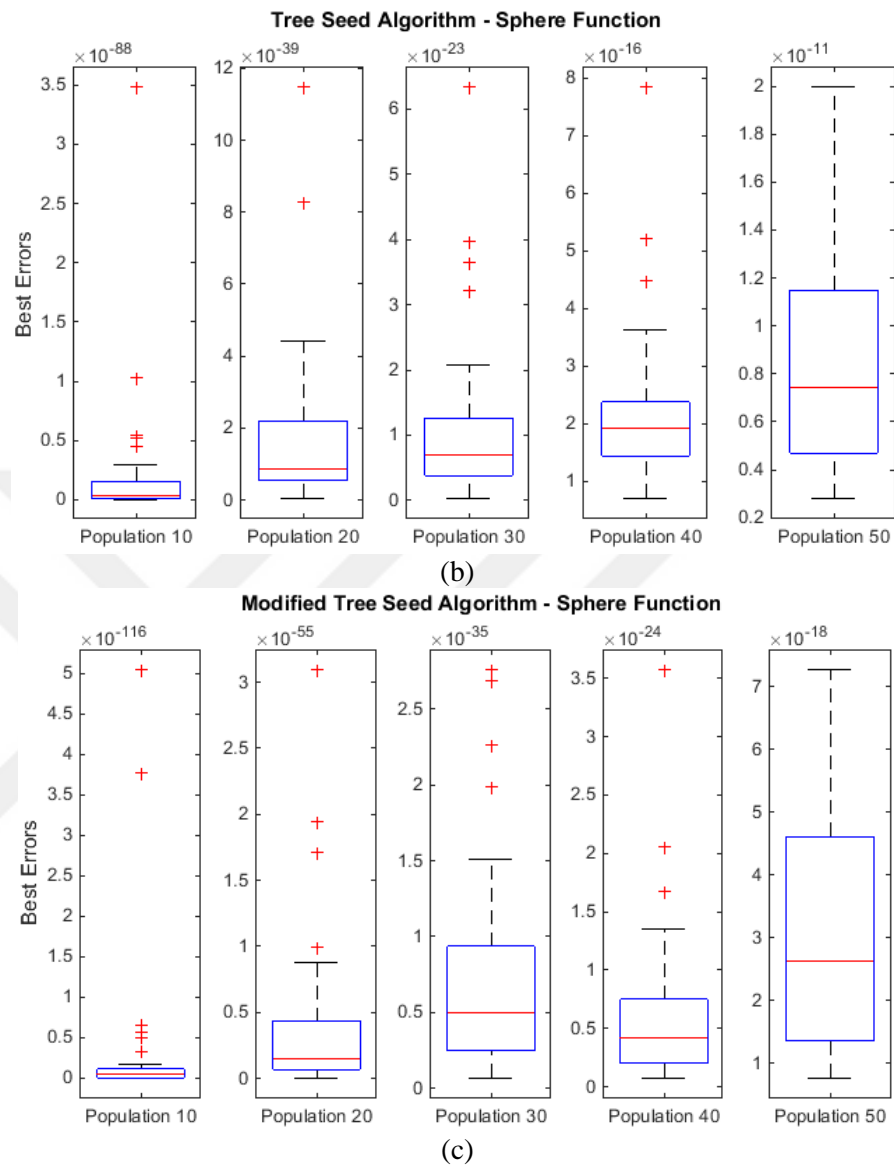
	TSA					MTSA				
	Pop=10	Pop=20	Pop=30	Pop=40	Pop=50	Pop=10	Pop=20	Pop=30	Pop=40	Pop=50
F1										
Best	8.49E-26	1.08E-03	3.38E+01	9.87E+02	5.52E+03	4.54E-61	1.42E-23	1.28E-14	6.72E-09	2.17E-06
Ort.	4.26E-25	3.68E-03	4.87E+01	1.53E+03	7.51E+03	5.15E-60	5.10E-23	3.45E-14	1.09E-08	4.58E-06
Std.	4.28E-25	1.45E-03	7.47E+00	2.26E+02	9.86E+02	5.95E-60	2.95E-23	1.38E-14	4.08E-09	1.32E-06
F2										
Best	1.35E-23	3.57E-01	5.63E+03	1.65E+05	7.59E+05	1.30E-58	6.07E-21	6.61E-12	2.01E-06	1.34E-03
Ort.	1.37E-22	6.72E-01	8.62E+03	2.30E+05	1.04E+06	3.67E-57	2.44E-20	1.39E-11	5.08E-06	2.39E-03
Std.	1.26E-22	2.01E-01	1.63E+03	4.12E+04	1.50E+05	5.66E-57	1.69E-20	6.18E-12	1.97E-06	5.20E-04
F3										
Best	2.62E-26	5.30E-04	9.00E+00	3.82E+02	1.78E+03	2.78E-62	4.37E-24	4.88E-15	1.91E-09	8.55E-07
Ort.	1.32E-25	1.01E-03	1.55E+01	4.91E+02	2.38E+03	1.77E-60	2.27E-23	1.21E-14	3.49E-09	1.69E-06
Std.	9.73E-26	2.93E-04	3.37E+00	7.33E+01	2.61E+02	2.42E-60	1.50E-23	4.79E-15	1.14E-09	3.86E-07
F4										
Best	2.43E-03	7.15E-07	6.04E+10	3.55E+20	6.18E+31	4.05E+03	7.91E-50	3.03E-46	5.31E-28	1.18E-22
Ort.	4.45E+26	6.17E+06	1.82E+14	1.04E+27	1.74E+35	1.24E+47	9.25E+13	9.94E+06	1.65E-02	8.44E-04
Std.	2.38E+27	3.32E+07	4.30E+14	3.27E+27	5.22E+35	6.66E+47	3.48E+14	5.35E+07	6.67E-02	3.49E-03
F5										
Best	5.51E-19	1.61E-03	1.53E+00	1.70E+01	4.63E+01	2.99E-43	2.89E-17	6.16E-11	3.69E-07	2.24E-05
Ort.	1.70E-18	2.55E-03	1.92E+00	1.95E+01	5.66E+01	9.78E-43	9.75E-17	1.06E-10	5.85E-07	3.52E-05
Std.	8.58E-19	6.11E-04	2.43E-01	1.48E+00	4.20E+00	5.57E-43	3.33E-17	2.52E-11	1.21E-07	5.72E-06
F6										
Best	3.08E+01	5.49E+01	7.27E+01	8.06E+01	8.29E+01	2.54E+01	2.24E+01	3.09E+01	4.01E+01	4.44E+01
Ort.	4.21E+01	6.33E+01	7.84E+01	8.45E+01	8.67E+01	4.21E+01	2.69E+01	3.47E+01	4.32E+01	4.78E+01
Std.	8.20E+00	2.59E+00	2.64E+00	1.65E+00	1.66E+00	7.79E+00	2.55E+00	1.69E+00	2.12E+00	2.27E+00
F7										
Best	3.79E-05	2.10E-01	6.96E+00	1.75E+01	2.39E+01	6.06E-06	4.77E-04	4.59E-03	4.25E-02	1.48E-01
Ort.	1.53E-03	1.36E+00	1.04E+01	2.03E+01	2.81E+01	3.93E-04	2.24E-03	2.65E-02	2.43E-01	1.14E+00
Std.	2.63E-03	8.25E-01	1.87E+00	1.55E+00	2.26E+00	4.58E-04	1.91E-03	2.40E-02	2.47E-01	7.52E-01
F8										
Best	8.40E-35	3.00E-08	1.54E-02	1.23E+00	1.07E+01	1.28E-183	4.51E-91	2.14E-61	1.49E-44	2.86E-34
Ort.	6.15E-33	1.21E-07	2.39E-02	1.92E+00	1.55E+01	4.07E-176	8.25E-88	3.78E-58	1.52E-42	5.01E-33
Std.	9.69E-33	6.28E-08	5.78E-03	3.72E-01	3.50E+00	0.00E+00	2.48E-87	8.85E-58	3.54E-42	6.46E-33
F9										
Best	9.36E-02	3.60E-01	1.07E+00	2.57E+00	1.03E+01	5.98E-02	8.85E-02	1.17E-01	1.59E-01	2.00E-01
Ort.	1.65E-01	4.73E-01	1.28E+00	3.78E+00	1.58E+01	9.48E-02	1.23E-01	1.61E-01	2.11E-01	2.58E-01

Çizelge 4.10. (devam) Fonksiyonların analiz sonuçları ST=0.9 ve D=100.

Std.	4.29E-02	6.09E-02	1.22E-01	6.30E-01	2.16E+00	2.66E-02	1.57E-02	2.00E-02	2.34E-02	2.95E-02
F10										
Best	6.84E+01	1.91E+02	1.52E+03	2.32E+04	1.23E+05	8.82E+01	5.62E+01	9.31E+01	8.65E+01	9.01E+01
Ort.	2.09E+02	3.97E+02	2.15E+03	2.95E+04	1.83E+05	2.13E+02	1.97E+02	2.08E+02	2.03E+02	2.20E+02
Std.	7.36E+01	8.42E+01	3.59E+02	4.14E+03	3.01E+04	4.95E+01	5.72E+01	6.92E+01	8.42E+01	6.76E+01
F11										
Best	1.84E+01	3.10E+02	4.64E+02	5.67E+02	6.91E+02	7.96E+00	3.45E+01	1.06E+02	1.59E+02	1.32E+02
Ort.	7.28E+01	3.54E+02	5.12E+02	6.24E+02	7.36E+02	1.54E+01	1.03E+02	1.81E+02	2.39E+02	2.62E+02
Std.	3.00E+01	2.11E+01	2.20E+01	2.60E+01	2.33E+01	5.08E+00	4.20E+01	4.44E+01	3.15E+01	3.82E+01
F12										
Best	6.54E+01	2.53E+02	3.76E+02	4.92E+02	6.00E+02	1.90E+01	7.73E+01	1.33E+02	1.38E+02	1.99E+02
Ort.	1.06E+02	2.93E+02	4.31E+02	5.57E+02	6.65E+02	3.07E+01	1.21E+02	1.64E+02	1.96E+02	2.22E+02
Std.	2.53E+01	2.18E+01	2.58E+01	2.37E+01	2.84E+01	1.09E+01	2.33E+01	1.36E+01	1.79E+01	1.34E+01
F13										
Best	0.00E+00	1.12E-03	1.29E+00	1.06E+01	4.94E+01	0.00E+00	0.00E+00	2.14E-14	5.27E-09	2.05E-06
Ort.	2.59E-17	2.53E-03	1.44E+00	1.49E+01	6.84E+01	2.47E-04	3.70E-18	7.15E-14	1.37E-08	4.10E-06
Std.	6.20E-17	8.27E-04	7.88E-02	1.60E+00	8.64E+00	1.33E-03	1.99E-17	5.35E-14	1.05E-08	1.44E-06
F14										
Best	8.63E+02	1.22E+04	1.65E+04	1.94E+04	2.08E+04	3.55E+02	6.19E+02	3.73E+03	7.07E+03	8.84E+03
Ort.	2.41E+03	1.42E+04	1.85E+04	2.09E+04	2.25E+04	7.19E+02	3.47E+03	7.13E+03	1.02E+04	1.18E+04
Std.	9.36E+02	9.26E+02	6.18E+02	5.61E+02	4.90E+02	2.81E+02	1.69E+03	1.64E+03	1.06E+03	1.12E+03
F15										
Best	2.07E-13	2.00E-02	4.28E+00	9.34E+00	1.40E+01	2.22E-14	1.38E-12	2.93E-08	1.78E-05	4.55E-04
Ort.	1.42E+00	4.44E+00	1.41E+01	1.68E+01	1.86E+01	1.11E-01	2.93E-11	1.18E-07	3.51E-05	6.70E-04
Std.	4.85E+00	7.49E+00	6.07E+00	3.67E+00	1.70E+00	3.34E-01	1.24E-10	1.92E-07	1.10E-05	1.35E-04

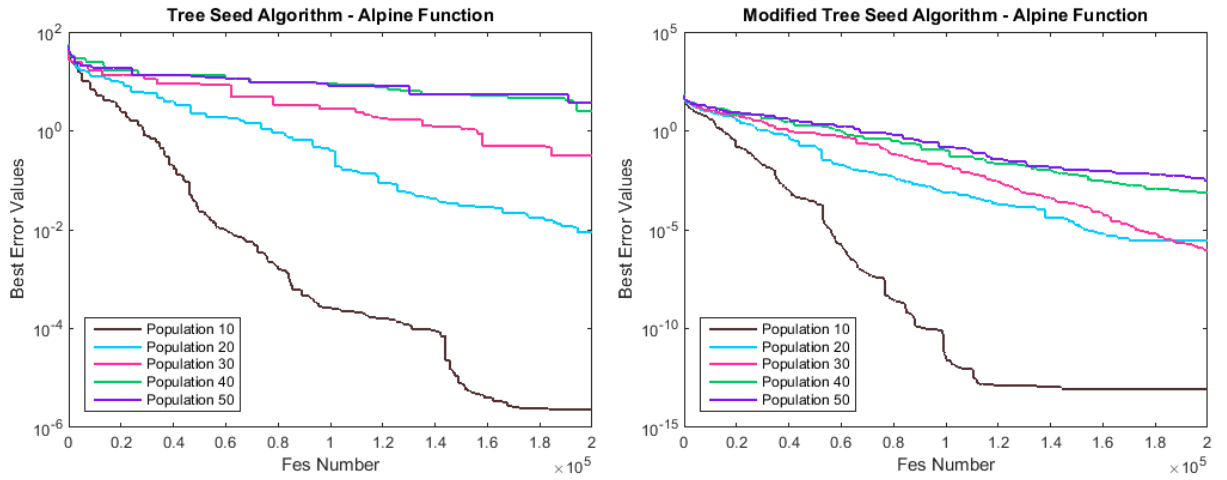


(a)

