



YENİ BİR İKİLİ SÜRÜŞ EĞİTİM TABANLI ALGORİTMA ÜZERİNDE TRANSFER FONKSİYONLARININ İNCELENMESİ

İsmail KOÇ¹

Yazılım Mühendisliği Bölümü, Konya Teknik Üniversitesi, Konya, Türkiye

Anahtar Kelimeler	Öz
<i>UFLP, İkili Optimizasyon, DTBO, Transfer Fonksiyonu.</i>	<p>Kapasitesiz Tesis Yerleşim Problemi (UFLP), tesislerin optimal yerleşimini belirleyen NP-zor bir problemdir. UFLP, NP-Zor problem grubundan olduğu için, bu problemlerin büyük örneklerini çözmek için kesin yöntemlerin kullanılması, optimal çözümü elde etmek için gereken yüksek hesaplama süreleri nedeniyle ciddi şekilde sorun teşkil edebilir. Bu çalışmada, problemin karmaşıklığından dolayı sürü zekası algoritması tercih edilmiştir. Son yıllarda sürüş eğitimi ilkelerine dayalı olarak geliştirilen popülasyon tabanlı bir algoritma olan Sürüş eğitim tabanlı (DTBO) algoritması UFLP probleminin çözümünde kullanılmıştır. DTBO'nun temel versiyonu sürekli problemlerin çözümünü ele aldığından söz konusu algoritmanın ikili problemlerin çözümüne uyarlanması gerekmektedir. Bunun için literatürde kullanılan dokuz farklı transfer fonksiyonu yardımıyla DTBO algoritması ikili problemlerin çözümüne uygun olarak tasarlanmıştır. Deneysel çalışmalar transfer fonksiyonlarının adil kıyaslanabilmesi için eşit koşullarda altında gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen deneysel çalışmalarda dokuz transfer fonksiyonu içerisinde ikili Mode-DTBO algoritmasının en başarılı algoritma olduğu görülmektedir. Bu sonuçlara göre Mode tabanlı DTBO algoritmasının küçük, orta ve büyük ölçekli tüm problem setlerinde hem çözüm kalitesi açısından hem de zaman açısından çok başarılı olduğu görülmektedir. Ayrıca DTBO algoritması IWO (Yabani Ot Algoritması - Invasive Weed Optimization) algoritmasına ait 3 farklı transfer fonksiyonuyla (Mode, Sigmoid ve Tanh) da kıyaslanmıştır. Karşılaştırmalı sonuçlar incelendiğinde 12 problemin 8'inde (orta ve büyük ölçekli problem) Mode-DTBO yaklaşımının IWO'ya ait 3 farklı yaklaşımın hepsinden çok daha başarılı olduğu görülmüştür. Bununla beraber, küçük boyutlu 4 problem üzerinde ise Mode fonksiyonunu kullanan her iki algoritmanın da optimal değeri yakaladığı görülmüştür. Sonuç olarak, Mode-DTBO yönteminin ikili problemlerin çözümünde çok etkili bir alternatif sunacağı söylenebilir.</p>

INVESTIGATION OF TRANSFER FUNCTIONS ON A NOVEL BINARY DRIVING TRAINING-BASED ALGORITHM

Keywords	Abstract
<i>UFLP, Binary Optimization, DTBO, Transfer Function.</i>	<p>Uncapacitated Facility Location Problem (UFLP) is an NP-hard problem that determines the optimal location of facilities. Since UFLP is from the NP-Hard problem group, using exact methods to solve large instances of these problems can be seriously problematic due to the high computation time required to obtain the optimal solution. In this study, the swarm intelligence algorithm was preferred due to the complexity of the problem. Driving training-based (DTBO) algorithm, which is a population-based algorithm developed based on driving training principles in recent years, has been used to solve the UFLP problem. Since the basic version of DTBO deals with the solution of continuous problems, the corresponding algorithm needs to be adapted to the solution of binary problems. For this, the DTBO algorithm was designed in accordance</p>

¹ İlgili yazar / Corresponding author: ismailkoc@ktun.edu.tr, +90-332-205-1983

with the solution of binary problems with the help of nine different transfer functions used in the literature. Experimental studies were carried out under equal conditions for fair comparison of transfer functions. In the experimental studies carried out, it is seen that the binary Mode-DTBO algorithm is the most successful algorithm among the nine transfer functions. According to these results, it is seen that the binary Mode-based DTBO algorithm is very successful in all small, medium and large scaled problem sets, both in terms of solution quality and time. In addition, the DTBO algorithm was compared with 3 different transfer functions (Mode, Sigmoid and Tanh) of the IWO (Invasive Weed Optimization) algorithm. When the comparative results were examined, it was seen that the Mode-DTBO approach was much more successful than all 3 different approaches of IWO in 8 of the 12 problems (medium and large-scale problems). On the other hand, it has been observed that both algorithms using the Mode function on 4 small-sized problems achieved the optimal value. As a result, it can be said that the binary Mode-DTBO method will be able to offer a very effective alternative in solving binary problems.

Alıntı / Cite

Koç, İ., (2023). Yeni Bir İkili Sürüş Eğitim Tabanlı Algoritma Üzerinde Transfer Fonksiyonlarının İncelenmesi, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 11(2), 433-448.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)	Makale Süreci / Article Process	
İsmail KOÇ - 0000-0003-1311-5918	Başvuru Tarihi / Submission Date	17.09.2022
	Revizyon Tarihi / Revision Date	05.12.2022
	Kabul Tarihi / Accepted Date	17.12.2022
	Yayın Tarihi / Published Date	28.06.2023

INVESTIGATION OF TRANSFER FUNCTIONS ON A NOVEL BINARY DRIVING TRAINING-BASED ALGORITHM

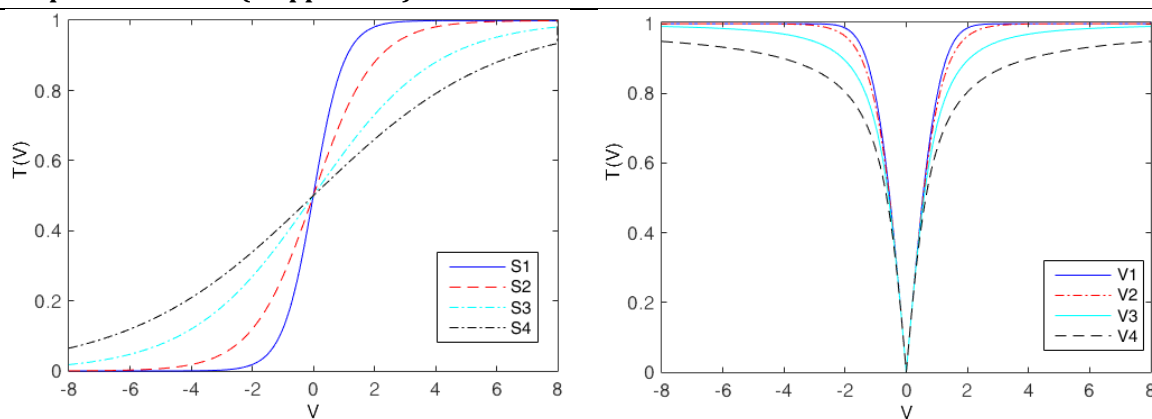
Ismail KOÇ*

Software Engineering Department, Konya Technical University, Konya, Türkiye

Highlights (At least 3 and maxium 4 sentences)

- In this study, DTBO is used for binary optimization.
- Nine transfer functions are used to solve UFLP.
- Novel binary algorithms are proposed thanks to the transfer functions.
- Mode-based DTBO is the most successful algorithm on the UFLP problem set.

Graphical Abstract (If applicable)



Şekil/Figure. Transfer Fonksiyonları (Transfer Functions)

Purpose and Scope

The purpose of the paper is to produce a solution to the UFLP problem with the DTBO algorithm and to investigate the effect of the algorithm on different transfer functions.