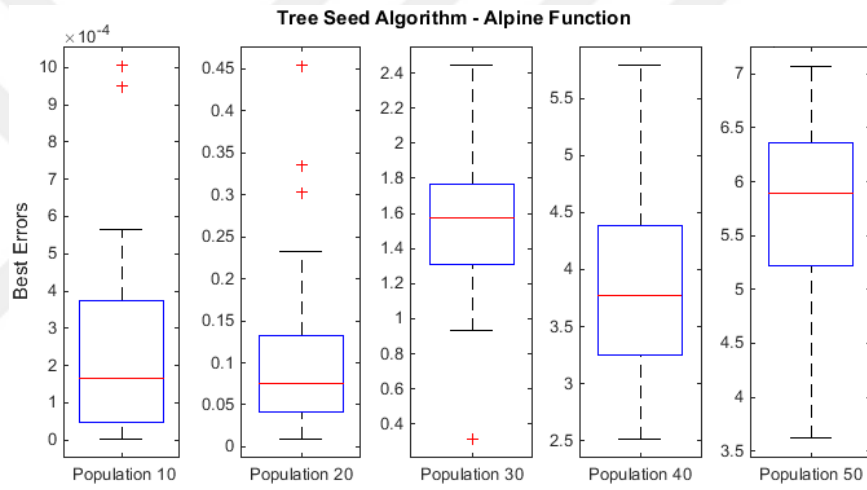


Şekil 4.5. $D=20$ ve $ST=0.9$ değerleri için F1 fonksiyonuna ait TSA ve MTSA'nın yakınsama (a) ve kutu (b ve c) grafikleri.

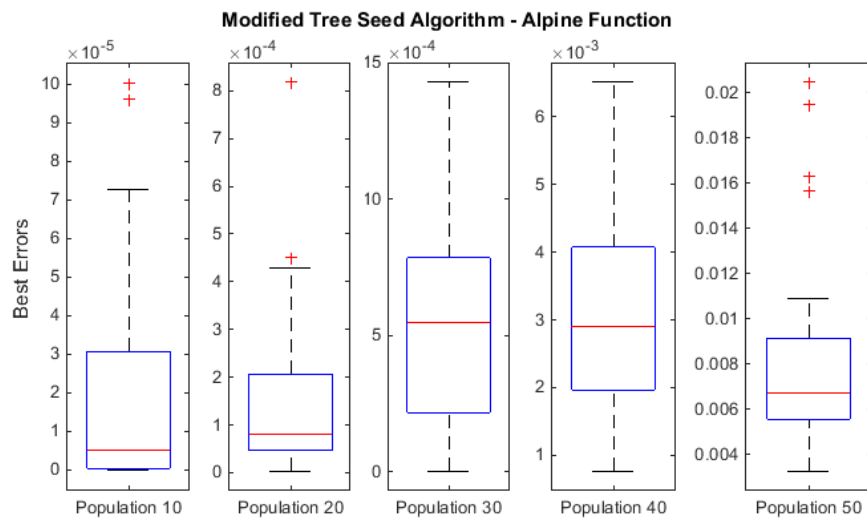
Şekil 4.5'te ST değeri arttıkça TSA'nın yakınsama grafiği MTSA'ya benzediği görülmektedir ancak MTSA'nın daha iyi bir sonuç elde ettiği sphere'in yakınsama grafiğinden fark edilmektedir. Aynı şekilde TSA ve MTSA'nın kutu grafiği şekillerinde bir benzerlik görüle de MTSA'nın daha kararlı bir grafik elde ettiği söylenebilir.



(a)



(b)



(c)

Şekil 3.6. $D=20$ ve $ST=0.9$ değerleri için F7 fonksiyonuna ait TSA ve MTSA'nın yakınsama (a) ve kutu (b ve c) grafikleri.

Şekil 4.6’da alpine fonksiyonunda MTSA’nın 100 bininci FES’te en iyi sonuca hızlı bir şekilde yakınsadığı görülürken TSA’da ise 170 bininci FES’te optimum sonucuna ulaşarak yakınsamada geride kaldığı söylenebilir. Kutu grafiklerine bakıldığında her ne kadar şekiller birbirine benzer gibi olsa da MTSA daha iyi bir optimum sonuç elde ettiğinden MTSA’nın ortanca değeri kararlılık değerine yakın bir konumda yer almaktadır. Dolayısıyla MTSA’nın daha kararlı olduğu söylenebilir.

MTSA ile Orijinal TSA yöntemleri 15 farklı sayısal test fonksiyonlarına uygulanmıştır. Elde edilen analiz sonuçlarında problem boyut sayısı, algoritmaların popülasyon sayısı ve algoritmaların ST parametre değerleri incelenerek Çizelge 4.2- 4.10’da verilmiştir. Genel olarak çözümlere bakıldığında ST parametresinin değeri arttıkça MTSA’nın elde ettiği sonuçlar orijinal TSA’ya göre daha iyi olduğu görülmektedir. Algoritmaların ST parametre değeri 0.9 iken TSA ile MTSA kıyaslandığında TSA’nın popülasyon değeri 10 olduğunda sadece F4 ve F10 fonksiyonlarının çözümü hariç tüm popülasyon değerlerinde MTSA’nın sonuçları TSA’nın sonuçlarını geçmiştir. Bundan dolayı, ST parametre optimizasyonu sonucunda ST’nin 0.9 değeri daha iyi sonuçlar elde etmek için uygun bir değer olduğu söylenebilir. Yapılan bu çalışmada, orijinal TSA’daki gibi ağaçların rastgele seçilmesi yerine turnuva seçim yöntemi kullanılarak ağaçlar seçilmiştir. Bu işlem büyük boyutlu problemlerde orijinal TSA’ya göre daha kaliteli ve sağlam sonuçlar elde etmek için yeterli olduğu söylenebilir. Çünkü çizelgelere bakıldığında popülasyon sayısı ve boyut sayısı arttıkça turnuva seçim yönteminin etkililiği görülmektedir. Analizlerde, optimizasyon probleminin boyutu arttıkça MTSA’nın performansı TSA’ya göre artmaktadır.

TSA ve MTSA’nın 1000 boyut için parametre verileri Çizelge 4.11’de sunulmuştur. Algoritmanın ST 0.1, 0.5 ve 0.9 değerleri ile problem boyutu 1000 değeri alındığında TSA ve MTSA’nın elde ettiği sonuçlar Çizelge 4.12’de verilmiştir. F1 fonksiyonunda MTSA sadece 10 popülasyon ile elde edilen çözümde iyi bir sonuç elde edememiştir. F10’da popülasyon 10 değerinde ve 0.1 ve 0.5 ST değerlerindeki sonuçlarda, popülasyon değeri 20 ve 0.5 ST değerindeki sonuçlarda, 30 popülasyonda 0.1 ST değerindeki sonuçlarda MTSA iyi çözüm elde edememiştir. F13’de ise popülasyon 10 değerinde ve ST 0.1 değerinde MTSA iyi bir sonuç verememiştir. Bunların haricindeki diğer tüm durumlarda ise MTSA TSA’dan daha iyi bir çözüm elde ettiği görülmüştür.

Çizelge 4.11. TSA ve MTSA için parametre verileri.

	TSA	MTSA
Popülasyon değerleri	10, 20, 30, 40 ve 50	10, 20, 30, 40 ve 50
Problem boyutları	1000	1000
ST parametre değerleri	0.1, 0.5 ve 0.9	0.1, 0.5 ve 0.9
Çalışma sayısı	30	30
Durdurma kriteri	MaxFEs	MaxFEs

Çizelge 4.12. Fonksiyonların analiz sonuçları D=1000.

	Pop	Value	TSA			MTSA		
			ST=0.1	ST=0.5	ST=0.9	ST=0.1	ST=0.5	ST=0.9
F1	10	Best	1.18E+03	1.04E+02	2.64E-03	1.65E+03	8.02E+01	1.35E-13
		Ort.	3.64E+03	8.79E+02	3.90E-03	2.98E+03	4.71E+02	1.93E-13
		Std.	2.46E+03	7.75E+02	1.26E-03	1.33E+03	3.91E+02	5.78E-14
	20	Best	8.93E+19	2.80E+19	8.10E+03	1.09E+06	7.59E+00	1.67E-02
		Ort.	1.53E+20	3.80E+19	1.71E+04	5.07E+06	1.46E+02	1.11E-01
		Std.	9.84E+19	9.76E+18	6.23E+03	4.74E+05	1.98E+02	1.51E-01
	30	Best	3.73E+05	2.06E+05	1.61E+05	1.04E+03	1.75E+02	1.91E+01
		Ort.	4.70E+05	2.20E+05	2.10E+05	1.32E+03	1.84E+02	1.19E+02
		Std.	9.68E+04	1.41E+04	4.87E+04	2.86E+02	8.91E+00	9.96E+01
	40	Best	7.16E+05	4.32E+05	4.45E+05	2.61E+03	1.60E+03	5.55E+02
		Ort.	8.00E+05	4.43E+05	4.79E+05	3.49E+03	1.98E+03	6.36E+02
		Std.	8.43E+04	1.09E+04	3.45E+04	8.79E+02	3.83E+02	8.11E+01
50	Best	9.62E+05	7.45E+05	8.61E+05	8.47E+03	7.26E+03	5.82E+03	
	Ort.	1.20E+06	7.52E+05	8.64E+05	8.63E+03	8.22E+03	6.89E+03	
	Std.	2.43E+05	7.80E+03	3.52E+03	1.58E+02	9.61E+02	1.07E+03	
F10	10	Best	1.80E+08	2.02E+06	2.98E+03	1.83E+08	4.57E+06	2.24E+03
		Ort.	1.86E+08	7.54E+07	3.13E+03	1.85E+08	9.51E+07	2.34E+03
		Std.	5.63E+06	7.34E+07	1.50E+02	1.14E+06	9.06E+07	1.07E+02
	20	Best	1.84E+08	1.15E+08	3.81E+05	1.83E+08	1.83E+08	2.77E+03
		Ort.	1.86E+08	1.49E+08	3.83E+05	1.89E+08	1.89E+08	2.90E+03
		Std.	1.95E+06	3.45E+07	2.10E+03	5.96E+06	5.96E+06	1.24E+02
	30	Best	1.80E+08	1.80E+08	5.93E+06	1.90E+08	1.84E+06	5.49E+03
		Ort.	1.84E+08	1.84E+08	7.59E+06	1.91E+08	1.98E+06	5.95E+03
		Std.	3.90E+06	3.90E+06	1.67E+06	1.73E+06	1.45E+05	4.60E+02
	40	Best	1.88E+08	1.88E+08	4.09E+07	1.82E+08	1.13E+06	3.09E+04
		Ort.	1.89E+08	1.89E+08	4.13E+07	1.82E+08	9.17E+07	4.69E+04
		Std.	8.19E+05	8.19E+05	3.95E+05	2.17E+05	9.06E+07	1.60E+04
50	Best	1.83E+08	1.83E+08	4.28E+07	1.82E+08	1.49E+08	6.49E+04	
	Ort.	1.85E+08	1.85E+08	5.00E+07	1.84E+08	1.66E+08	3.06E+05	
	Std.	2.60E+06	2.60E+06	7.18E+06	1.63E+06	1.68E+07	2.41E+05	

Çizelge 4.12. (devam) Fonksiyonların analiz sonuçları D=1000.

	Best	4.98E+03	4.67E+03	2.42E+03	5.15E+03	4.88E+03	2.82E+03	
10	Ort.	5.48E+03	4.78E+03	2.64E+03	5.56E+03	4.89E+03	2.86E+03	
	Std.	4.98E+02	1.06E+02	2.18E+02	4.09E+02	3.63E+00	3.88E+01	
	Best	5.22E+03	4.39E+03	3.97E+03	4.70E+03	3.95E+03	1.97E+03	
20	Ort.	5.34E+03	4.45E+03	4.40E+03	4.78E+03	4.17E+03	2.01E+03	
	Std.	1.21E+02	6.14E+01	4.31E+02	8.85E+01	2.18E+02	4.60E+01	
	Best	6.40E+03	6.21E+03	9.41E+03	3.85E+03	3.53E+03	1.90E+03	
F11	30	Ort.	6.59E+03	6.38E+03	1.01E+04	4.01E+03	3.58E+03	2.02E+03
		Std.	1.84E+02	1.68E+02	6.84E+02	1.59E+02	5.59E+01	1.14E+02
		Best	7.92E+03	8.56E+03	9.89E+03	3.92E+03	3.24E+03	2.50E+03
	40	Ort.	8.12E+03	9.17E+03	1.10E+04	4.09E+03	3.29E+03	2.58E+03
		Std.	2.01E+02	6.08E+02	1.12E+03	1.64E+02	4.15E+01	7.18E+01
		Best	8.83E+03	8.99E+03	1.29E+04	4.03E+03	3.21E+03	1.04E+04
	50	Ort.	9.05E+03	9.42E+03	1.29E+04	4.05E+03	3.39E+03	1.06E+04
		Std.	2.17E+02	4.29E+02	4.31E+01	2.62E+01	1.84E+02	1.39E+02
		Best	7.09E+01	2.73E+00	5.22E-04	1.09E+02	1.16E+00	2.94E-13
	10	Ort.	8.23E+01	1.51E+01	2.24E-01	1.60E+02	3.44E+00	3.70E-03
		Std.	1.14E+01	1.23E+01	2.24E-01	5.12E+01	2.28E+00	3.70E-03
		Best	6.64E+02	3.09E+02	1.08E+02	5.88E+00	5.47E-01	2.89E-03
	20	Ort.	1.02E+03	3.67E+02	1.14E+02	6.05E+00	7.46E-01	7.59E-03
		Std.	3.52E+02	5.77E+01	5.54E+00	1.67E-01	1.99E-01	4.70E-03
		Best	3.02E+03	1.78E+03	2.54E+03	1.63E+01	3.22E+00	6.42E-01
F13	30	Ort.	5.53E+03	1.93E+03	2.97E+03	1.65E+01	5.41E+00	1.03E+00
		Std.	2.51E+03	1.52E+02	4.24E+02	2.08E-01	2.20E+00	3.85E-01
		Best	4.86E+03	4.77E+03	4.95E+03	7.19E+01	1.27E+01	8.79E+00
	40	Ort.	5.57E+03	4.81E+03	5.45E+03	8.98E+01	2.48E+01	1.25E+01
		Std.	7.04E+02	4.19E+01	5.02E+02	1.79E+01	1.21E+01	3.73E+00
		Best	7.47E+03	5.96E+03	7.95E+03	7.57E+01	7.83E+01	4.14E+01
	50	Ort.	7.71E+03	6.21E+03	7.99E+03	7.61E+01	9.73E+01	5.52E+01
		Std.	2.34E+02	2.50E+02	3.68E+01	3.50E-01	1.91E+01	1.37E+01
		Best	2.10E+01	2.10E+01	2.06E+07	1.93E+01	1.85E+01	1.96E+00
	10	Ort.	2.10E+01	2.10E+01	2.06E+07	1.93E+01	1.87E+01	1.13E+01
		Std.	1.12E-02	1.40E-02	5.75E+04	5.98E-03	1.22E-01	9.34E+00
		Best	2.10E+01	2.10E+01	2.07E+07	1.67E+01	5.07E+00	3.61E+00
	20	Ort.	2.10E+01	2.10E+01	2.07E+07	1.75E+01	5.12E+00	9.19E+00
		Std.	2.42E-03	8.53E-03	2.75E+03	8.36E-01	5.25E-02	5.58E+00
		Best	2.10E+01	2.10E+01	2.08E+07	7.82E+00	4.70E+00	3.70E+00
F15	30	Ort.	2.10E+01	2.10E+01	2.08E+07	8.42E+00	5.41E+00	7.79E+00
		Std.	9.23E-03	9.09E-03	9.61E+02	6.01E-01	7.13E-01	4.09E+00
		Best	2.10E+01	1.87E+01	2.08E+07	1.84E+01	6.64E+00	1.48E+01
	40	Ort.	2.10E+01	1.98E+01	2.08E+07	1.97E+01	6.65E-01	1.77E+01
		Std.	8.25E-05	1.17E+00	8.45E+02	1.29E+00	7.30E+00	2.93E+00
		Best	2.10E+01	2.10E+01	2.08E+07	2.10E+01	8.44E+00	2.07E+01
	50	Ort.	2.10E+01	2.10E+01	2.08E+07	2.10E+01	1.47E+01	2.07E+01
		Std.	1.65E-04	5.07E-03	6.01E+02	8.60E-03	6.25E+00	6.97E-03

4.1.2. TSA ile MTSA'nın performanslarının istatistiksel analizi

Çalışmaların sonuçları arasında anlamlı bir fark olup olmadığını anlamak için istatistiksel testler uygulanmaktadır. Wilcoxon rank-sum testi bu istatistiksel testlerden biridir (Wilcoxon, 1945). Çalışmalardan elde edilen sonuçların olası tüm permütasyon sıraları hesaplanır. Karşılaştırılmak istenen iki sonuç için permütasyon sıraları hesaplanarak p değerinin oluşturulduğu sıralama esaslı bir testtir.

Bu çalışmada Wilcoxon rank-sum testi olarak adlandırılan parametrik olmayan bir istatistiksel test yapılarak MTSA'nın elde edilen sonuçlarının önemini değerlendirmek amaçlanmaktadır. Bunlarla birlikte MTSA'nın diğer algoritmalara kıyasla anlamlı bir iyileşme sağladığını ispat edebilmek için sonuçlar istatistiksel değerler (p değeri) ile sunulmuştur (Wilcoxon, 1992; Zhang vd., 2014). p-değeri 0.05'in altında bir değer ise istatistiksel olarak anlamlı bir farkın olduğu söylenir. P değeri azaldıkça karşılaştırma sonucunun anlamlı farklılığı güçlenmektedir. P değerleri 0.01 ile 0.05 aralığında yer alıyorsa anlamlı farkın olduğu, 0.001 ile 0.01 aralığında yer alıyorsa yüksek düzeyde anlamlı farkın olduğu, 0.001'den küçük değerde ise çok yüksek düzeyde anlamlı bir farkın olduğu istatistiki düzey ölçüsü olarak kabul edilmektedir (Kul, 2014).

TSA ile MTSA'nın popülasyon sayısı 50, ST değerleri ise 0.1, 0.5 ve 0.9 alınarak tüm fonksiyonların 20, 50, 100 ve 1000 boyuttaki değerleri için Wilcoxon test sonuçları Çizelge 4.13'te verilmiştir.

Çizelge 4.13. Fonksiyonların en iyi değerleri için Wilcoxon testi (p değeri).

	TSA-MTSA (D=20)	TSA-MTSA (D=50)	TSA-MTSA (D=100)	TSA-MTSA (D=1000)
	f_1-f_{15}	f_1-f_{15}	f_1-f_{15}	$f_1, f_{10}, f_{11}, f_{13}, f_{15}$
ST=0.1, Pop=50	0.000122	0.000061	0.000061	0.002
ST=0.5, Pop=50	0.000061	0.000061	0.000061	0.002
ST=0.9, Pop=50	0.000061	0.000061	0.000061	0.002

İstatistiksel analizde p değeri 0.05'in altında olması durumunda anlamlı bir farklılık söz konusudur ancak p değeri 0.05'in üzerinde olursa değerler arasında anlamlı bir farklılık olmamaktadır (Özyön vd.). Çizelge 4.13'teki Wilcoxon test analizi sonuçlarına bakıldığında MTSA'nın TSA'dan anlamlı bir farklılık olduğu görülmüştür.

4.1.3. MTSA'nın literatürdeki algoritmalar ile karşılaştırılması

MTSA ile TSA ve ABC, PSO, GSA, SSA, GOA, MVO algoritmalarının karşılaştırma sonuçlarına Çizelge 4.15'te yer verilmiştir. Her bir fonksiyon için ilk satır 25 kez çalışma

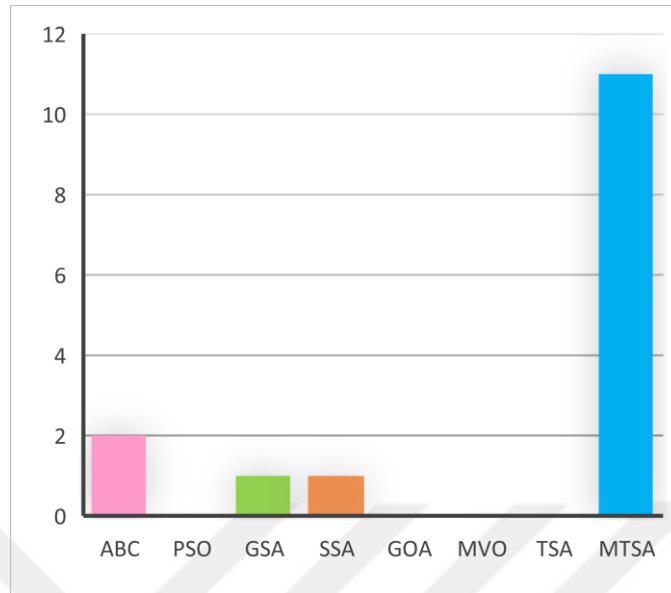
Çizelge 4.15. (devam) ABC, PSO, GSA, SSA, GOA, MVO, TSA ve MTSA'nın karşılaştırma sonuçları ile p değeri (p) ve işaret değeri (S), D=50.

F5								
Best	1.07E-11	3.00E+01	2.11E+01	3.84E-01	5.96E-01	2.66E-01	5.05E+01	1.47E-42
Ort.	6.49E-11	8.08E+01	2.61E+01	1.10E+00	8.55E+00	3.34E-01	7.29E+01	4.31E-41
Std.	2.86E-11	2.30E+01	3.12E+00	1.25E+00	3.69E+01	7.59E-02	8.85E+00	7.69E-41
p	S	1.23E-05 +	1.23E-05 +	1.23E-05 +	1.23E-05 +	1.23E-05 +	1.23E-05 +	1.23E-05 +
F6								
Best	6.26E+01	1.80E+01	2.32E-08	8.07E+00	2.54E+00	1.29E+00	7.32E+01	2.87E+01
Ort.	6.93E+01	2.66E+01	2.42E-02	7.02E+00	3.59E+00	9.63E-01	8.19E+01	4.63E+01
Std.	3.22E+00	4.00E+00	1.18E-01	1.93E+00	1.96E+00	3.54E-01	3.75E+00	7.87E+00
p	S	1.23E-05 +	1.23E-05 +	1.23E-05 +	1.23E-05 +	1.23E-05 +	1.23E-05 +	1.23E-05 +
F7								
Best	4.05E-02	9.35E-09	1.34E+01	1.20E+01	1.50E+01	1.10E+01	4.42E+01	7.61E-15
Ort.	1.12E-01	1.29E+01	1.75E+01	1.94E+01	2.44E+01	1.00E+01	5.05E+01	1.47E-13
Std.	4.77E-02	7.70E+00	2.49E+00	9.75E+00	1.13E+01	4.27E+00	3.55E+00	2.68E-13
p	S	1.23E-05 +	1.23E-05 +	1.23E-05 +	1.23E-05 +	1.23E-05 +	1.23E-05 +	1.23E-05 +
F8								
Best	8.56E-01	9.35E-09	3.28E-03	1.06E-23	2.06E-15	1.90E-09	1.81E+00	1.84E-02
Ort.	1.14E+00	1.29E+01	9.80E-03	1.98E-23	8.22E-16	2.06E-09	3.37E+00	3.53E-02
Std.	1.41E-01	7.70E+00	4.40E-03	9.81E-24	1.09E-15	7.48E-10	9.43E-01	1.62E-02
p	S	1.23E-05 +	1.77E-05 +	1.23E-05 +	1.23E-05 +	1.23E-05 +	1.23E-05 +	1.23E-05 +
F9								
Best	7.51E-50	1.34E-43	1.07E-32	4.39E-02	1.50E-02	1.88E-02	1.97E+00	1.63E-02
Ort.	1.37E-44	1.33E+01	8.71E-31	4.51E-02	2.40E-02	1.51E-02	4.20E+00	3.44E-02
Std.	5.35E-44	1.24E+01	2.31E-30	1.85E-02	6.86E-03	3.81E-03	8.67E-01	1.57E-02
p	S	1.23E-05 +	7.22E-05 +	1.23E-05 +	2.64E-02 +	6.80E-03 +	1.77E-05 +	1.23E-05 +
F10								
Best	4.09E+01	4.08E+01	4.33E+01	4.72E+01	1.68E+02	1.01E+02	5.53E+04	2.60E+01
Ort.	8.12E+01	2.58E+04	5.10E+03	7.17E+01	1.87E+02	2.41E+02	9.84E+04	7.11E+01
Std.	3.84E+01	4.01E+04	6.32E+03	6.20E+01	1.69E+02	3.95E+02	3.05E+04	2.96E+01
p	S	1.23E-05 +	2.16E-04 +	2.00E-05 +	1.16E-01 -	1.60E-03 +	3.70E-02 +	1.23E-05 +
F11								
Best	1.92E+00	1.70E+02	4.52E+01	8.95E+01	1.29E+02	2.13E+02	3.91E+02	3.98E+01
Ort.	1.25E+01	2.46E+02	2.31E+02	7.74E+01	2.23E+02	2.09E+02	4.24E+02	7.11E+01
Std.	2.95E+00	4.72E+01	1.27E+02	2.15E+01	8.76E+01	3.89E+01	1.53E+01	1.58E+01
p	S	1.23E-05 +	1.23E-05 +	2.66E-04 +	2.64E-01 -	1.39E-05 +	1.23E-05 +	1.23E-05 +
F12								
Best	3.08E+01	1.54E+02	3.90E+01	1.56E+02	2.10E+02	2.59E+02	3.27E+02	2.80E+01
Ort.	4.02E+01	2.58E+02	2.50E+02	1.12E+02	2.91E+02	2.81E+02	3.70E+02	9.82E+01
Std.	4.28E+00	4.94E+01	6.91E+01	3.26E+01	9.01E+01	5.31E+01	2.22E+01	1.73E+01
p	S	1.23E-05 +	1.23E-05 +	2.26E-05 +	1.66E-01 -	1.23E-05 +	1.23E-05 +	1.23E-05 +
F13								
Best	3.12E-14	0.00E+00	0.00E+00	3.60E-08	9.94E-03	3.45E-01	2.08E+01	0.00E+00
Ort.	5.38E-12	5.42E+01	1.39E-02	4.72E-03	2.51E-02	2.98E-01	2.94E+01	4.14E-03
Std.	2.11E-11	6.76E+01	2.21E-02	8.88E-03	1.16E-02	4.77E-02	4.02E+00	5.52E-03
p	S	2.53E-01 -	1.00E-03 +	8.65E-02 -	3.97E-01 -	1.39E-05 +	1.23E-05 +	1.23E-05 +
F14								
Best	1.86E+04	1.29E+14	3.09E+14	4.60E+03	1.00E+04	9.03E+03	1.09E+04	3.64E+03

Çizelge 4.15. (devam) ABC, PSO, GSA, SSA, GOA, MVO, TSA ve MTSA'nın karşılaştırma sonuçları ile p değeri (p) ve işaret değeri (S), D=50.