Design/methodology/approach

In this article, for the solution of the UFLP problem, which is one of the binary problems, the DTBO algorithm used in the solution of continuous problems is adapted to the solution of the related problem thanks to the transfer functions.

Findings

The DTBO algorithm has been adapted to the UFLP problem by using nine different transfer functions, and as seen in Table 9, the Mode-based DTBO algorithm is seen to be the most successful algorithm.

Research limitations/implications (if applicable)

The algorithm can be applied to different binary problems for future studies.

Practical implications (if applicable)

The algorithm adapted to the solution of binary problems can also be used for the aforementioned problems when the input space of real world problems is taken into account.

Social Implications (if applicable)

Although this research does not directly have a social impact, there is a potential for social impact by applying it to real-life binary problems.

Originality

The DTBO algorithm has been applied to a binary problem for the first time. In addition, performance analysis was made between them using 9 different transfer functions.

* Corresponding author: ismailkoc@ktun.edu.tr, +90-332-205-1983

1. Giriş (Introduction)

İkili Optimizasyon Problemi (İOP), kombinatoriyal optimizasyon problemlerinin önemli bir sınıfını temsil eden ikili tabanlı bir problem uzayı olarak tanımlanmaktadır (Rizk-Allah vd., 2019). Sürekli optimizasyon probleminde, değişkenler arama uzayında sürekli (continuous) değerler alırken, ikili optimizasyonda arama alanındaki değişkenler $[0,1]$ değerlerini almaktadır. "0" değeri söz konusu işleme dair bir durum olmadığını, "1" değeri ise varlığı temsil etmektedir. Arama uzayında bu iki değer kullanılarak ikili uzayda birçok problem çözülebilmektedir. Bazı algoritmalar sürekli arama uzayları üzerinde işlem yaparak problem çözüme yeteneğine sahipken, bazı problemler ise ayrık arama uzayları üzerinde $[0, 1]$ değerlerini güncelleyerek problem çözüme kabiliyetine sahiptir (Kennedy vd., 2013; Rashedi vd., 2010). Literatürde İOP'un birçok uygulaması yer almakta olup, çözümleri için ikili algoritmalara ihtiyaç duyulmaktadır. İOP, acil durum araçları, sağlık merkezleri ve ticari banka şubeleri gibi tesis lokasyonunu problemlerini içermektedir (Baş ve Ülker, 2020; Koc, 2016). Buna ilaveten İOP bütçeleme, telekomünikasyon, toplu taşıma hizmetleri ve rüzgar türbini yerleştirme gibi zamanlama görevlerini de içermektedir (Koc, 2022; Korkmaz vd., 2018; Prescilla ve Selvakumar, 2013). Ayrıca İOP, sırt çantası problemi, kaynak tahsisi problemi, boyutsallık azaltma, özellik seçimi, ağ optimizasyonu, çok düzeyli görüntü eşik seçimi, eğri uydurma, birim bağılılığı ve hücre oluşumu gibi iyi bilinen NP-zor problemlerin çözümünde kullanılmaktadır (Arafat ve Moh, 2019; Coniglio vd., 2021; Inik vd., 2020; Koc vd., 2018; Zebari vd., 2020; Zhu vd., 2021)

Kapasitesi olmayan tesis yerleşim problemi (Uncapacitated facility location problem - UFLP) literatürde hem klasik yöntemlerle hem de optimizasyon algoritmalarıyla ele alınmıştır (Chudak ve Shmoys, 2003; Ghosh, 2003). Baş ve Ülker (2020) çalışmalarında UFLP problemine sosyal örümcek ağı ile çözüm bulmaya çalışmışlardır. Önerilen algoritmanın sonuçlarını PSO, DE gibi başarılı algoritmaların sonuçlarıyla kıyaslamışlardır. Sonuç (2021) karga arama algoritmasını UFLP problemine uyarlamıştır. Bunun için ikili uzayda çözüm üretmek için orijinal algoritmaya lojik operatörleri eklemiştir. Haklı ve Ortacay (2019) çalışmalarında dağınık arama yöntemini UFLP problemine uyarlamışlardır. Dağınık arama yöntemi evrimsel bir algoritma olduğundan arama uzayını doğrudan ikili uzayda temsil ederek oluşturmuşlar ve 12 farklı algoritma ile deneysel karşılaştırmalarını gerçekleştirmişlerdir. Kaya (2022) çalışmasında yapay alg algoritması ile güçlendirilmiş galaktik sürü optimizasyonunu ilgili probleme uyarlamıştır. Önerilen algoritmayı UFLP maliyet değerlerine göre ABC (Yapay Arı Koloni - Artificial Bee Colony), AAA (Yapay Alg Algoritması - Artificial Algae Algorithm), PSO (Parçacık Sürü Optimizasyonu - Particle Swarm Optimization) gibi farklı algoritmalarla kıyaslamıştır. Aslan vd. (2019) çalışmalarında Jaya algoritmasını XOR lojik operatörüyle entegre ederek yeni bir ikili algoritma literatüre kazandırmışlar ve önerilen bu algoritmayı farklı problem boyutlarındaki UFLP ile test etmişlerdir. Xiang vd. (2021) yaptıkları çalışmada çaprazlama operatörü yardımıyla ABC algoritmasını UFLP probleminin çözümünde kullanmışlardır. Çalışmayı ABC, TSA (Ağaç Tohum Algoritması - Tree Seed Algorithm), AAA gibi başarılı algoritmalarla kıyaslamışlardır. He vd. (2022) çalışmalarında taper-shaped isimli bir transfer fonksiyonu yardımıyla yeni bir ikili diferansiyel evrim (DE) algoritması önermişler ve bu önerilen algoritmayı UFLP probleminin çözümünde kullanmışlardır. Karakoyun ve Ozkis (2022) çalışmalarında seçime dayalı yerel arama kullanarak geliştirdikleri yeni bir ikili ağaç tohumu algoritmasını büyük boyutlu optimizasyon problemlerine uyarlamışlardır. Elde ettikleri çözümleri TSA algoritmasının farklı ikili versiyonları ile kıyaslamışlardır. Zhang vd. (2023) UFLP probleminin çözümü için hızlı ve verimli bir ayrık evrimsel algoritma geliştirmişlerdir. Karakoyun ve Özkış transfer fonksiyonları kullanarak ikili güve-alev optimizasyonu algoritması geliştirmişlerdir. Farklı transfer fonksiyonları üzerinde çalışmayı kıyaslamalı olarak sunmuşlardır. Sudabas ve Kara (2021) tesis yeri seçimi probleminde minimum karbon emisyonu yaklaşımı ile bir üniversitenin geri dönüşüm yönetimi için uygulama geliştirmişlerdir. Abdullahi vd. (2020) ile UFLP için kültürden esinlenen Pastoralist Optimizasyon Algoritması (POA)'nı önermişlerdir. Matos (2021) UFLP probleminde dağınık arama yöntemini kullanmış ve önerilen yöntemi güncel algoritmalarla kıyaslamıştır. Shehu ve Olalere (2019) PSO ve Aslan Kral Algoritmalarını kullanarak UFLP üzerinde algoritmaların performans kıyaslamasını gerçekleştirmişlerdir. Akan vd. (2022) ikili optimizasyon sorunlarını çözmek için Battle Royale Optimizer yöntemini geliştirmişlerdir. Alidaee ve Wang (2022) UFLP için hibrit bir Genetik-Tabu Arama Yaklaşımını önermişlerdir.