Ort.	1.92E+04	1.50E+04	3.92E+03	8.79E+03	9.89E+03	7.51E+03	1.15E+04	4.52E+03
Std.	2.18E+02	1.04E+03	5.01E+02	7.39E+02	1.16E+03	8.94E+02	2.96E+02	6.08E+02
p	2.16E-04	1.23E-05	1.23E-05	1.23E-05	1.23E-05	1.23E-05	1.23E-05	1.23E-05
S	+	+	+	+	+	+	+	+
F15								
Best	4.17E-10	1.67E-13	3.63E-09	2.08E+00	2.63E+00	7.37E-01	1.66E+01	6.66E-15
Ort.	1.70E-09	7.92E+00	5.12E-01	1.74E+00	2.33E+00	5.97E-01	1.84E+01	9.33E-15
Std.	1.11E-09	7.28E+00	7.91E-01	8.09E-01	7.45E-01	6.60E-01	1.20E+00	1.78E-15
p	1.23E-05	1.23E-05	1.23E-05	1.23E-05	1.23E-05	1.23E-05	1.23E-05	1.23E-05
S	+	+	+	+	+	+	+	+

Çizelge 4.15'te en uygun (optimum) sonuçlar kalın yazı tipi ile vurgulanmıştır. Bu çizelgeden görülebileceği gibi MTSA 15 sayısal test fonksiyonunun 12'sinde en iyi ve ortalama değerleri sağlamaktadır: F1, F2, F3, F4, F5, F7, F10, F11, F12, F13, F14 ve F15. Buna ek olarak GSA ve SSA, sırasıyla sayısal test fonksiyonları üzerinde ikinci ve üçüncü en etkili performansı göstermişlerdir. PSO, GOA, MVO ve TSA ortalama ve en iyi değerleri açısından diğerlerine kıyasla geride kalmıştır. Elde edilen sonuçlara göre MTSA kullanılmış olan tüm sayısal test fonksiyonlarında en uygun değeri veya en yakın uygun değeri bulma kabiliyetine sahip olduğu gözlemlenmiştir. MTSA'nın 8 unimodal fonksiyonun 5'inde PSO, GSA, SSA, GOA, MVO, TSA'ya göre çok üstün olduğu görülmüştür. Multimodal sayısal test fonksiyonları için PSO, GSA, SSA, GOA, MVO, TSA'ya kıyasla MTSA 7 multimodal sayısal test fonksiyonununun 7'sinde de en iyi sonuçları sağladığı gözlenmektedir. MTSA'nın bu denli iyi performans sağlaması tohum oluşumu esnasında ağaçların turnuva seçim yöntemi kullanarak seçilmesi ile sağlanmaktadır. Bundan dolayı algoritmanın yüksek arama yaptığı sonucuna varılabilir. Bu arama uzayının ümit verici alanını keşfetmek ve böylece yerel optimumdan kaçınmak ve küresel optimuma yaklaşmak için gereklidir. Ayrıca önerilen MTSA, TSA'nın performansını önemli ölçüde arttırabildiği görülmüştür. Wilcoxon testi ile elde edilen p değerleri, kullanılan tüm istatistiksel testlerden %5 anlamlılık düzeyine sahip 200.000 FES için elde edilen en iyi sonuçların histogram karşılaştırması çizelgede sunulmuştur. PSO'ya karşı MTSA, GSA'ya karşı MTSA, SSA'ya karşı MTSA, GOA'ya karşı MTSA, MVO'ya karşı MTSA, TSA'ya karşı MTSA şeklinde bir karşılaştırma oluşturulmuştur. MTSA, fonksiyonların çoğu için p değeri 0.05'ten küçük olduğu için MTSA'nın diğer algoritmalara göre aralarında anlamlı bir fark olduğu görülmektedir. Bu teste ek olarak işaret göstergeleri kullanılmıştır. Sonuçlar istatistiksel olarak birbirlerinden farklı ise ($p < 0.05$) "+" ve sonuçlar istatistiksel olarak birbirlerinden farklı değil ise ($p \geq 0.05$) "-" olarak işaretleme gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.7 MTSA ile diğer algoritmaların durumunu sıralama sayılarına göstermektedir.



Şekil 4.7. Algoritmaların sıralama sonuçları (Çizelge 4.15'in özeti).

Çizelge 4.15'te yer alan literatürdeki algoritmaların sonuçları üzerinde Wilcoxon istatistik testi uygulanmıştır ve elde edilen sonuçlar Çizelge 4.16'te verilmiştir.

Çizelge 4.16. Fonksiyonların en iyi değerler için Wilcoxon testi (p değeri).

	PSO- MTSA f_1-f_{15}	GSA- MTSA f_1-f_{15}	SSA- MTSA f_1-f_{15}	GOA- MTSA f_1-f_{15}	MVO- MTSA f_1-f_{15}	TSA- MTSA f_1-f_{15}
P değeri	1.66E-02	4.19E-02	6.70E-03	1.51E-02	5.40E-03	6.1035e-05

Dolayısıyla p değerleri incelendiğinde, Çizelge 4.16'daki Wilcoxon test sonuçları incelendiğinde PSO-MTSA, GSA-MTSA ve GOA-MTSA arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farkın olduğu görülmüştür. SSA-MTSA ve MVO-MTSA arasında istatistiksel olarak yüksek düzeyde anlamlı bir farkın olduğu görülmüştür. TSA-MTSA arasında ise istatistiksel olarak çok yüksek düzeyde bir farkın olduğu görülmüştür.

4.2. Enerji Talep Tahmin Probleminin Sonuçları

Bu bölümde orijinal TSA ile önerilen yöntem olan MTSA enerji talep tahmini optimizasyon problemine uygulanmış ve üç farklı senaryo eşliğinde tahmin modeli oluşturulmuştur. Gelecek enerji talebinin tahmini üç farklı olası senaryo eşliğinde gerçekleştirilmiş ve grafikler halinde analizleri yapılmıştır. Ayrıca MTSA ve TSA yöntemlerinin

sonuçları ile literatürde yer alan diğer yöntemlerin sonuçlarının analiz grafiği oluşturularak kıyaslanmıştır.

4.2.1. Enerji talep tahmin problemine önerilen yöntemin uygulanması

Bir ülkenin enerji talebini en çok etkileyen ve literatürde belirtilen ekonomi tabanlı gayri safi yurtiçi hasıla (GSYH), nüfus, ithalat ve ihracat verileri TSA ve MTSA yöntemleri kullanılarak enerji talep modeline uygulanmıştır. 1979 ile 2005 yılları arasında Türkiye için GSYH, nüfus, ithalat, ihracat verileri ve Türkiye'nin enerji talep değeri Çizelge 4.17'de verilmiştir. Tüm bu veriler Türkiye İstatistik Kurumu, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, enerji raporları ve literatürden toplanmıştır (Bulut ve Yıldız, 2016; CBT, 2016; NS, 2016; WECTNC, 2014, 2015).

Çizelge 4.17. Türkiye'nin Enerji talebi, GSYH, nüfus, ithalat ve ihracat verileri.

Yıl	Enerji Talebi (TWh)	GSYH (\$10^9)	Nüfus (10^6)	İthalat (\$10^9)	İhracat (\$10^9)
1979	30.71	82	45.53	5.07	2.26
1980	31.97	68	44.44	7.91	2.91
1981	32.05	72	45.54	8.93	4.70
1982	34.39	64	46.69	8.84	5.75
1983	35.70	60	47.86	9.24	5.73
1984	37.43	59	49.07	10.76	7.13
1985	39.40	67	50.31	11.34	7.95
1986	42.47	75	51.43	11.10	7.46
1987	46.88	86	52.56	14.16	10.19
1988	47.91	90	53.72	14.34	11.66
1989	50.71	108	54.89	15.79	11.62
1990	52.98	151	56.10	22.30	12.96
1991	54.27	150	57.19	21.05	13.59
1992	56.68	158	58.25	22.87	14.72
1993	60.26	179	59.32	29.43	15.35
1994	59.12	132	60.42	23.27	18.11
1995	63.68	170	61.53	35.71	21.64
1996	69.86	184	62.67	43.63	23.22
1997	73.78	192	63.82	48.56	26.26
1998	74.71	207	65.00	45.92	26.97
1999	76.77	187	66.43	40.67	26.59
2000	80.50	200	67.42	54.50	27.78
2001	75.40	146	68.37	41.40	31.33

Çizelge 4.17. Türkiye'nin Enerji talebi, GSYH, nüfus, ithalat ve ihracat verileri.

2002	78.33	181	69.30	51.55	36.06
2003	83.84	239	70.23	69.34	47.25
2004	87.82	299	71.15	97.54	63.17
2005	91.58	361	72.97	116.77	73.48

Türkiye'nin sürekli bir gelişim içinde olduğu ekonomik değerlerin yıllar geçtikçe arttığı Çizelge 4.17'de gözlemlenmektedir. Ayrıca Çizelge 4.17 incelendiğinde ekonomik değerlerdeki artış ile tüketilen enerji artışı arasında bir bağlantı olduğu söylenebilir (M. Beşkirli vd., 2017). Bu bağlantılar dikkate alındığında enerji talep tahmini için lineer form kullanılarak formül oluşturulmuş ve Denklem 8'deki gibi modellenmiştir.

Lineer form denklemi şu şekilde ifade edilebilir;

$$E_{lineer} = w_1 + w_2X_1 + w_3X_2 + w_4X_3 + w_5X_4 \quad (8)$$

Enerji talep tahmininin asıl amacı, eldeki verileri işleyerek optimum bir sonuç bulmaktır. Denklem 5'teki X_1, X_2, X_3 ve X_4 değerleri sırasıyla GSYH, nüfus, ithalat ve ihracat değerlerini belirtmektedir. Bu değerlere göre verilen yıllar için en uygun enerji talep tahminini yapacak ağırlık değerleri (w_i) hesaplanmaktadır. Kullanılan amaç fonksiyonu ise Denklem 9'da verilmiştir.

$$\min f(v) = \sum_{r=1}^R (E_r^{gözlenen} - E_r^{tahmin edilen})^2 \quad (9)$$

Burada $E_r^{gözlenen}$ ve $E_r^{tahmin edilen}$ değerleri gerçek ve tahmin edilen değerleri gösterirken, R ise gözlemlerin sayısını tutmaktadır.

4.2.2. MTSA ile TSA'nın literatürdeki yöntemler ile karşılaştırılması

Önerilen yöntem olan MTSA ile orijinal TSA yöntemlerinin, enerji talep tahmin problemi üzerindeki başarısını gösterebilmek için ACO (Toksarı, 2007), PSO (Ünler, 2008), HAPE (Kıran vd., 2012), BA (Haklı ve Uğuz, 2014), DEA (M. Beşkirli vd., 2017) ve AAA (A. Beşkirli vd., 2018) tarafından yapılan yöntemlerin sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Önerilen yöntem ile literatürdeki yöntemleri karşılaştırabilmek ve sağlıklı bir şekilde analizini yapabilmek için literatürde yer alan yöntemlerde olduğu gibi MTSA ve TSA yöntemleri için de Çizelge 4.16'da yer alan 1979-2005 yıllarındaki veriler dikkate alınmış ve enerji talebi için tahmin modeli oluşturulmuştur. MTSA ve TSA yöntemleri için popülasyon sayısı 100, ST değeri 0.1 ve maksimum fonksiyon değerlendirme sayısı (MaxFEs) ise 200.000 olarak belirlenmiştir. Lineer

form için MTSA'ya ait ağırlıklar Denklem 10 ve TSA'ya ait ağırlıklar ise Denklem 11'de verilmiştir. Ayrıca tüm kodlamalar MATLAB 2014 (8.3) ile gerçekleştirilmiş ve aynı koşullar altında 10 kez çalıştırılarak elde edilen en iyi çözüm dikkate alınmıştır.

Lineer form için ağırlıklar:

$$E_{MTSA_lineer} = 0.00380X_1 + 1.91227X_2 + 0.37354X_3 - 0.48351X_4 - 55.89907 \quad (10)$$

$$f(v)_{MTSA_lineer} = 41.71200$$

$$E_{TSA_lineer} = 0.01032X_1 + 1.90057X_2 + 0.25111X_3 - 0.31693X_4 - 55.62818 \quad (11)$$

$$f(v)_{TSA_lineer} = 46.27831$$

MTSA, TSA, DEA, AAA, BA, PSO ve ACO algoritmalarının katsayıları ve hata değerleri Çizelge 4.18'de yer almaktadır. MTSA ve TSA haricindeki algoritmaların katsayıları ve hata değerleri ilgili çalışmalardan temin edilerek çizelgeye eklenmiştir.

Çizelge 4.18. Lineer form için katsayıların ve hata miktarlarının karşılaştırılması.

	W ₁	W ₂	W ₃	W ₄	W ₅	Hata
MTSA	-55.8991	0.0038	1.9123	0.3735	-0.4835	41.7120
TSA	-55,6282	0,0103	1,9006	0,2511	-0,3169	46,2783
DEA	-55.8991	0.0038	1.9123	0.3735	-0.4835	41.7120
AAA	-55.8991	0.0038	1.9123	0.3735	-0.4835	41.7120
HAPE	-55.9091	0.0038	1.9126	0.3734	-0.4833	41.7029
BA	-57.7676	0.00002	1.9549	0.4023	-0.5316	42.4890
PSO	-55.9022	0.0021	1.9126	0.3431	-0.4240	42.6139
ACO	-51.3046	0.0124	1.8102	0.3524	-0.4439	45.7239

Çizelge 4.18'e bakıldığında MTSA yöntemi, DEA, AAA ve HAPE yöntemlerinde olduğu gibi en az hata değerine sahip olması sebebiyle başarılı bir performans sergilerken diğer yöntemler MTSA'nın gerisinde kalmıştır.

MTSA ve TSA yöntemlerinin 1996-2005 yılları arasındaki tahmin ettiği enerji talep miktarı ile gözlenen enerji miktarı Çizelge 4.19'da sunulmuştur. Ayrıca hem MTSA hem de TSA için tahmin edilen enerji talebi ve gözlenen değer arasındaki hata miktarı ile bağıl hata oranlarına da Çizelge 4.19'da yer verilmiştir.

Çizelge 4.19. MTSA ve TSA yöntemlerine ait 1996-2005 yılları arasındaki enerji talep tahminleri.

Yıllar	Gözlenen Enerji Talebi	Tahmin Edilen Enerji Talebi		Hata Miktar		Bağıl Hata (%)	
		MTSA	TSA	MTSA	TSA	MTSA	TSA
1996	69.86	69.71	68.98	0.15	0.89	0.21	1.27
1997	73.78	72.32	71.52	1.46	2.26	1.99	3.07
1998	74.71	73.30	73.03	1.41	1.68	1.89	2.25
1999	76.77	74.18	74.34	2.59	2.43	3.37	3.16
2000	80.50	80.71	79.45	-0.21	1.05	-0.27	1.30
2001	75.40	75.71	76.29	-0.31	-0.89	-0.42	-1.18
2002	78.33	79.13	79.47	-0.80	-1.14	-1.02	-1.45
2003	83.84	82.37	82.75	1.47	1.09	1.76	1.30
2004	87.82	87.19	87.15	0.63	0.67	0.72	0.76
2005	91.58	93.10	92.81	-1.52	-1.23	-1.66	-1.35

Enerji talep tahmin problemini çözmek için önerilen yöntem olan MTSA ve TSA ile literatürde yer alan mevcut yöntemlerin 1996-2005 yılları arasındaki ortalama bağıl hata oranları Çizelge 4.20’de sunulmuştur.

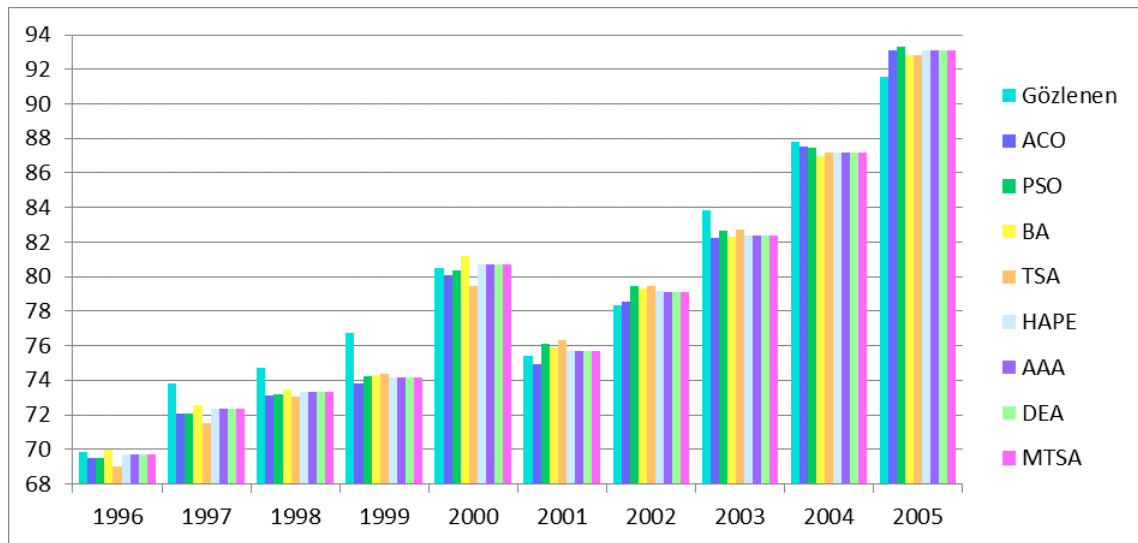
Çizelge 4.20. Önerilen yöntem ile mevcut yöntemlerin 1996-2005 yılları arasındaki ortalama bağıl hataları.

Algoritmalar	Ortalama Bağıl Hata	Referanslar
TSA	1.71	Orijinal Yöntem
PSO	1.43	Ünler, 2008
ACO	1.41	Toksarı, 2007
BA	1.35	Haklı ve Uğuz, 2014
DEA	1.33	M. Beşkirli vd., 2017
AAA	1.33	A. Beşkirli vd., 2018
MTSA	1.33	Önerilen Yöntem

Enerji talep tahmini problemi için ortalama bağıl hata oranı ne kadar düşük olursa elde edilen tahmin sonuçları, gözlenen enerji talep değerlerine bir o kadar yakın olacaktır. Yani önerilen yöntemin doğruya yakın bir şekilde tahmin etmesi ortalama bağıl hataya bağlıdır. Bu bilgiler ışığında Çizelge 4.20’de yer alan HAPE, DEA, AAA ve önerilen yöntem olan MTSA’nın 1.33 değeriyle en düşük ortalama bağıl hataya sahip olduğu görülmüştür. TSA, PSO, ACO ve BA yöntemleri ise MTSA’nın gerisinde kalmıştır. Böylece MTSA, HAPE, DEA ve AAA yöntemleri en az ortalama bağıl hata oranına sahip olduğundan gözlenen enerji talep değerlerine daha yakın

tahminde bulunduğu söylenebilir. Bundan dolayı enerji talebi için MTSA, diğer yöntemlerden (TSA, PSO, ACO ve BA) daha başarılı tahminler elde etmiştir.

MTSA, DEA, AAA, HAPE, TSA, BA, PSO ve ACO algoritmalarının 1996-2005 yılları arasındaki tahmin edilen enerji talep miktarları ile o yıllarda gözlenen enerji talep miktarları Şekil 4.8’de gösterilmiştir.



Şekil 4.8. Algoritmaların 1996-2005 yılları arasındaki enerji talep tahminlerinin kıyaslanması.

Şekil 4.8 incelendiğinde DEA, AAA, HAPE ve önerilen yöntem olan MTSA'nın birbirlerine benzer tahmin yaptıkları ve diğer algoritmalara göre gözlenen enerji talebine yakın sonuç elde ettikleri görülmüştür.

4.2.3. MTSA ve TSA yöntemleri kullanılarak enerji talebinin gelecek projeksiyonlarının tahmini

Önerilen yöntemin literatürdeki mevcut yöntemlere göre başarısı gösterildikten sonra 1979-2005 yılları arasındaki güncel veriler ile lineer form için senaryolar hesaplanarak Türkiye'nin 2006-2025 arasındaki yıllar için enerji talep tahmini gerçekleştirilmiştir.

Türkiye'nin 2006-2025 yılları arasındaki enerji talebinin tahmin edilmesi için üç farklı senaryo kullanılmıştır (M. Beşkirli vd., 2017).

Senaryo 1: 2006-2025 yıllarındaki ortalama GSYH büyüme oranının %4, nüfus artış hızının %0,5, ithalat artış oranının %2,5 ve ihracat artış oranının %3 olduğu varsayılmaktadır.

Senaryo 2: 2006-2025 yıllarındaki ortalama GSYH büyüme oranının %5, nüfus artış oranının %0,6, ithalat artış oranının %3,5 ve ihracat artış oranının %3,5 olduğu varsayılmaktadır.

Senaryo 3: 2006-2025 yıllarındaki ortalama GSYH büyüme oranının %6, nüfus artış oranının %0,7, ithalat artış oranının %4 ve ihracat artış oranının %5,5 olarak varsayılmıştır.

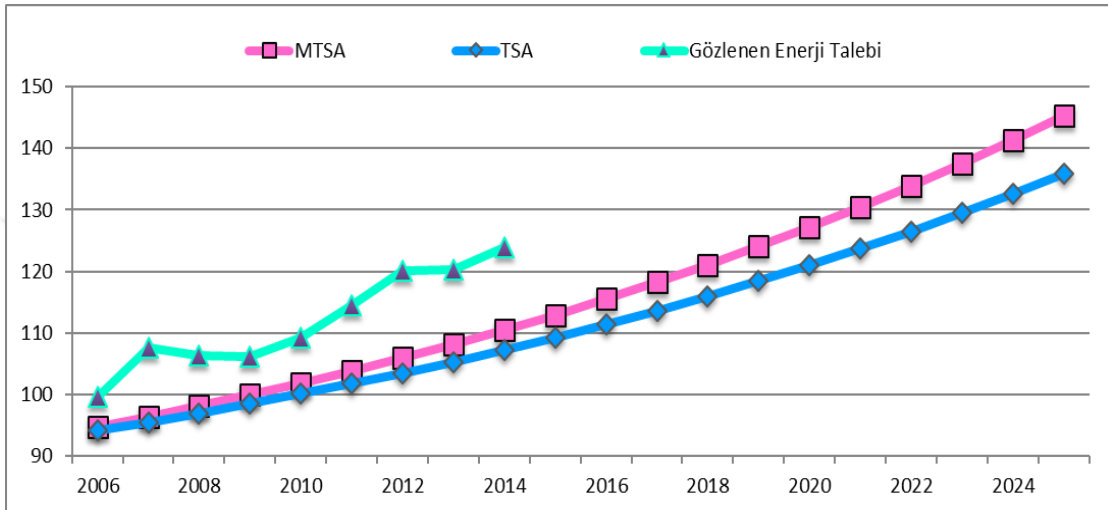
MTSA ve TSA yöntemi ile elde edilen katsayılar ve verilen senaryolar kullanılarak 2006-2025 yılları arasında elde edilen enerji talep tahmin değerleri Çizelge 4.21’de verilmiştir. 2006-2014 yılları arasındaki gözlenen enerji talebi test verisi olarak kullanılmıştır.

Çizelge 4.21. Önerilen yöntemin Senaryo 1, 2 ve 3’e göre toplam enerji talebinin gelecek projeksiyonları.