Kombinatoriyal optimizasyon problemlerini çözmek için çeşitli sezgisel algoritmalar geliştirilmiştir. Bu algoritmalar, popülasyon tabanlı, yörünge tabanlı, iteratif tabanlı, stokastik, ve deterministik olmak üzere farklı gruplara ayrılmaktadır. Bir grup çözümle çalışan ve bunları iyileştirmeye çalışan algoritmaya popülasyon tabanlı denmektedir (Kashan vd., 2012). Literatürde çok farklı popülasyon tabanlı algoritma önerilmiştir. Bunlardan birisi de 2022 yılında önerilmiş olan sürüş eğitim tabanlı (Driving Training-Based Optimization - DTBO) algoritmasıdır (Dehghani vd., 2022). Bu algoritmanın temel versiyonu sürekli problemlerin çözümüne yöneliktir. Kapasitesi olmayan tesis yerleşim problemi (UFLP) ise İOP grubuna

aittir. Bundan dolayı önerilen algoritmanın UFLP problemini çözebilmesi için aday çözüme ait tüm değerlerin ikili uzayda tanımlanması gerekmektedir. Bu çalışmada algoritma tarafından üretilen her bir bireydeki değerlerin ikili uzayda temsil edilebilmesi için transfer fonksiyonları kullanılmıştır: 4 adet s-shaped, 4 adet v-shaped ve 1 adet mode transfer fonksiyonu olmak üzere toplamda 9 farklı transfer fonksiyonu ile UFLP problemine çözüm aranmış ve sonuçlar kıyaslanmıştır.

2. Kapasitesi Olmayan Tesis Yerleşim Problemi (Uncapacitated Facility Location Problem - UFLP)

Konumlandırma fabrikaları, depolar ve enerji nakil hatları önemli pratik yerleşim karar problemleridir (Yiğit ve Türkbey, 2003). Tesis yerleşim problemi, literatürde UFLP olarak adlandırılmaktadır. Temel olarak, UFLP, kapasitede herhangi bir sınırlama olmaksızın, bir müşteri lokasyonu m ve en az birinin açık olması gereken bir dizi potansiyel tesisten (n) oluşur. UFLP'nin temel amacı, m müşteriye hizmet veren n tesis içerisinde f alt kümeyi bulmaktır. Problemin uygunluk fonksiyonu kurulum maliyetlerini de dikkate alarak taşıma maliyetini minimize etmektir ve Eşitlik 1'de belirtilmiştir.

$$f(UFLP) = \min \left(\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{i,j} x_{i,j} + \sum_{j=1}^n f c_j y_j \right) \quad (1)$$

$$\sum_j^n x_{i,j} = 1 \quad \forall i \text{ in } m \quad (2)$$

$$0 \leq x_{i,j} \leq 1 \quad (3)$$

Eşitlik (1)'de $x_{i,j}$, i tesisinden j müşterisine maliyet sunan müşteridir, burada $i=1\dots m$ ve $j=1\dots n$. y_j terimi, j tesisinin açık olup olmadığını belirtir: $y_j=1$, aksi halde $y_j=0$ olarak kabul edilmektedir. $f c_j y_j$ ise kurulum maliyet toplamını ifade etmektedir. Eşitlik (2)'deki kısıtlama tüm müşterilerin taleplerinin açık bir tesis tarafından karşılanmasını sağlar ve Eşitlik (3) toplam etkiyi özetler. UFLP, konumlandırma teorisindeki önemli NP-zor problemlerden biridir. Literatürde UFLP'nin çözümü için dal-ve-sınır (Holmberg, 1999), doğrusal programlama (Lemke, 1954) ve lagrangian gevşeme (Barcelo vd., 1990) gibi yaklaşımlar önerilmektedir. Bu yöntemler optimal sonuçlar sunmasına karşın bu yöntemlerin hesaplama maliyeti çok fazla olabilmektedir. Bu nedenle, UFLP'nin çözümünde optimal çözümü bulmayı garanti etmeyen, ancak makul bir süre ve hesaplama maliyeti içinde optimal veya optimal olmayan çözümleri sunan sürü zekası yöntemleri sıklıkla kullanılmaktadır (Tunç vd., 2022). Sürü zekası kavramı ise kısaca, bir popülasyon ya da sürü içerisinde yer alan aday çözümlerin sürünün genel davranışlarını dikkate alarak mevcut aday çözümlerden daha anlamlı çözümler üretilmesini sağlayan bir optimizasyon tekniğidir.

3. Sürüş Eğitim Tabanlı Algoritma (Driving Training-based Algorithm - DTBO)

Sürüş eğitimi, yeni başlayanların eğitildiği ve sürüş becerileri kazandığı akıllı bir süreçtir. Aday sürücü olarak yeni başlayan biri, sürücü kursuna giderken birkaç eğitmen arasından seçim yapabilmektedir. Eğitmen daha sonra aday sürücüye talimatları ve becerileri öğretmekte, ardından da eğitmenden sürüş becerilerini öğrenmeye ve eğitmeni takip etmeye çalışmaktadır. Bu etkileşimler dikkate alınarak 2022 yılında Sürüş Eğitim Tabanlı Algoritma (DTBO) algoritması önerilmiştir (Dehghani vd., 2022). DTBO algoritmasının sözde kodu Şekil 1'de verilmiştir.

DTBO başlat.

1. Girdi: Optimizasyon algoritması bilgilerini al.
 2. N ve T değerlerini ayarla.
 3. DTBO popülasyon pozisyonlarını başlat ve amaç fonksiyonunu değerlendir.
 4. For t=1 to T
 5. For i=1 to N
 6. **Aşama 1: Sürücü eğitmeniyle Eğitim (Araştırma)**
 7. Amaç fonksiyon değerleri kıyaslamasına göre sürücü eğitmen matrisini belirle.
 8. DI matrisinden rastgele bir sürücü eğitmeni seç.
 9. Eğitmene göre i. DTBO üyesi için yeni pozisyonu hesapla.
 10. Eğitmene göre i. DTBO üyesi için pozisyonunu güncelle.
-

11. **Aşama 2: Eğitimci yeteneklerinden aday sürücünün örnek alması (Araştırma)**
12. Örneklemeye indeks P'yi hesapla.
13. Örnek alma yeteneğine göre i. DTBO üyesi için yeni pozisyonu hesapla.
14. Örnek alma yeteneğine göre i. DTBO üyesi için pozisyonu güncelle.
15. **Aşama 3: Kişisel tecrübe (Sömürü)**
16. Kişisel deneyime göre i. DTBO üyesi için yeni pozisyonu hesapla.
17. Kişisel deneyime göre i. DTBO üyesi için pozisyonu güncelle.
18. **Son.**
19. En iyi aday çözümü güncelle.
20. **Son.**
21. En iyi aday çözümü raporla.

Şekil 1. DTBO Algoritmasına Ait Sözcük Kod (The Pseude Code Of DTBO Algorithm)

3.1. Önerilen Yöntem (Proposed Method)

UFLP problemi ikili optimizasyon problemlerinden biridir. DTBO algoritması ise sürekli problemlerin çözümü için önerilmiştir. Bundan dolayı DTBO algoritmasının UFLP problemine uyarlamak için aday çözümlerin ikili uzayda temsil edilmesi gerekmektedir. Bundan dolayı bu çalışmada dokuz farklı transfer fonksiyonu kullanılmıştır. Bu işlem ise Şekil 1'de 7. Satırda verilen amaç fonksiyonuna aday çözümler gönderilmeden önce Tablo 1'de verilen herhangi bir transfer fonksiyonu belirlenerek tüm aday çözümdeki değerler $[0, 1]$ uzayında temsil edilir. Böylece UFLP problemi çözümlenmektedir. Tablo 1 bu çalışmada kullanılan transfer fonksiyonlarını sunmaktadır. Şekil 2 ise S ve V şekilli transfer fonksiyonlarının verilen girdi değerine göre nasıl bir sonuç ürettiğini göstermektedir.