Yıllar	Gözlenen Enerji Talebi	MTSA			TSA		
		Senaryo 1	Senaryo 2	Senaryo 3	Senaryo 1	Senaryo 2	Senaryo 3
2006	99.59	94.68	104.41	94.13	94,13	100,48	93,71
2007	107.63	96.33	105.64	95.20	95,50	101,55	94,65
2008	106.34	98.06	106.93	96.32	96,95	102,66	95,63
2009	106.14	99.88	108.28	97.50	98,46	103,82	96,65
2010	109.27	101.80	109.68	98.73	100,05	105,02	97,72
2011	114.48	103.81	111.14	100.02	101,72	106,28	98,83
2012	120.09	105.92	112.66	101.37	103,47	107,59	99,98
2013	120.29	108.14	114.25	102.78	105,30	108,95	101,19
2014	123.94	110.47	115.91	104.27	107,23	110,37	102,45
2015	N/A	112.92	117.64	105.82	109,25	111,85	103,77
2016	N/A	115.49	119.45	107.45	111,37	113,40	105,14
2017	N/A	118.19	121.34	109.16	113,60	115,01	106,58
2018	N/A	121.02	123.31	110.96	115,93	116,70	108,08
2019	N/A	124.00	125.37	112.84	118,39	118,45	109,64
2020	N/A	127.13	127.52	114.81	120,96	120,29	111,28
2021	N/A	130.41	129.77	116.88	123,67	122,21	112,99
2022	N/A	133.86	132.12	119.06	126,51	124,21	114,79
2023	N/A	137.48	134.58	121.34	129,49	126,30	116,66
2024	N/A	141.28	137.15	123.74	132,62	128,49	118,62
2025	N/A	145.27	139.84	126.25	135,90	130,77	120,67

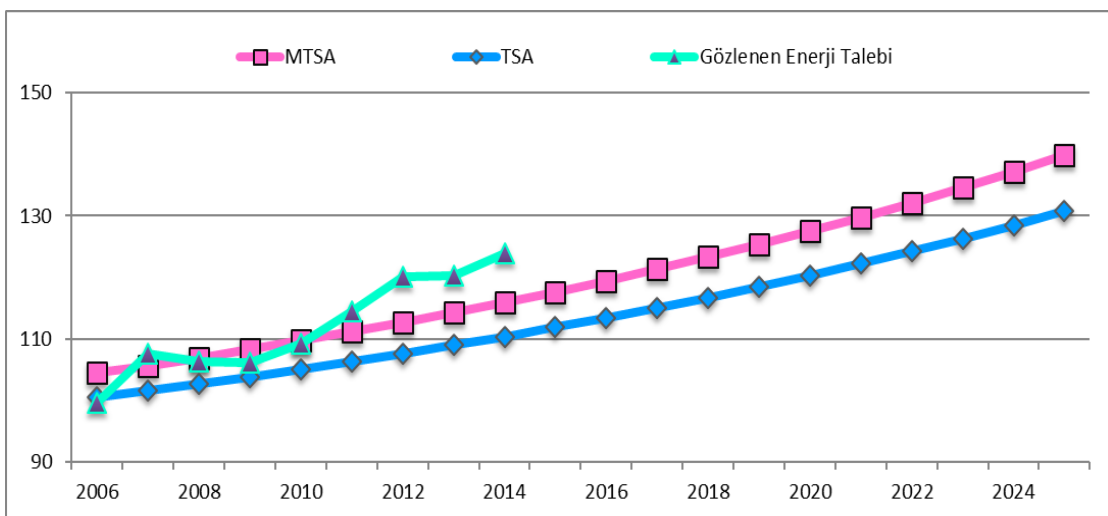
Çizelge 4.21, genel olarak değerlendirildiğinde MTSA yöntemi için özellikle Senaryo 2’nin diğer senaryolara göre gözlenen enerji talebine daha yakın tahminler yaptığı görülmektedir. Test verisine ikinci en yakın tahmin, TSA yönteminde Senaryo 2 ile elde edilmiştir. Diğer senaryolar ise bu iki senaryonun gerisinde kalarak gelecek yılların enerji talep tahmininde başarısının düşük olacağı beklenmektedir. Bundan dolayı MTSA yönteminin gelecek yıllardaki enerji talebini Senaryo 2 ile daha başarılı bir şekilde tahmin edeceği söylenebilir.

Önerilen yöntemin enerji talep tahmin sonuçları ile gözlenen enerji talep verilerinin kıyaslanması grafikler halinde Şekil 4.9, 4.10 ve 4.11’de tüm senaryolar için verilmiştir. MTSA yöntemi TSA yöntemine kıyasla gözlenen enerji talebine daha yakın tahminlerde bulunması sebebiyle MTSA’nın Senaryo 1, Senaryo 2 ve Senaryo 3’e göre grafik analizi yapılmış ve Şekil 4.12’de sunulmuştur.



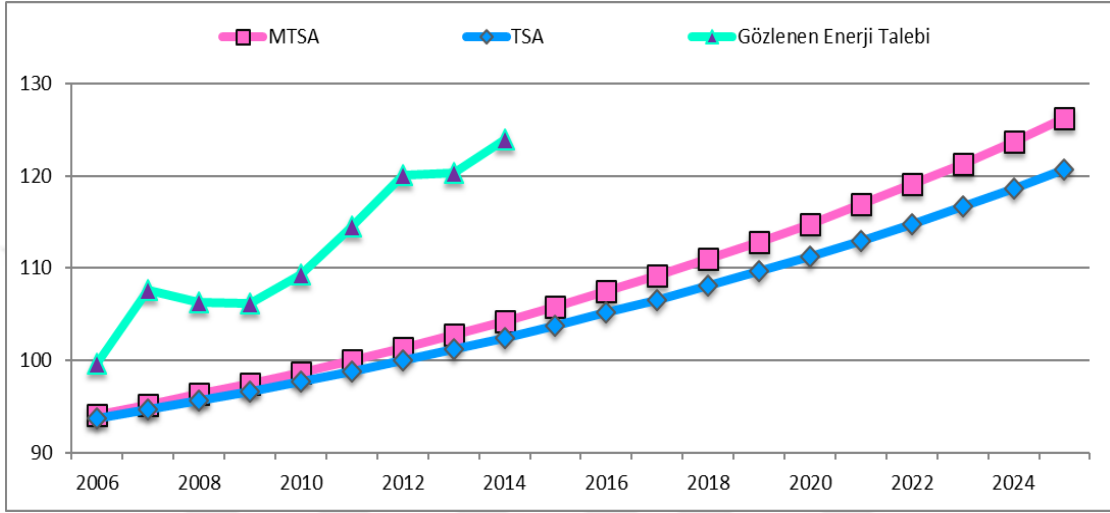
Şekil 4.9. Senaryo 1 için önerilen yöntemin gelecekteki enerji talep tahmini.

Şekil 4.9. incelendiğinde, senaryo 1 için MTSA ile TSA yöntemlerinin özellikle 2011 yılına kadar lineer model enerji talep tahmin değerlerinin birbirine çok yakın olduğu fakat gözlenen enerji talep değerinin altında tahmin değeri elde ettiği görülmektedir.



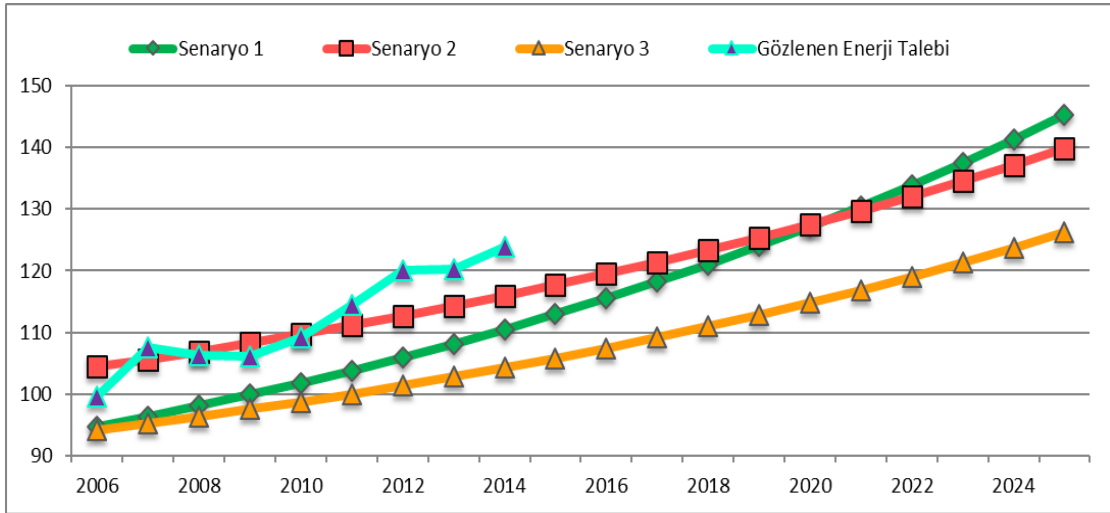
Şekil 4.10. Senaryo 2 için önerilen yöntemin gelecekteki enerji talep tahmini.

Şekil 4.10'da senaryo 2 incelendiğinde, önerilen yöntem olan MTSA'nın elde etmiş olduğu gelecekteki enerji talep tahmin değerlerinin gözlenen enerji talep değerine çok yakın olduğu TSA'nın ise MTSA'ya göre gözlenen enerji talep değerine daha uzak bir tahmin gerçekleştirdiği gözlemlenmiştir.



Şekil 4.11. Senaryo 3 için önerilen yöntemin gelecekteki enerji talep tahmini.

Şekil 4.11. incelendiğinde senaryo 3 için hem MTSA'nın hem de TSA'nın elde etmiş olduğu enerji talep tahmin değerleri gözlenen enerji talep değerinin altında olduğu söylenebilir.



Şekil 4.12. MTSA'nın gelecekteki enerji talebinin senaryolara göre tahmini.

Önerilen yöntem ile 3 farklı senaryo eşliğinde oluşturulan enerji talep tahmin modelleri Şekil 4.12.'de sunulmuştur. MTSA'nın gelecekteki enerji talebinin senaryolara göre tahmini ile

gözlenen enerji talep değerleri kıyaslandığında özellikle senaryo 2 ile elde edilen enerji talep tahmin değerlerinin senaryo 1 ve senaryo 3 ile elde edilen enerji talep tahmin değerlerine göre daha gerçekçi ve kabul edilebilir bir tahmin modeli olduğu gözlemlenmiştir.



5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1 Sonuçlar

Bu tez çalışmasında ilk olarak doğa esinli meta-sezgisel algoritmalar içerisinde yer alan ve son zamanlarda yeni bir algoritma olarak önerilen TSA üzerinde çalışmalar yapılmıştır. TSA'nın tohum oluşumu esnasında kullanılacak ağaçların rastgele seçilmesi yerine turnuva seçim yöntemi kullanılarak yeni bir yöntem önerilmiştir. Önerilen yöntem kullanılarak TSA'nın performansını ve çözüm kalitesini arttırmak amaçlanmıştır. Bu yöntem MTSA olarak isimlendirilmiştir. Algoritmaların popülasyon sayıları 10, 20, 30, 40, 50, problem boyut sayıları 20, 50, 100 ve ST parametresi 0.1, 0.5, 0.9 alınarak eşit şartlarda MTSA ile orijinal TSA, 15 farklı sayısal test problemlerine uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlara bakıldığında problem boyutu, popülasyon sayısı ve ST parametre değeri arttıkça MTSA'nın orijinal TSA'ya göre daha iyi bir performans sergilediği görülmüştür. Kutu grafiklerine bakıldığında ise MTSA'nın TSA'dan daha kararlı ve etkili sonuç gösterdiği söylenebilir. Ayrıca TSA'da yapılan yenilik sayesinde MTSA'nın daha hızlı bir yakınsama yaptığı grafiklere bakılarak yorumlanabilir. Bunların yanı sıra, MTSA ile literatürde yer alan PSO, GSA, SSA, GOA, MVO ve orijinal TSA aynı şartlar altında 200.000 FES kullanılarak 15 farklı sayısal test fonksiyonlarında performansları kıyaslanmış ve MTSA'nın daha iyi bir başarı elde ettiği görülmüştür.

Problem boyutunun artması ile TSA'nın çözüm performansı azaldığından yüksek boyutlu problemlerde TSA iyi sonuç vermemektedir. Ancak TSA'da tohum üretimi aşamasında ağaçların rastgele seçilmesi yerine turnuva seçim metodu kullanılarak oluşturulan MTSA ile arama uzayı daha efektif taranarak kaliteli çözüm üretmeyi başardığı yapılmış olan testlerden görülmüştür.

İkinci olarak ise önerilen yöntem olan MTSA'nın gerçek dünya optimizasyon problemi üzerindeki başarısını da göstermek için enerji talep tahmini optimizasyon problemine uygulanmıştır. MTSA ve TSA yöntemleri için popülasyon sayısı 100, ST değeri 0.1 ve maksimum fonksiyon değerlendirme sayısı (MaxFES) ise 200.000 olarak belirlenmiştir. Önerilen yöntem ile literatürdeki yöntemleri karşılaştırabilmek ve sağlıklı bir şekilde analizini yapabilmek için literatürde yer alan yöntemlerde olduğu gibi MTSA ve TSA yöntemleri için de 1979-2005 yıllarındaki gayri safi yurtiçi hasıla (GSYH), nüfus, ithalat ve ihracat verileri dikkate alınmış ve 2006-2024 yılları arasındaki enerji talebi için tahmin modeli oluşturulmuştur. Ayrıca modelin geçerliliğini sağlamak için 2006-2014 yıllarında kullanılan enerji talep değerleri test amaçlı kullanılmıştır. Önerilen yöntem ile oluşturulan enerji talebi üç senaryo eşliğinde modellenerek o yıllardaki gözlenen enerji talep değerleri ile karşılaştırılmıştır. Önerilen yöntemin enerji talep

tahmini başarısı çalışmada kullanılan senaryolara ve veri setine bağlı olarak değişmektedir. Senaryo 1 ve senaryo 3’de MTSA yöntemi TSA yöntemine göre gözlenen enerji talebi değerine daha yakın bir değer elde etmiştir. Bunun yanı sıra senaryo 2’de MTSA yöntemi TSA yöntemine göre çok daha iyi bir performans sergileyerek gözlenen enerji talebine çok yakın bir tahmin değeri elde etmiştir. Bundan dolayı, enerji talep tahmini için önerilen yöntem olan MTSA’nın gerçekçi ve kabul edilebilir bir tahmin aracı olduğu gözlemlenmiştir.

5.2 Öneriler

Gelecek çalışmalarda önerilen yöntemin optimizasyon algoritmalarıyla hibritlenmesi sonucunda elde edilecek yeni hibrit algoritmanın daha iyi sonuçlar verebileceği düşünülmektedir. Önerilen yöntem ile çok küçük boyutlu ve aşırı yüksek boyutlu sayısal test fonksiyonlarında veya gerçek dünya optimizasyon problemlerinde daha etkili çözümler üretebileceği düşünülmektedir. Ayrıca algoritma yapısında daha farklı yaklaşımlar sunularak aşırı yüksek boyutlu optimizasyon problemlerinde daha etkili çözümler üretilmesi için geliştirilmesi önerilmektedir.

KAYNAKLAR DİZİNİ

Ahmad, S. G., Liew, C. S., Munir, E. U., Ang, T. F., Khan, S. U. (2016). A hybrid genetic algorithm for optimization of scheduling workflow applications in heterogeneous computing systems. *Journal of Parallel and Distributed Computing*, 87, 80-90. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jpdc.2015.10.001>

Akay, B., ve Karaboga, D. (2012). A modified Artificial Bee Colony algorithm for real-parameter optimization. *Information Sciences*, 192(Supplement C), 120-142. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ins.2010.07.015>

Akay, D., ve Atak, M. (2007). Grey prediction with rolling mechanism for electricity demand forecasting of Turkey. *Energy*, 32(9), 1670-1675. doi:<https://doi.org/10.1016/j.energy.2006.11.014>

Akyol, S., ve Alataş, B. (2012). Güncel Sürü Zekası Optimizasyon Algoritmaları. *Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 1(1).

Alataş, B. (2011). ACROA: artificial chemical reaction optimization algorithm for global optimization. *Expert Systems with Applications*, 38(10), 13170-13180.

Alavidoost, M. H., Zarandi, M. H. F., Tarimoradi, M., Nemati, Y. (2017). Modified genetic algorithm for simple straight and U-shaped assembly line balancing with fuzzy processing times. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 28(2), 313-336. doi:10.1007/s10845-014-0978-4

Aras, H., ve Aras, N. I. L. (2004). Forecasting Residential Natural Gas Demand. *Energy Sources*, 26(5), 463-472. doi:10.1080/00908310490429740

Aslan, M., Beşkirli, M., Kodaz, H.,Kıran, M. S. (2018). An Improved Tree Seed Algorithm for Optimization Problems. *International Journal of Machine Learning and Computing*, 8(1), 20-25.

Babalık, A., Cinar, A. C., Kıran, M. S. (2018). A modification of tree-seed algorithm using Deb's rules for constrained optimization. *Applied Soft Computing*, 63, 289-305. doi:<https://doi.org/10.1016/j.asoc.2017.10.013>

Bakırtaş, T., Karbuz, S., Bildirici, M. (2000). An econometric analysis of electricity demand in Turkey. *METU Studies in Development*, 27(1), 23.

Bayrak, M., ve Esen, Ö. (2014). Forecasting Turkey's Energy Demand Using Artificial Neural Networks: Future Projection Based on an Energy Deficit. *Journal of Applied Economic Sciences*, 2(28), 191-204.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Beşkirli, A., Beşkirli, M., Haklı, H., Uğuz, H. (2018). Comparing Energy Demand Estimation Using Artificial Algae Algorithm: The Case of Turkey. *Journal of Clean Energy Technologies*, 6(4).
- Beşkirli, A., Özdemir, D., Temurtaş, H. (2019). A comparison of modified tree–seed algorithm for high-dimensional numerical functions. *Neural Computing and Applications*, 1-35.
- Beşkirli, M., Haklı, H., Kodaz, H. (2017). The energy demand estimation for Turkey using differential evolution algorithm. *Sādhanā*, 42(10), 1705-1715.
- Bulut, Y. M., ve Yıldız, Z. (2016). Comparing energy demand estimation using various statistical methods: the case of Turkey. *Gazi University Journal of Science*, 29(2), 237-244.
- Bunday, B. D. (1984). *Basic optimisation methods*: Edward Arnold London.
- Canyurt, O. E., ve Öztürk, H. K. (2006). Three different applications of genetic algorithm (GA) search techniques on oil demand estimation. *Energy Conversion and Management*, 47(18), 3138-3148. doi:<https://doi.org/10.1016/j.enconman.2006.03.009>
- Canyurt, O. E., ve Öztürk, H. K. (2007). Application of Genetic Algorithm (GA) Technique on Demand Estimation of Fossil Fuels in Turkey. (47977), 193-201. doi:10.1115/ES2007-36260
- CBT. (2016). Central Bank of Turkey, <http://www.tcmb.gov.tr> (in Turkish).
- Ceylan, H., Ceylan, H., Haldenbilen, S., Baskan, O. (2008). Transport energy modeling with meta-heuristic harmony search algorithm, an application to Turkey. *Energy Policy*, 36(7), 2527-2535. doi:<https://doi.org/10.1016/j.enpol.2008.03.019>
- Ceylan, H., ve Öztürk, H. K. (2004). Estimating energy demand of Turkey based on economic indicators using genetic algorithm approach. *Energy Conversion and Management*, 45(15), 2525-2537. doi:<https://doi.org/10.1016/j.enconman.2003.11.010>
- Ceylan, H., Öztürk, H. K., Hepbasli, A., Utlu, Z. (2005). Estimating Energy and Exergy Production and Consumption Values Using Three Different Genetic Algorithm Approaches. Part 2: Application and Scenarios. *Energy Sources*, 27(7), 629-639. doi:10.1080/00908310490448631
- Chen, F., Ye, Z., Wang, C., Yan, L., Wang, R. (2018). *A Feature Selection Approach for Network Intrusion Detection Based on Tree-Seed Algorithm and K-Nearest Neighbor*. Paper presented at the 2018 IEEE 4th International Symposium on Wireless Systems within the International Conferences on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems (IDAACS-SWS).

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Chen, J., Yu, W., Tian, J., Chen, L., Zhou, Z. (2018). Image contrast enhancement using an artificial bee colony algorithm. *Swarm and Evolutionary Computation*, 38, 287-294. doi:<https://doi.org/10.1016/j.swevo.2017.09.002>

Cinar, A., ve Kiran, M. (2016). *A Parallel Version of Tree-Seed Algorithm (TSA) within CUDA Platform*. Paper presented at the Selçuk International Scientific Conference On Applied Sciences.

Çalışkan, Ş. (2009). Türkiye'nin enerjide dışa bağımlılık ve enerji arz güvenliği sorunu. *Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, (25), 297-310.

Çayır Ervural, B., ve Ervural, B. (2018). Improvement of grey prediction models and their usage for energy demand forecasting. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 34(4), 2679-2688.

Çınar, A. C., Işcan, H., Kiran, M. S. (2018). Tree-Seed algorithm for large-scale binary optimization. *KnE Social Sciences*, 3(1), 48-64.

Çınar, A. C., ve Kiran, M. S. (2017, 5-8 Oct. 2017). *Boundary conditions in Tree-Seed Algorithm: Analysis of the success of search space limitation techniques in Tree-Seed Algorithm*. Paper presented at the 2017 International Conference on Computer Science and Engineering (UBMK).

Çınar, A. C., ve Kiran, M. S. (2018). Similarity and Logic Gate-Based Tree-Seed Algorithms for Binary Optimization. *Computers & Industrial Engineering*, 115, 631-646. doi:<https://doi.org/10.1016/j.cie.2017.12.009>

Dilaver, Z., ve Hunt, L. C. (2011a). Industrial electricity demand for Turkey: A structural time series analysis. *Energy Economics*, 33(3), 426-436. doi:<https://doi.org/10.1016/j.eneco.2010.10.001>

Dilaver, Z., ve Hunt, L. C. (2011b). Modelling and forecasting Turkish residential electricity demand. *Energy Policy*, 39(6), 3117-3127. doi:<https://doi.org/10.1016/j.enpol.2011.02.059>

Dorigo, M., Birattari, M., Stutzle, T. (2006). Ant colony optimization. *IEEE Computational Intelligence Magazine*, 1(4), 28-39. doi:10.1109/MCI.2006.329691

Edgar, T. F., ve Himmelblau, D. M. (1989). *Optimization of Chemical Process* Mc. Graw Hill Book Co, Singapore.

Ediger, V. Ş., ve Akar, S. (2007). ARIMA forecasting of primary energy demand by fuel in Turkey. *Energy Policy*, 35(3), 1701-1708. doi:<https://doi.org/10.1016/j.enpol.2006.05.009>

El-Fergany, A. A., ve Hasanien, H. M. (2018). Tree-seed algorithm for solving optimal power flow problem in large-scale power systems incorporating validations and comparisons. *Applied Soft Computing*, 64, 307-316. doi:<https://doi.org/10.1016/j.asoc.2017.12.026>

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Erdoğan, E. (2007). Electricity demand analysis using cointegration and ARIMA modelling: A case study of Turkey. *Energy Policy*, 35(2), 1129-1146. doi:<https://doi.org/10.1016/j.enpol.2006.02.013>

Ersel Canyurt, O., Ceylan, H., Kemal Ozturk, H., Hepbasli, A. (2004). Energy Demand Estimation Based on Two-Different Genetic Algorithm Approaches. *Energy Sources*, 26(14), 1313-1320. doi:10.1080/00908310490441610

Glover, F., ve Laguna, M. (1997). Tabu search, 1997. *Cited on*, 83.

Golberg, D. E. (1989). Genetic algorithms in search, optimization, and machine learning. *Addion wesley*, 1989, 102.

Görücü, F. B. (2004a). Artificial Neural Network Modeling for Forecasting Gas Consumption. *Energy Sources*, 26(3), 299-307. doi:10.1080/00908310490256626

Görücü, F. B. (2004b). Evaluation and Forecasting of Gas Consumption by Statistical Analysis. *Energy Sources*, 26(3), 267-276. doi:10.1080/00908310490256617

Guden, H., Vakvak, B., Ozkan, B., Altıparmak, F., Dengiz, B. (2005). Genel Amaçlı Arama Algoritmaları ile Benzetim Eniyilemesi: En İyi Kanban Sayısının Bulunması. *Endüstri Mühendisliği Dergisi*, 16(1), 2-15.

Güden, H., Vakvak, B., Özkan, B. E., Altıparmak, F., Dengiz, B. Genel Amaçlı Arama Algoritmaları ile Benzetim Eniyilemesi: En İyi Kanban Sayısının Bulunması.

Güneş, G., ve Aslan, E. (2015). *Use of Renewable Energy Sources and Its Effects to Sustainable Tourism – Turkey Example*. Paper presented at the Doğu Karadeniz Bölgesi Sürdürülebilir Turizm Kongresi, Gümüşhane/TURKEY.

Haklı, H., ve Uğuz, H. (2014). *Estimating Energy Demand of Turkey using Bat Algorithm Model*. Paper presented at the International Journal of Arts & Sciences, Prague, Czech Republic.

Haldenbilen, S., ve Ceylan, H. (2005). Genetic algorithm approach to estimate transport energy demand in Turkey. *Energy Policy*, 33(1), 89-98. doi:[https://doi.org/10.1016/S0301-4215\(03\)00202-7](https://doi.org/10.1016/S0301-4215(03)00202-7)

Hamzaçebi, C. (2007). Forecasting of Turkey's net electricity energy consumption on sectoral bases. *Energy Policy*, 35(3), 2009-2016. doi:<https://doi.org/10.1016/j.enpol.2006.03.014>

Heidari, A. A., ve Pahlavani, P. (2017). An efficient modified grey wolf optimizer with Lévy flight for optimization tasks. *Applied Soft Computing*, 60, 115-134. doi:<https://doi.org/10.1016/j.asoc.2017.06.044>

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Kankal, M., Akpınar, A., Kömürcü, M. İ., Özşahin, T. Ş. (2011). Modeling and forecasting of Turkey's energy consumption using socio-economic and demographic variables. *Applied Energy*, 88(5), 1927-1939. doi:<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2010.12.005>

Karaboga, D., ve Basturk, B. A powerful and efficient algorithm for numerical function optimization: artificial bee colony (ABC) algorithm. *J Glob Optim* 39, 459–471 (2007) doi:10.1007/s10898-007-9149-x

Kaur, K., Singh, U., Salgotra, R. (2018). An enhanced moth flame optimization. *Neural Computing and Applications*, 1-35.

Kavaklıoğlu, K., Ceylan, H., Ozturk, H. K., Canyurt, O. E. (2009). Modeling and prediction of Turkey's electricity consumption using Artificial Neural Networks. *Energy Conversion and Management*, 50(11), 2719-2727. doi:<https://doi.org/10.1016/j.enconman.2009.06.016>

Kennedy, J., ve Eberhart, R. (1995, Nov/Dec 1995). *Particle swarm optimization*. Paper presented at the Neural Networks, 1995. Proceedings., IEEE International Conference on.

Kıran, M. S. (2015). TSA: Tree-seed algorithm for continuous optimization. *Expert Systems with Applications*, 42(19), 6686-6698.

Kıran, M. S. (2016). An Implementation of Tree-Seed Algorithm (TSA) for Constrained Optimization *Intelligent and Evolutionary Systems* (pp. 189-197): Springer.