Tablo 1. Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Transfer Fonksiyonları (Transfer Functions Used In Experimental Results)

S-şekilli (S-Shaped)		V-şekilli (V-shaped)	
Adı	Transfer fonksiyonu	Adı	Transfer fonksiyonu
S1	$T(x) = \frac{1}{1 + e^{-2x}}$	V1	$T(x) = \left \operatorname{erf} \left(\frac{\sqrt{\pi}}{2} x \right) \right = \left \frac{\sqrt{2}}{\pi} \int_0^{(\sqrt{\pi/2})x} e^{-t^2} dt \right $
S2	$T(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}}$	V2	$T(x) = \tanh(x) $
S3	$T(x) = \frac{1}{1 + e^{(-\frac{x}{2})}}$	V3	$T(x) = \left \frac{x}{\sqrt{1 + x^2}} \right $
S4	$T(x) = \frac{1}{1 + e^{(-\frac{x}{3})}}$	V4	$T(x) = \left \frac{2}{\pi} \operatorname{arc} \tan \left(\frac{\pi}{2} x \right) \right $
Mode $T(x) = \operatorname{mod}(\operatorname{floor}(x), 2)$;			

S-şekilli transfer fonksiyonları ailesi için S2 fonksiyonunun bir örneği Eşitlik 4'te verilmiştir.

$$T(X_i^j(t)) = \frac{1}{1 + e^{-X_i^j(t)}} \quad (4)$$

$X_i^j(t)$ t. iterasyondaki i. bireye ait j. boyuttaki durumu temsil etmektedir. S şekilli transfer fonksiyonları için olasılık değerlerine göre konum güncelleme fonksiyonu Eşitlik 5'te verilmiştir.

$$X_i^j(t+1) = \begin{cases} 0 & \text{if } \operatorname{rand} < T(X_i^j(t)) \\ 1 & \text{if } \operatorname{rand} \geq T(X_i^j(t)) \end{cases} \quad (5)$$

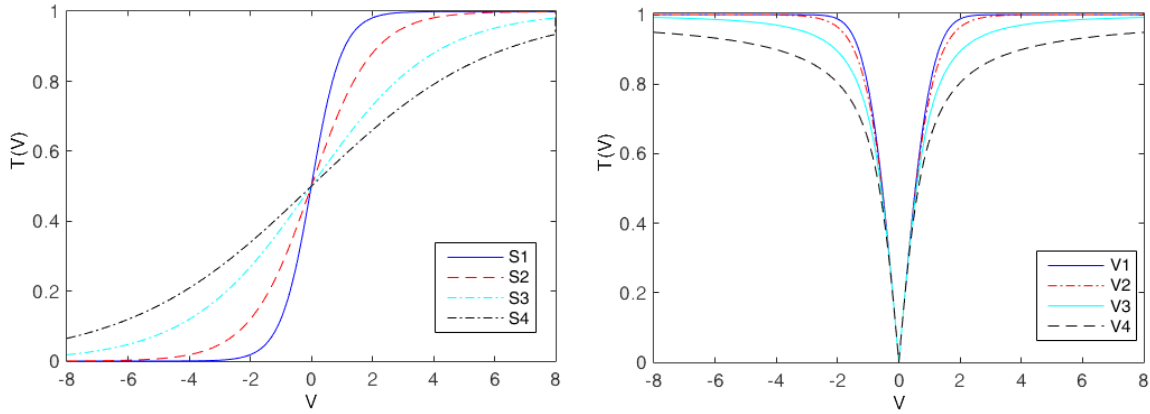
$X_i^j(t+1)$ (t+1) anındaki i. bireyin j. boyutundaki geçici veridir. V-şekilli transfer fonksiyonları için V2 fonksiyonunun bir örneği Eşitlik 6'da verilmiştir.

$$T(X_i^j(t)) = |\tanh(X_i^j(t))| \quad (6)$$

V-şekilli transfer fonksiyonları (V1, V2, V3 ve V4) ekstra konum güncelleme kuralları gerektirir ve bu işlem Eşitlik (7) ile gerçekleştirilir.

$$X_i^j(t+1) = \begin{cases} (X_i^j(t))^{-1} & \text{if } rand < T(X_i^j(t)) \\ 0 & \text{if } rand \geq T(X_i^j(t)) \end{cases} \quad (7)$$

$(X_i^j(t))^{-1}$, $X_i^j(t)$ tümlenidir. Mevcut durumdaki rastgele üretilen değer $X_i^j(t)$ değerinden küçük olma durumunda mevcut değer tümleniyi kullanılmaktadır. Diğer durumlarda ise ilgili pozisyondaki veri 0 olacak şekilde ayarlanmıştır.



Şekil 2. Transfer Fonksiyonlarına Ait Eğriler (Curves Of S-Shaped And V-Shaped Of Transfer Functions)

4. Deneysel Sonuçlar (Experimental Results)

Bu çalışmada 2022 yılında sürekli optimizasyon problemlerinin çözümünde kullanılmak üzere önerilmiş olan DTBO algoritması kullanılmıştır. DTBO algoritmasının ikili bir optimizasyon problemi olan UFLP'yi çözebilmesi için Tablo 1'de verilen transfer fonksiyonları kullanılmıştır. UFLP veri seti olarak ise Tablo 2'de verilen toplamda 12 adet problem kullanılmıştır. Tablo 2'de probleme ait boyut bilgisi ve literatürde bilinen optimal sonuçlar sunulmuştur. Tüm deneysel çalışmalar Matlab 2021 ortamında ve Intel Core i7 2.80 GHz Cpu, 16 GB Ram ve Windows 10 64-bit işletim sistemi üzerinde gerçekleştirilmiştir. DTBO algoritmasında ise popülasyon sayısı 40, iterasyon sayısı 2000 olarak belirlenmiştir. Toplam 30 bağımsız çalışma gerçekleştirilmiş olup adil bir kıyaslama yapabilmek için tüm değerler her bir problem ve her bir transfer fonksiyonu için eşit alınmıştır. DTBO algoritmasının farklı ikili versiyonları Koc vd. (2017)'nin çalışmasındaki sonuçlarla kıyaslanmıştır. Söz konusu çalışmada IWO (Yabani Ot algoritma- Invasive Weed Optimization) algoritması üç farklı transfer fonksiyonu yardımıyla UFLP problemine uyarlanmıştır. IWO-S2 yönteminde S2 transfer fonksiyonu, IWO-V2 için V2 fonksiyonu, son olarak IWO-Mode için ise Mode fonksiyonu kullanılmıştır. Bu transfer fonksiyonlarının seçilmesinin temel sebebi S şekilli ve V şekilli transfer fonksiyonları için bu fonksiyonların genel kullanıma uygun bir fonksiyon olmasıdır. Mode fonksiyonu ise transfer fonksiyonları arasında genellikle daha başarılı sonuçlar ürettiği için tercih edilmiştir.

Tablo 2. Veri Setine Ait Açıklamalar (Description Of The Test Suite)

Problem	Boyut	Optimal Sonuç
Cap71	16x50	932,615.75
Cap72	16x50	977,799.40
Cap73	16x50	1,010,641.45

Cap74	16x50	1,034,976.98
Cap101	25x50	796,648.44
Cap102	25x50	854,704.20
Cap103	25x50	893,782.11
Cap104	25x50	928,941.75
Cap131	50x50	793,439.56
Cap132	50x50	851,495.33
Cap133	50x50	893,076.71
Cap134	50x50	928,941.75

Eşitlik (8)'de bilinen değer ile algoritmanın bulduğu değer arasındaki fark yüzdesel olarak sunulmaktadır. Algoritmanın 30 bağımsız çalışmadan elde ettiği ortalama değer, $f(ort)$ ifadesini temsil ederken, $f(opt)$ ise Tablo 2'de verilen optimal sonucu temsil etmektedir.

$$Fark(\%) = \frac{f(ort) - f(opt)}{f(opt)} \times 100 \quad (8)$$

Tablo 3 çözüm kalitesi açısından küçük ölçekli problemlerde kullanılan transfer fonksiyonlara ait sonuçları göstermektedir. Ort değeri ortalamayı, Fark Eşitlik (4)'deki sonucu, Std. Sap. ise standart sapma değerini göstermektedir. Buna göre Cap71 için DTBO algoritması S1 fonksiyonu dışında tüm fonksiyonlarda en iyi değeri yakalamıştır. Cap72 için S1 ve V1 hariç diğer 7 transfer fonksiyonu yardımıyla önerilen yöntem optimal sonucu yakalamıştır. Cap73 için V1, V3 ve V4 dışındaki tüm transfer fonksiyonlarında önerilen yaklaşımın en iyi değeri yakaladığı görülmektedir. Son olarak Cap74 için transfer fonksiyonlarının hepsinin en iyi değeri yakaladığı görülmektedir. Sonuç olarak küçük ölçekli problemlerde S2, S3, S4, V2 ve Mode fonksiyonlarının tüm problemlerde optimal değeri yakaladığı görülmektedir. Bundan dolayı bu fonksiyonlar küçük boyutlu problemler için önerilebilir. Ayrıca, IWO-Mode fonksiyonunun da Mode-DTBO gibi Cap71, Cap72, Cap73 ve Cap74 problemlerinin tamamında optimal sonuca ulaşmıştır. Bu sonuçlara göre Mode fonksiyonunun diğer transfer fonksiyonlarına göre daha başarılı olduğu söylenebilir.

Tablo 3. Küçük Ölçekli Problemler Üzerinde Transfer Fonksiyonlarının Karşılaştırılması
(Comparison Of Transfer Functions On Small-Sized Problems)

Fonksiyon		Cap71	Cap72	Cap73	Cap74
S1	Ort.	932,647.522	977,842.740	1,010,641.450	1,034,976.975
	Fark	0.000034	0.000044	0.000000	0.000000
	Std. Sap.	174.021	237.385	0.000	0.000
S2	Ort.	932,615.750	977,799.400	1,010,641.450	1,034,976.975
	Fark	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
	Std. Sap.	0.000	0.000	0.000	0.000
S3	Ort.	932,615.750	977,799.400	1,010,641.450	1,034,976.975
	Fark	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
	Std. Sap.	0.000	0.000	0.000	0.000
S4	Ort.	932,615.750	977,799.400	1,010,641.450	1,034,976.975
	Fark	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
	Std. Sap.	0.000	0.000	0.000	0.000
V1	Ort.	932,647.522	977,842.740	1,010,763.818	1,034,976.975
	Fark	0.000034	0.000044	0.000121	0.000000

	Std. Sap.	174.021	237.385	465.688	0.000
V2	Ort.	932,615.750	977,799.400	1,010,641.450	1,034,976.975
	Fark	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
	Std. Sap.	0.000	0.000	0.000	0.000
V3	Ort.	932,615.750	977,799.400	1,010,702.634	1,034,976.975
	Fark	0.000000	0.000000	0.000061	0.000000
	Std. Sap.	0.000	0.000	335.119	0.000
V4	Ort.	932,615.750	977,799.400	1,010,825.003	1,034,976.975
	Fark	0.000000	0.000000	0.000182	0.000000
	Std. Sap.	0.000	0.000	560.071	0.000
Mode	Ort.	932,615.750	977,799.400	1,010,641.450	1,034,976.975
	Fark	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
	Std. Sap.	0.000	0.000	0.000	0.000
IWO-S2	Ort.	933,428.500	980085.600	1,012,340.000	1,038,995.000
	Fark	0.087000	0.233000	0.168000	0.387000
	Std. Sap.	1,129.616	2,077.684	2,022.631	5,256.444
IWO-V2	Ort.	941736	985575.1	1,016,923.000	1049585
	Fark	0.968	0.789	0.618	1.392
	Std. Sap.	68,37.213	6,110.815	7,808.909	12,707.67
IWO-Mode	Ort.	932,615.750	977,799.400	1,010,641.450	1,034,976.975
	Fark	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
	Std. Sap.	0.000	0.000	0.000	0.000

Tablo 4 zaman açısından küçük problemlerdeki karşılaştırmalı sonuçları sunmaktadır. Bu çalışmada algoritma optimal değeri bulduğunda sonlandırılmış ve elde edilen süre raporlanmıştır. Bu sonuçlara göre Cap71 için en hızlı algoritmanın hem ortalama hem de standart sapma açısından Mode fonksiyonu olduğu görülmektedir. Benzer şekilde Cap72 ve Cap73 problemleri için de Mode fonksiyonunun en hızlı olduğu görülmektedir. Cap74 için Ort. açısından en hızlı algoritma S2 iken, Std. Sap. için ise V3 olmuştur. Sonuç olarak küçük ölçekli problemlerde Mode fonksiyonu zaman açısından çok başarılıdır.

Tablo 4. Küçük Ölçekli Problemler Üzerinde Zaman Açısından Transfer Fonksiyonlarının Karşılaştırılması
(Comparison Of Transfer Functions On Small-Sized Problems In Terms Of Time)

Fonksiyon		Cap71	Cap72	Cap73	Cap74
S1	Ort.	2.70	1.91	1.29	23.43
	Std. Sap.	4.14	3.72	1.28	1.43
S2	Ort.	1.78	1.80	1.32	22.43
	Std. Sap.	1.58	1.76	1.67	0.80
S3	Ort.	1.98	2.17	1.46	28.19
	Std. Sap.	3.32	2.29	1.78	2.60
S4	Ort.	1.42	2.52	1.55	27.70
	Std. Sap.	1.38	2.05	1.30	3.63
V1	Ort.	4.08	3.53	2.80	24.86
	Std. Sap.	6.05	4.28	5.50	1.19
V2	Ort.	1.93	2.57	1.33	24.17

	Std. Sap.	1.90	3.07	1.82	0.65
V3	Ort.	2.24	3.05	1.84	24.60
	Std. Sap.	2.65	3.79	4.44	0.58
V4	Ort.	2.58	2.74	3.85	25.02
	Std. Sap.	2.29	3.64	7.42	1.33
Mode	Ort.	0.51	0.60	0.87	24.52
	Std. Sap.	0.31	0.35	0.50	1.02

Orta ölçekli problemler üzerinde transfer fonksiyonlarının karşılaştırılması Tablo 5’de sunulmuştur. Bu sonuçlar ışında Cap101 için optimal değeri sadece Mode fonksiyonunun ürettiği görülmektedir. Benzer durum Cap102 ve Cap103 için de geçerlidir. Kullanılan dokuz transfer fonksiyonu içinden sadece Mode fonksiyonu Cap102 ve 103 için optimal değeri yakalamıştır. Cap104 için ise durum farklıdır. Bu problem için S1, V1, V4 ve Mode fonksiyonları optimal değeri ürettiği görülmektedir. Sonuç olarak orta ölçekli problem seti için Mode fonksiyonu çok açık bir şekilde en başarılı transfer fonksiyonudur. Bununla birlikte, IWO-Mode fonksiyonunun IWO-V2 ve IWO-S2’ye göre daha başarılı olduğu görülmektedir. Buna karşın önerilen Mode-DTBO yönteminin IWO’nun 3 farklı yönteminden de başarılı olduğu görülmektedir.

Tablo 5. Orta Ölçekli Problemler Üzerinde Transfer Fonksiyonlarının Karşılaştırılması
(Comparison Of Transfer Functions On Medium-Sized Problems)

Fonksiyon		Cap101	Cap102	Cap103	Cap104
S1	Ort.	799,316.137	856,768.412	894,550.141	928,941.750
	Fark	0.003349	0.002415	0.000859	0.000000
	Std. Sap.	1421.621	1406.262	861.354	0.000
S2	Ort.	798,896.023	856,900.430	894,693.303	929,221.663
	Fark	0.002821	0.002570	0.001019	0.000301
	Std. Sap.	1624.285	1374.598	1246.609	1064.476
S3	Ort.	799,809.264	857,056.790	895,404.281	929,285.599
	Fark	0.003968	0.002753	0.001815	0.000370
	Std. Sap.	1420.491	1537.012	1745.463	1162.187
S4	Ort.	799,869.230	857,576.242	895,467.291	929,471.240
	Fark	0.004043	0.003360	0.001885	0.000570
	Std. Sap.	1301.456	1611.331	1603.169	1193.580
V1	Ort.	798,860.857	856,790.095	894,586.523	928,941.750
	Fark	0.002777	0.002440	0.000900	0.000000
	Std. Sap.	1305.075	1438.330	870.742	0.000
V2	Ort.	799,231.798	856,156.607	894,507.714	929,534.149
	Fark	0.003243	0.001699	0.000812	0.000638
	Std. Sap.	1288.617	1301.485	904.820	2254.447
V3	Ort.	799,168.304	856,351.961	894,421.072	929,426.124
	Fark	0.003163	0.001928	0.000715	0.000521
	Std. Sap.	1552.457	1409.488	982.664	2653.024
V4	Ort.	799,287.616	857,059.399	894,470.288	928,941.750
	Fark	0.003313	0.002756	0.000770	0.000000
	Std. Sap.	1451.181	1327.090	534.889	0.000