Kıran, M. S. (2017). Withering process for tree-seed algorithm. *Procedia Computer Science*, 111, 46-51. doi:<https://doi.org/10.1016/j.procs.2017.06.008>

Kıran, M. S., ve Fındık, O. (2015). A directed artificial bee colony algorithm. *Applied Soft Computing*, 26(Supplement C), 454-462. doi:<https://doi.org/10.1016/j.asoc.2014.10.020>

Kıran, M. S., Özceylan, E., Gündüz, M., Paksoy, T. (2012a). A novel hybrid approach based on Particle Swarm Optimization and Ant Colony Algorithm to forecast energy demand of Turkey. *Energy Conversion and Management*, 53(1), 75-83. doi:<https://doi.org/10.1016/j.enconman.2011.08.004>

Kıran, M. S., Özceylan, E., Gündüz, M., Paksoy, T. (2012b). Swarm intelligence approaches to estimate electricity energy demand in Turkey. *Knowledge-Based Systems*, 36, 93-103. doi:<https://doi.org/10.1016/j.knosys.2012.06.009>

Kirkpatrick, S., Gelatt, C. D., Vecchi, M. P. (1983). Optimization by simulated annealing. *science*, 220(4598), 671-680.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Koç, İ., Nureddin, R., Kahramanlı, H. (2018). Türkiye'de Enerji Talebini Tahmin Etmek için Doğrusal Form Kullanarak GSA (Yerçekimi Arama Algoritması) ve IWO (Yabani Ot Optimizasyon Algoritması) Tekniklerinin Uygulanması. *Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 6(4), 529-543.

Korkmaz, E., ve Akgüngör, A. P. (2018). Flower pollination algorithm approach for the transportation energy demand estimation in Turkey: model development and application. *Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy*, 13(11-12), 429-447. doi:10.1080/15567249.2019.1572835

Kul, S. (2014). İstatistik Sonuçlarının Yorumu: P Değeri ve Güven Aralığı Nedir?/Interpretation of Statistical Results: What is P Value and Confidence Interval? *Plevra Bülteni*, 8(1), 11.

Küçükali, S., ve Barış, K. (2010). Turkey's short-term gross annual electricity demand forecast by fuzzy logic approach. *Energy Policy*, 38(5), 2438-2445. doi:<https://doi.org/10.1016/j.enpol.2009.12.037>

Mahmutoğlu, M., ve Öztürk, F. (2015). *Türkiye Elektrik Tüketimi Öngörüsü ve Bu Kapsamda Geliştirilebilecek Politika Önerileri*. Paper presented at the EY International Congress on Economics II (EYC2015), November 5-6, 2015, Ankara, Turkey.

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.

Mirjalili, S., Mirjalili, S. M., Hatamlou, A. (2016). Multi-verse optimizer: a nature-inspired algorithm for global optimization. *Neural Computing and Applications*, 27(2), 495-513.

Mucuk, M., ve Uysal, D. (2009). Turkey's energy demand. *Curr Res J Soc Sci*, 1(3), 123-128.

Muneeswaran, V., ve Rajasekaran, M. P. (2016). *Performance evaluation of radial basis function networks based on tree seed algorithm*. Paper presented at the Circuit, Power and Computing Technologies (ICCPCT), 2016 International Conference on.

Muneeswaran, V., ve Rajasekaran, M. P. (2017). *Beltrami-Regularized Denoising Filter Based on Tree Seed Optimization Algorithm: An Ultrasound Image Application*. Paper presented at the International Conference on Information and Communication Technology for Intelligent Systems.

Muneeswaran, V., ve Rajasekaran, M. P. (2019). Local Contrast Regularized Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization Using Tree Seed Algorithm—An Aid for Mammogram Images Enhancement *Smart Intelligent Computing and Applications* (pp. 693-701): Springer.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Murat, Y. S., ve Ceylan, H. (2006). Use of artificial neural networks for transport energy demand modeling. *Energy Policy*, 34(17), 3165-3172. doi:<https://doi.org/10.1016/j.enpol.2005.02.010>

NS. (2016). National Statistics, <http://www.tuik.gov.tr> (in Turkish).

Oğurlu, H. (2011). *Matematiksel Modelleme Kullanarak Türkiye'nin Uzun Dönem Elektrik Yük Tahmini*. (MS), Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Özçelik, Y., ve Hepbaşlı, A. (2006). Estimating Petroleum Exergy Production and Consumption Using a Simulated Annealing Approach. *Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy*, 1(3), 255-265. doi:10.1080/00908310600718809

Öztürk, H. K., Canyurt, O. E., Hepbasli, A., Utlu, Z. (2004a). Residential-commercial energy input estimation based on genetic algorithm (GA) approaches: an application of Turkey. *Energy and Buildings*, 36(2), 175-183. doi:<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2003.11.001>

Öztürk, H. K., Ceylan, H., Canyurt, O. E., Hepbasli, A. (2005). Electricity estimation using genetic algorithm approach: a case study of Turkey. *Energy*, 30(7), 1003-1012. doi:<https://doi.org/10.1016/j.energy.2004.08.008>

Öztürk, H. K., Ceylan, H., Hepbasli, A., Utlu, Z. (2004b). Estimating petroleum exergy production and consumption using vehicle ownership and GDP based on genetic algorithm approach. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 8(3), 289-302. doi:<https://doi.org/10.1016/j.rser.2003.10.004>

Özyön, S., Yaşar, C., Temurtaş, H. Incremental gravitational search algorithm for high-dimensional benchmark functions. *Neural Computing and Applications*, 1-25.

Pan, X., Xue, L., Li, R. (2018). A new and efficient firefly algorithm for numerical optimization problems. *Neural Computing and Applications*, 1-9.

Rashedi, E., Nezamabadi-Pour, H., Saryazdi, S. (2009). GSA: a gravitational search algorithm. *Information Sciences*, 179(13), 2232-2248.

Sarak, H., ve Satman, A. (2003). The degree-day method to estimate the residential heating natural gas consumption in Turkey: a case study. *Energy*, 28(9), 929-939. doi:[https://doi.org/10.1016/S0360-5442\(03\)00035-5](https://doi.org/10.1016/S0360-5442(03)00035-5)

Saremi, S., Mirjalili, S., Lewis, A. (2017). Grasshopper optimisation algorithm: theory and application. *Advances in Engineering Software*, 105, 30-47.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Sozen, A., Arcaklioglu, E., Ozkaymak, M. (2005). Modelling of Turkey's net energy consumption using artificial neural network. *Int. J. Comput. Appl. Technol.*, 22(2/3), 130-136. doi:10.1504/ijcat.2005.006944

Sözen, A., ve Arcakliođlu, E. (2007). Prospects for Future Projections of the Basic Energy Sources in Turkey. *Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy*, 2(2), 183-201. doi:10.1080/15567240600813930

Sözen, A., Arcakliođlu, E., Özkaymak, M. (2005). Turkey's net energy consumption. *Applied Energy*, 81(2), 209-221. doi:<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2004.07.001>

Storn, R., ve Price, K. (1997). Differential evolution—a simple and efficient heuristic for global optimization over continuous spaces. *Journal of global optimization*, 11(4), 341-359.

Tefek, M.F., Uğuz, H. Güçyetmez, M. A new hybrid gravitational search–teaching–learning–based optimization method for energy demand estimation of Turkey. *Neural Comput & Applic* 31, 2939–2954 (2019) doi:10.1007/s00521-017-3244-9

Tiris, M. (2005). *Global trends for energy*. Paper presented at the Turkish Workshop on Sustainable Development: Meeting the Challenges, JuÖlich.

Toksarı, D. M. (2007). Ant colony optimization approach to estimate energy demand of Turkey. *Energy Policy*, 35(8), 3984-3990. doi:<https://doi.org/10.1016/j.enpol.2007.01.028>

Toksarı, D. M. (2009). Estimating the net electricity energy generation and demand using the ant colony optimization approach: Case of Turkey. *Energy Policy*, 37(3), 1181-1187. doi:<https://doi.org/10.1016/j.enpol.2008.11.017>

Toksarı, M. D. (2009). Estimating the net electricity energy generation and demand using the ant colony optimization approach: Case of Turkey. *Energy Policy*, 37(3), 1181-1187. doi:<https://doi.org/10.1016/j.enpol.2008.11.017>

Uğuz, H., Hakli, H., Baykan, Ö. K. (2015, 8-10 Dec. 2015). *A New Algorithm Based on Artificial Bee Colony Algorithm for Energy Demand Forecasting in Turkey*. Paper presented at the 2015 4th International Conference on Advanced Computer Science Applications and Technologies (ACSAT).

Uygun, İ. (2015). *Yapay Sinir Ağları Yardımıyla Enerji Sektöründe Talep Tahmini*. (Yüksek Lisans Tezi), Marmara Üniversitesi, İstanbul.

Uymaz, S. A. (2015). *Yeni Bir Biyolojik İlhamlı Metaheuristic Optimizasyon Metodu: Yapay Alg Algoritması/A Novel Bio-Inspired Metaheuristic Optimization Method: Artificial Algae Algorithm*. (Ph.D), Selçuk University.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Ünler, A. (2008). Improvement of energy demand forecasts using swarm intelligence: The case of Turkey with projections to 2025. *Energy Policy*, 36(6), 1937-1944. doi:<https://doi.org/10.1016/j.enpol.2008.02.018>
- WECTNC. (2014). *World Energy Council, Energy Report-2013, Ankara (in Turkish), ISSN: 1301-6318.*
- WECTNC. (2015). *World Energy Council, Energy Report-2014, Ankara (in Turkish), ISSN: 1301-6318.*
- Wilcoxon, F. (1945). Individual comparisons by ranking methods. *Biometrics bulletin*, 1(6), 80-83.
- Wilcoxon, F. (1992). Individual comparisons by ranking methods *Breakthroughs in Statistics* (pp. 196-202): Springer.
- Yang, X.-S. (2009). Harmony search as a metaheuristic algorithm *Music-inspired harmony search algorithm* (pp. 1-14): Springer.
- Yang, X.-S. (2010). A new metaheuristic bat-inspired algorithm *Nature inspired cooperative strategies for optimization (NICSO 2010)* (pp. 65-74): Springer.
- Yiğit, V. (2011). Genetik Algoritma ile Türkiye Net Elektrik Enerjisi Tüketiminin 2020 Yılına Kadar Tahmini. *Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi*, 3(2), 37-41.
- Yılmaz, S. (2014). *Yarasa algoritmasının unimodal, multimodal ve kaydırılmış sayısal optimizasyon problemleri (cec05) üzerinde geliştirilmesi/Modification of Bat Algorithm on Unimodal, Multimodal and Shifted Numeric Optimization Problems (also known as CEC05).* Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Yılmaz, S., ve Küçüksille, E. U. (2015a). A new modification approach on bat algorithm for solving optimization problems. *Applied Soft Computing*, 28, 259-275. doi:<https://doi.org/10.1016/j.asoc.2014.11.029>
- Yılmaz, S., ve Küçüksille, E. U. (2015b). A new modification approach on bat algorithm for solving optimization problems. *Applied Soft Computing*, 28(Supplement C), 259-275. doi:<https://doi.org/10.1016/j.asoc.2014.11.029>
- Yumurtacı, Z., ve Asmaz, E. (2004). Electric Energy Demand of Turkey for the Year 2050. *Energy Sources*, 26(12), 1157-1164. doi:10.1080/00908310490441520

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Zhang, H., Wang, Z., Liu, D. (2014). A comprehensive review of stability analysis of continuous-time recurrent neural networks. *IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems*, 25(7), 1229-1262.



ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Ayşe BEŞKİRLİ
Doğum Yeri ve Tarihi : Mersin-1993
E-mail : ayse.beskirli@ogr.dpu.edu.tr

EĞİTİM BİLGİLERİ

Derece	Alan	Üniversite	Yıl
Lisans	Bilgisayar Mühendisliği	Ahmet Yesevi Üniversitesi	2016
Yüksek Lisans	Bilgisayar Mühendisliği	Kütahya Dumlupınar Üniversitesi	2019

YABANCI DİLLER

İngilizce

YAYINLAR

Uluslararası SCI, SCI-Expanded İndekslerinde Taranan Dergilerdeki Yayınlar

- 1- **Beşkirli, A., Özdemir, D., & Temurtaş, H.** (2019). A comparison of modified tree–seed algorithm for high-dimensional numerical functions. *Neural Computing and Applications*, 1-35. doi: 10.1007/s00521-019-04155-3.

TR Dizin Kapsamında Yer Alan Yayınlar

- 1- **Beşkirli, A., Özdemir, D., Beşkirli, M.** (2019). Şifreleme Yöntemleri ve RSA Algoritması Üzerine Bir İnceleme. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 284-291. DOI: 10.31590/ejosat.638090 (International Congress on Human-Computer Interaction, Optimization and Robotic Applications isimli konferansta sözlü olarak sunulmuş ve dergiye seçilmiştir.)

Uluslararası Mühendislik İndeksi Kapsamında Yer Alan Yayınlar

- 1- **Beşkirli, A., Beşkirli, M., Haklı, H., & Uğuz, H.** (2018). Comparing Energy Demand Estimation Using Artificial Algae Algorithm: The Case of Turkey. *Journal of Clean Energy Technologies*, 6(4).