Mode	Ort.	796,648.438	854,704.200	893,782.113	928,941.750
	Fark	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
	Std. Sap.	0.000	0.000	0.000	0.000
IWO-S2	Ort.	811,066.128	878,897.360	924,355.003	998,947.348
	Fark	2.173000	3.118000	3.384000	7.008000
	Std. Sap.	7,457.799	14,206.250	16,993.563	30,790.362
IWO-V2	Ort.	818,819.122	879,331.952	937,772.720	1,003,640.578
	Fark	3.100000	3.166000	4.766000	7.443000
	Std. Sap.	9,568.384	13,995.674	19,761.139	32,727.773
IWO-Mode	Ort.	799,113.655	858,098.754	899,699.540	937,415.320
	Fark	0.710000	0.770000	0.736000	0.904000
	Std. Sap.	2,564.812	3,202.621	4,609.327	5,670.400

Tablo 6 zaman açısından transfer fonksiyonlarının karşılaştırmasını orta ölçekli problem seti için sunmaktadır. Söz konusu tablo incelendiğinde, Cap101 için Ort. için Mode en başarılı iken, Std. Sap. için ise V3 en başarılıdır. Cap102 için Ort. açısından S2 en etkili fonksiyon iken, Std. Sap. için V1 en başarılı fonksiyondur. Cap103 için Ort. değerine göre Mode en başarılı fonksiyon olurken, Std. Sap. değerine göre ise S4 en başarılı fonksiyondur. Son olarak Cap104 için Ort. açısından en başarılı V4 iken, Std. Sap. için S3 en başarılı fonksiyon olmuştur. Sonuç olarak Mode fonksiyonunun 4 problem içinden ikisinde en başarılı olduğu görülmektedir. Bundan dolayı Ort. süre açısından Mode fonksiyonun orta ölçekli problem grupları için kullanılabilirliği söylenebilir. Std. Sap. için transfer fonksiyonları arasında bir üstünlük görülmemektedir.

Tablo 6. Transfer Fonksiyonların Orta Ölçekli Problemler Üzerinde Zaman Açısından Karşılaştırılması
(Comparison of Transfer Functions on Medium-Sized Problems in terms of Time)

Fonksiyon		Cap101	Cap102	Cap103	Cap104
S1	Ort.	25.06	18.82	21.74	20.77
	Std. Sap.	1.83	0.33	7.07	2.58
S2	Ort.	25.87	18.80	22.25	28.58
	Std. Sap.	1.04	0.37	7.71	3.32
S3	Ort.	25.96	19.11	24.97	24.48
	Std. Sap.	2.45	0.20	4.45	0.55
S4	Ort.	25.34	19.19	25.39	25.66
	Std. Sap.	0.69	0.22	0.71	1.26
V1	Ort.	26.20	20.35	24.20	27.22
	Std. Sap.	0.65	0.19	5.97	0.66
V2	Ort.	24.51	19.14	20.29	25.83
	Std. Sap.	0.46	0.24	8.03	1.48
V3	Ort.	23.96	19.90	19.99	25.17
	Std. Sap.	0.35	1.28	8.18	0.92
V4	Ort.	21.19	20.60	19.72	20.35
	Std. Sap.	1.86	1.32	7.08	1.53
Mode	Ort.	19.23	19.61	6.51	21.42
	Std. Sap.	1.17	0.50	5.01	2.19

Tablo 7'deki büyük ölçekli problemlerdeki çözüm kalitesine ait sonuçlar incelendiğinde dört problemin hepsinde Mode tabanlı önerilen yaklaşımın en iyi olduğu görülmektedir. Cap131 için Mode fonksiyonundan sonra en başarılı olarak S1 fonksiyonu görülmektedir. Cap132 için V2 Mode fonksiyonundan sonra en başarılı fonksiyon olmuştur. Cap133 için V2 yine Mode fonksiyonundan sonraki en başarılı fonksiyondur. Son olarak Cap134 için bu kez V3 Mode fonksiyonundan sonra en etkili fonksiyon olmuştur. Sonuç olarak büyük ölçekli problemlerde Mode fonksiyonu tartışmasız en etkili fonksiyon olarak görülmektedir. Bununla birlikte IWO yöntemine ait üç farklı transfer fonksiyonundan elde edilen sonuçlarda IWO-Mode yaklaşımının IWO-S2 ve IWO-V2 yaklaşımlarından daha iyi olduğu görülmektedir. Orta ölçekli problem setinde olduğu gibi çalışmada önerilen Mode tabanlı yaklaşımın IWO'ya ait tüm yöntemlerden daha başarılı olduğu görülmektedir.

Tablo 7. Büyük Ölçekli Problemler Üzerinde Transfer Fonksiyonlarının Karşılaştırılması
(Comparison of Transfer Functions on Large-Sized Problems)

Fonksiyon		Cap131	Cap132	Cap133	Cap134
S1	Ort.	809,252.573	864,912.745	899,976.935	930,983.311
	Fark	0.019930	0.015757	0.007726	0.002198
	Std. Sap.	4632.260	5050.794	4096.166	2941.392
S2	Ort.	812,006.950	868,004.079	902,226.812	932,616.931
	Fark	0.023401	0.019388	0.010246	0.003956
	Std. Sap.	5298.868	5694.254	4114.050	4105.346
S3	Ort.	816,070.409	871,338.610	905,735.258	936,849.440
	Fark	0.028522	0.023304	0.014174	0.008513
	Std. Sap.	4984.599	5660.134	3949.107	8000.017
S4	Ort.	817,174.198	874,243.818	908,002.063	939,843.726
	Fark	0.029914	0.026716	0.016712	0.011736
	Std. Sap.	4937.103	3922.749	4060.861	6728.783
V1	Ort.	808,089.708	862,739.345	898,406.148	930,561.063
	Fark	0.018464	0.013205	0.005968	0.001743
	Std. Sap.	4856.554	4356.122	2858.345	2399.679
V2	Ort.	809,744.550	862,610.196	897,596.678	930,665.761
	Fark	0.020550	0.013053	0.005061	0.001856
	Std. Sap.	5669.569	5472.603	3164.757	2750.436
V3	Ort.	807,795.868	863,156.897	899,071.480	930,360.068
	Fark	0.018094	0.013695	0.006712	0.001527
	Std. Sap.	4937.254	5403.136	2828.123	2407.025
V4	Ort.	809,753.534	862,765.252	898,066.145	930,902.455
	Fark	0.020561	0.013235	0.005587	0.002111
	Std. Sap.	4854.124	4474.307	3178.310	2649.868
Mode	Ort.	797,773.136	853,982.127	894,118.746	929,130.664
	Fark	0.005462	0.002921	0.001167	0.000203
	Std. Sap.	2103.238	1808.596	1,119.746	653.455
IWO-S2	Ort.	811,066.128	878,897.360	924,355.003	998,947.348
	Fark	2.173000	3.118000	3.384000	7.008000
	Std. Sap.	7,457.799	14,206.250	16,993.563	30,790.362
IWO-V2	Ort.	818,819.122	879,331.952	937,772.720	1,003,640.578

	Fark	3.100000	3.166000	4.766000	7.443000
	Std. Sap.	9,568.384	13,995.674	19,761.139	32,727.773
IWO-Mode	Ort.	799,113.655	858,098.754	899,699.540	937,415.320
	Fark	0.710000	0.770000	0.736000	0.904000
	Std. Sap.	2,564.812	3,202.621	4,609.327	5,670.400

Tablo 8'deki zaman açısından karşılaştırma sonuçları incelendiğinde Cap131 için Mode fonksiyonu hem Ort. hem de Std.Sap. açısından en başarılı fonksiyondur. Cap132 için V3 fonksiyonu hem Ort. hem de Std. Sap. değerlerine göre en başarılı fonksiyon olmuştur. Cap133 için Ort. değerlerine göre Mode en başarılı iken, S4 ise kararlılık açısından en başarılı fonksiyon olmuştur. Son olarak Cap134 sonuçlarına bakıldığında ise V3 Ort. değer açısından, V4 ise Std. Sap. açısından en etkili fonksiyon olmuştur. Sonuç olarak büyük ölçekli problemlerde Mode fonksiyonu ve V3 fonksiyonu diğer transfer fonksiyonlarına nazaran daha başarılı olduğu söylenebilir.

Tablo 8. Transfer Fonksiyonların Büyük Ölçekli Problemler Üzerinde Zaman Açısından Karşılaştırılması
(Comparison of Transfer Functions on Large-Sized Problems in terms of Time)

Fonksiyon		Cap131	Cap132	Cap133	Cap134
S1	Ort.	21.00	20.60	20.47	26.69
	Std. Sap.	0.55	0.23	0.37	1.46
S2	Ort.	20.93	20.70	20.55	25.21
	Std. Sap.	0.13	0.22	0.32	0.64
S3	Ort.	20.99	20.93	20.69	27.63
	Std. Sap.	0.18	0.18	0.50	6.18
S4	Ort.	20.91	20.86	20.65	23.91
	Std. Sap.	0.27	0.17	0.27	0.27
V1	Ort.	23.36	23.38	22.70	23.73
	Std. Sap.	0.34	0.81	0.43	1.35
V2	Ort.	20.84	20.60	20.34	20.20
	Std. Sap.	0.21	0.25	0.36	0.37
V3	Ort.	20.71	20.32	20.03	20.02
	Std. Sap.	0.56	0.14	0.28	0.69
V4	Ort.	20.72	20.52	20.20	20.23
	Std. Sap.	0.23	0.19	0.30	0.26
Mode	Ort.	20.50	20.37	19.25	20.08
	Std. Sap.	0.08	0.23	2.97	0.28

Tablo 9. Transfer Fonksiyonların Rank (Sıralama) Değerleri Açısından Karşılaştırılması
(Comparison of Transfer Functions in Terms of Rank Values)

Fonksiyon	S1	S2	S3	S4	V1	V2	V3	V4	Mode	IWO-S2	IWO-V2	IWO-Mode
Cap71	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	1
Cap72	2	1	1	1	2	1	1	1	1	3	4	1
Cap73	1	1	1	1	3	1	2	4	1	5	6	1
Cap74	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	3	1
Cap101	6	3	8	9	2	5	4	6	1	12	11	10
Cap102	4	6	7	9	5	2	3	8	1	11	12	10
Cap103	5	7	8	9	6	4	2	3	1	11	12	9
Cap104	1	2	3	5	1	6	4	1	1	8	9	7

Cap131	4	7	8	9	3	5	2	6	1	11	12	10
Cap132	6	7	8	9	3	2	5	4	1	11	12	10
Cap133	6	7	8	9	4	2	5	3	1	11	12	10
Cap134	6	7	8	9	3	4	2	5	1	11	12	10
Ortalama Rank	3.67	4.17	5.17	6.00	2.83	2.83	2.67	3.58	1.00	8.08	9.00	6.67
Final Rank	5	6	7	8	3	3	2	4	1	10	11	9

5. Sonuç ve Tartışma (Result and Discussion)

Bu çalışmada son yıllarda önerilmiş olan popülasyon tabanlı bir optimizasyon algoritması olan Sürüş Eğitim Tabanlı Algoritma (DTBO) algoritması ikili optimizasyon problemlerinden olan UFLP problemine uyarlanmıştır. DTBO algoritmasının orijinal versiyonu sürekli problemler için tasarlandığından bu çalışmada UFLP problemini çözebilmek için DTBO algoritmasının aday çözümlerindeki değerler dokuz farklı transfer fonksiyonu kullanılarak ikili uzayda temsil edilmiştir.

Boyut olarak üç farklı özellikte toplamda ise 12 farklı problem üzerinde yapılan deneysel sonuçlarda Mode fonksiyonunun çok açık şekilde en etkili transfer fonksiyonu olduğu görülmüştür. Küçük ölçekli problemlerde Mode fonksiyonu dışında diğer S ve V şekilli transfer fonksiyonlarının da başarılı olduğu görülmektedir. Orta ölçekli problemlerde elde edilen sonuçlar analiz edildiğinde yine Mode fonksiyonunun çok açık şekilde en etkili sonuçları ürettiği görülmektedir. Büyük ölçekli problemlerdeki sonuçlar incelendiğinde ise Mode fonksiyonu bu kez istisnasız en etkili fonksiyon olarak görülmektedir. Buna ilaveten IWO algoritmasına ait 3 farklı transfer fonksiyonlarına ait sonuçlarla önerilen yaklaşım kıyaslandığında yine Mode tabanlı DTBO yaklaşımının çok başarılı olduğu görülmektedir. Bu sonuçlar ışığında problem boyutunun artması ya da daha karmaşık bir hale gelmesi durumunda Mode fonksiyonunun çözüm kalitesi açısından diğer transfer fonksiyonlarına göre çok daha kararlı olduğu söylenebilir. Bundan dolayı Mode tabanlı DTBO algoritmasının diğer transfer fonksiyonlarına nazaran ikili problemlerin çözümünde çok etkili bir yöntem olduğu açıkça ifade edilebilir.

Tablo 9'da yer alan sıralama sonuçları incelendiğinde DTBO-Mode fonksiyonunun tüm problemlerde en iyi sonucu ürettiği açıkça görülmektedir. Mode fonksiyonunun ardından V1, V2 ve V3 fonksiyonları en başarılı transfer fonksiyonu olarak görülmektedir. V4 fonksiyonu ise V1-V3 fonksiyonlarından sonraki en başarılı transfer fonksiyonu olurken S şekilli transfer fonksiyonları V şekilli transfer fonksiyonlarından daha az başarılı olarak görülmektedir. IWO algoritmasına ait transfer fonksiyonları ise önerilen yaklaşıma ait toplamda 9 transfer fonksiyonundan daha kötü sonuçlar ürettiği görülmektedir. IWO algoritmasına ait transfer fonksiyonları kendi içinde değerlendirildiğinde ise Mode fonksiyonunun diğer iki transfer fonksiyonuna göre daha başarılı olduğu görülmektedir. Mode fonksiyonlarının S ve V şekilli transfer fonksiyonlarından daha başarılı olmasının sebebini ise arama uzayında üretilen gerçek değer (ondalık değer) doğrudan 0 ve 1'e uzayına dönüştürülmüş olması olarak değerlendirilebilir. S ve V şekilli transfer fonksiyonlarında ise genel anlamda elde edilen gerçek değer Şekil 2'deki gibi bir dönüşüme tabi tutulmasından dolayı Mode fonksiyonuna göre daha az başarı ürettiği söylenebilir.

Gelecek çalışmalar açısından DTBO algoritması farklı ayırık, ikili ya da sürekli problemlerin çözümünde kullanılabilir. Farklı transfer fonksiyonları test edilerek çözüm kalitesi açısından algoritmanın başarısının artması sağlanabilir. Ayrıca DTBO algoritması doğrudan ikili bir uzayda kodlanarak transfer fonksiyonlarıyla performans açısından kıyaslanabilir.

Teşekkür (Acknowledgement)

Bu çalışma herhangi bir kurum ya da kuruluş üzerinden desteklenmemektedir.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir. No conflict of interest was declared by the authors.

Kaynaklar (References)

- Abdullahi, I. M., Mu'azu, M. B., Olaniyi, O. M., & Agajo, J., 2020. Pastoralist Optimization Algorithm (POA): A Culture-Inspired Metaheuristic for Uncapacitated Facility Location Problem (UFLP). Paper presented at the International Conference on Hybrid Intelligent Systems.
- Akan, T., Agahian, S., & Dehkharghani, R., 2022. Battle Royale Optimizer for solving binary optimization problems. *Software Impacts*, 12, 100274.
- Alidaee, B., & Wang, H., 2022. Uncapacitated (Facility) Location Problem: A Hybrid Genetic-Tabu Search Approach. *IFAC-PapersOnLine*, 55(10), 1619-1624.
- Arafat, M. Y., & Moh, S., 2019. Localization and clustering based on swarm intelligence in UAV networks for emergency communications. *IEEE Internet of Things Journal*, 6(5), 8958-8976.
- Aslan, M., Gunduz, M., & Kiran, M. S., 2019. JayaX: Jaya algorithm with xor operator for binary optimization. *Applied Soft Computing*, 82, 105576.
- Barcelo, J., Hallefjord, Å., Fernandez, E., & Jörnsten, K., 1990. Lagrangean relaxation and constraint generation procedures for capacitated plant location problems with single sourcing. *Operations-Research-Spektrum*, 12(2), 79-88.
- Baş, E., & Ülker, E., 2020. A binary social spider algorithm for uncapacitated facility location problem. *Expert Systems with Applications*, 161, 113618.
- Chudak, F. A., & Shmoys, D. B., 2003. Improved approximation algorithms for the uncapacitated facility location problem. *SIAM Journal on Computing*, 33(1), 1-25.
- Coniglio, S., Furini, F., & San Segundo, P., 2021. A new combinatorial branch-and-bound algorithm for the knapsack problem with conflicts. *European Journal of Operational Research*, 289(2), 435-455.
- Dehghani, M., Trojovská, E., & Trojovský, P., 2022. A new human-based metaheuristic algorithm for solving optimization problems on the base of simulation of driving training process. *Scientific reports*, 12(1), 1-21.
- Ghosh, D., 2003. Neighborhood search heuristics for the uncapacitated facility location problem. *European Journal of Operational Research*, 150(1), 150-162.
- Hakli, H., & Ortacay, Z., 2019. An improved scatter search algorithm for the uncapacitated facility location problem. *Computers & Industrial Engineering*, 135, 855-867.
- He, Y., Zhang, F., Mirjalili, S., & Zhang, T., 2022. Novel binary differential evolution algorithm based on Taper-shaped transfer functions for binary optimization problems. *Swarm and Evolutionary Computation*, 69, 101022.
- Holmberg, K., 1999. Exact solution methods for uncapacitated location problems with convex transportation costs. *European Journal of Operational Research*, 114(1), 127-140.
- Inik, O., Ulker, E., & Koc, I., 2020. B-Spline Curve Approximation by Utilizing Big Bang-Big Crunch Method.
- Karakoyun, M., & Ozkis, A., 2022. A binary tree seed algorithm with selection-based local search mechanism for huge-sized optimization problems. *Applied Soft Computing*, 129, 109590.
- Karakoyun, M., & Özkiş, A., 2021, Transfer Fonksiyonları Kullanarak İkili Güve-Alev Optimizasyonu Algoritmalarının Geliştirilmesi ve Performanslarının Karşılaştırılması. *Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 3(2), 1-10.
- Kashan, M. H., Nahavandi, N., & Kashan, A. H., 2012. DisABC: a new artificial bee colony algorithm for binary optimization. *Applied Soft Computing*, 12(1), 342-352.
- Kaya, E., 2022. BinGSO: galactic swarm optimization powered by binary artificial algae algorithm for solving uncapacitated facility location problems. *Neural Computing and Applications*, 1-20.
- Kennedy, J., & Eberhart, R. C., 1997. A discrete binary version of the particle swarm algorithm. Paper presented at the 1997 IEEE International conference on systems, man, and cybernetics. *Computational cybernetics and simulation*.
- Koc, I., 2016. Big bang-big crunch optimization algorithm for solving the uncapacitated facility location problem. *International Journal of Intelligent Systems and Applications in Engineering*, 4(Special Issue-1), 185-189.
- Koc, I., 2022. A comprehensive analysis of grid-based wind turbine layout using an efficient binary invasive weed optimization algorithm with levy flight. *Expert Systems with Applications*, 198, 116835.
- Koc, I., Baykan, O. K., & Babaoglu, I., 2018. Multilevel image thresholding selection based on grey wolf optimizer. *Journal Of Polytechnic-Politeknik Dergisi*, 21(4), 841-847.
- Koc, I., Nureddin, R., Babaoglu, I., & Uymaz, S. A., 2017. Binary Invasive Weed Optimization Algorithm Approaches for Binary Optimization.
- Korkmaz, S., Babalik, A., & Kiran, M. S., 2018. An artificial algae algorithm for solving binary optimization problems. *International Journal of Machine Learning and Cybernetics*, 9(7), 1233-1247.
- Lemke, C. E., 1954. The dual method of solving the linear programming problem. *Naval Research Logistics Quarterly*, 1(1), 36-47.
- Matos, T., 2021. A Scatter Search Algorithm for the Uncapacitated Facility Location Problem. Paper presented at the International Conference on Intelligent Computing & Optimization.
- Mirjalili, S., & Lewis, A., 2013. S-shaped versus V-shaped transfer functions for binary particle swarm optimization. *Swarm and Evolutionary Computation*, 9, 1-14.
- Prescilla, K., & Selvakumar, A. I., 2013. Modified Binary Particle Swarm optimization algorithm application to real-time task assignment in heterogeneous multiprocessor. *Microprocessors and Microsystems*, 37(6-7), 583-589.
- Rashedi, E., Nezamabadi-Pour, H., & Saryazdi, S., 2010. BGSa: binary gravitational search algorithm. *Natural computing*, 9(3), 727-745.

- Rizk-Allah, R. M., Hassanien, A. E., Elhoseny, M., & Gunasekaran, M., 2019. A new binary salp swarm algorithm: development and application for optimization tasks. *Neural Computing and Applications*, 31(5), 1641-1663.
- Shehu, H., & Olalere, M., 2019. Performance Evaluation of Ant Lion Optimization and Particle Swarm Optimization for Uncapacitated Facility Location Problem (UFLP).
- Sonuç, E., 2021. Binary crow search algorithm for the uncapacitated facility location problem. *Neural Computing and Applications*, 33(21), 14669-14685.
- Sudabas, F. T., & Kara, S. S., 2021. Tesis Yeri Seçimi Probleminde Minimum Karbon Emisyonu Yaklaşımı: Bir Üniversitenin Geri Dönüşüm Yönetimi İçin Uygulama. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 9(2), 544-553.
- Tunç, A., Taşdemir, Ş., & Sağ, T., 2022. Comparison of Heuristic and Metaheuristic Algorithms. Paper presented at the 2022 7th International Conference on Computer Science and Engineering (UBMK).
- Xiang, W.-l., Li, Y.-z., He, R.-c., & An, M.-q., 2021. Artificial bee colony algorithm with a pure crossover operation for binary optimization. *Computers & Industrial Engineering*, 152, 107011.
- Yiğit, V., & Türkbey, O., 2003. Tesis Yerleşim Problemlerine Sezgisel Metotlarla Yaklaşım. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 18(4).
- Zebari, R., Abdulazeez, A., Zeebaree, D., Zebari, D., & Saeed, J., 2020. A comprehensive review of dimensionality reduction techniques for feature selection and feature extraction. *Journal of Applied Science and Technology Trends*, 1(2), 56-70.
- Zhang, F., He, Y., Ouyang, H., & Li, W., 2023. A fast and efficient discrete evolutionary algorithm for the uncapacitated facility location problem. *Expert Systems with Applications*, 213, 118978.
- Zhu, K., Ying, S., Zhang, N., & Zhu, D., 2021. Software defect prediction based on enhanced metaheuristic feature selection optimization and a hybrid deep neural network. *Journal of Systems and Software*, 180, 111026.