

Yeni önerilmiş ikili fare sürüsü algoritması The new suggested binary rat swarm algorithm

Emine BAŞI* 

¹Yazılım Mühendisliği Bölümü, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Konya Teknik Üniversitesi, Konya, Türkiye.
ebas@ktun.edu.tr

Geliş Tarihi/Received: 06.03.2022
Kabul Tarihi/Accepted: 03.11.2022

Düzeltilme Tarihi/Revision: 22.09.2022

doi: 10.5505/pajes.2022.58291
Araştırma Makalesi/Research Article

Öz

Son zamanlarda araştırmacılar, basit yapısı, yüksek optimizasyon performansı ve adaptasyon kolaylığı nedeniyle optimizasyonda sürü tabanlı algoritmalara ilgi duymaya başlamışlardır. Sürü tabanlı algoritmalar, her ne kadar sürekli optimizasyon problemlerini çözmek için kullanılsalar da ikili optimizasyon problemlerini çözmek için de kullanılabilirler. Sürekli optimizasyonda arama uzayı değişkenleri optimal değere yaklaşmaya çalışırken, ayrık optimizasyonda arama uzayı değişkenleri sabittir ve gerçek değerlerle ifade edilir. İkili optimizasyon ise, karar değişkenleri 0 ve 1 değerleri alır ve temel olarak ayrık optimizasyon sınıfında yer alır. Bu makalede sürekli optimizasyon problemlerini çözmek için önerilmiş Fare Sürüsü Algoritması (FSA) incelenmiştir. FSA, sürü zekâsına dayalı bir algoritmadır. Farelerin kovalama ve saldırma davranışları taklit edilerek FSA geliştirilmiştir. Bu çalışmada, orijinal FSA, ikili optimizasyon problemlerini çözmek için tekrar güncellenmiştir ve İkili FSA (BinFSA) önerilmiştir. BinFSA'da sürekli arama alanı değerlerini ikili değerlere dönüştürürken dört adet U ve dört adet T şekilli transfer işlevi kullanılmıştır. Böylece BinFSA'nın sekiz varyantı elde edilmiştir. Bunlar BinFSA1, BinFSA2, BinFSA3, BinFSA4, BinFSA5, BinFSA6, BinFSA7 ve BinFSA8 şeklinde isimlendirilmişlerdir. Bu varyantlar içinden BinFSA'nın en başarılı varyantı BinFSA6 olarak belirlenmiştir. Daha sonra BinFSA6 varyantı, çaprazlama ve mutasyon operatörleri eklenerek geliştirilmiştir ve GBinFSA olarak adlandırılmıştır. GBinFSA'nın performansı sırt çantası problemlerinde test edilmiştir. Ayrıca GBinFSA'nın başarısı literatürden seçilen farklı sezgisel algoritmalarla da karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre önerilen algoritmanın çözüm kalitesinin etkili ve karşılaştırılabilir olduğu görülmüştür. Sonuçlar, GBinFSA'nın ikili optimizasyon problemleri için tercih edilen bir buluşsal algoritma olduğunu göstermiştir.

Anahtar kelimeler: FSA, İkili optimizasyon, Fare, Çaprazlama, Mutasyon.

Abstract

Recently, researchers have started to be interested in population-based swarm-based algorithms in optimization due to their simple structure, high optimization performance, and ease of adaptation. Although swarm-based algorithms solve continuous optimization problems, they can also be used to solve binary optimization problems. In continuous optimization, the search space variables try to approach the optimal value, while in discrete optimization, the search space variables are fixed and expressed with real values. In binary optimization, the decision variables take values of 0 and 1 and are basically in the discrete optimization class. In this paper, the proposed Rat Swarm Algorithm (RSA) to solve continuous optimization problems is examined. RSA is an algorithm based on swarm intelligence. RSA was developed by imitating the chasing and attacking behaviors of rats. In this study, the original RSA was updated again to solve binary optimization problems and Binary RSA (BinRSA) was proposed. In BinRSA, four U-shaped and four T-shaped transfer functions are used while converting the continuous search field values to binary values. Thus, eight variants of BinRSA were obtained. These are named as BinRSA1, BinRSA2, BinRSA3, BinRSA4, BinRSA5, BinRSA6, BinRSA7 and BinRSA8. Among these variants, the most successful variant of BinRSA was determined as BinRSA6. Then the BinRSA6 variant was developed by adding crossover and mutation operators and was named GBinRSA. GBinRSA's performance has been tested in knapsack problems. In addition, the success of GBinRSA was compared with different heuristic algorithms selected from the literature. According to the results obtained, it has been seen that the solution quality of the proposed algorithm is effective and comparable. The results showed that GBinRSA is a preferred heuristic for binary optimization problems.

Keywords: RSA, Binary optimization, Rat, Crossover, Mutation.

1 Giriş

Makine öğrenmesi ve yapay zekâdaki gerçek dünya uygulamaları ve problemleri, genellikle ayrık veya sınırlandırılmamış bir yapıdadır [1]. Geleneksel matematiksel tabanlı programlama tekniklerini kullanarak gerçek dünya uygulamalarının ve problemlerinin çözümlerini bulmak oldukça zordur. Gerçek dünya problemlerine alternatif çözüm geliştirmek için optimizasyon tekniklerini bilimin her alanında rastlamak mümkündür. Son zamanlarda çeşitli sistemlerin işlevselliğini artırmak, performansını arttırmak ve hesaplama maliyetlerini düşürmek için çok sayıda optimizasyon algoritması önerilmiştir. Araştırmacılar son yıllarda meta-sezgisel algoritmalara çok dikkat çekmiştir ve farklı algoritmalarla çeşitli optimizasyon problemleri çözülmüştür.

Genel olarak Meta-sezgisel algoritmalar, fiziksel temelli, sosyal temelli, müzik temelli, sürü temelli, kimya temelli, biyoloji temelli, spor temelli, matematik temelli ve karışık (melez) temelli algoritmalar olmak üzere dokuz kategoriye ayrılır bilinir [20],[21]. Genel olarak, tüm meta-sezgisel algoritmalar, tipik olarak ilki çeşitlendirme (keşif) ve ikincisi, yoğunlaştırma (sömürme) olarak adlandırılan iki adımdan oluşan arama süreci gibi ortak özelliklere sahiptir. Çeşitliliği ve sömürüyü arttırmak için bu çalışmada çaprazlama ve mutasyon yöntemleri kullanılmıştır. Literatürde birçok farklı araştırmada, aday çözümler oluşturmak için çaprazlama ve mutasyon operatörleri kullanılmıştır [2],[3].

İkili optimizasyon problemleri, ayrık optimizasyon problemlerinin farklı bir alt grubunu oluşturur. İkili optimizasyon arama alanı $\{0,1\}$ ile ifade edilirken ayrık

*Yazışılan yazar/Corresponding author

optimizasyon arama alanı gerçek ayrık değerlerle ifade edilir. Arama uzayını ikili değerlerle ifade etmek, birçok gerçek dünya probleminin çözümünde kolaylık sağlar. Sürekli arama uzayını ikili arama uzayına dönüştürmek için transfer fonksiyonları literatürde sıklıkla kullanılmaktadır [19]. Literatürde çeşitli transfer fonksiyonları mevcuttur [19],[5]. Bu çalışmada seçilen transfer fonksiyonları ikinci bölümde gösterilmiştir ve ikili optimizasyon problemi olarak 0-1 sırt çantası optimizasyon problemi seçilmiştir.

Bu çalışma, global optimizasyon problemleri için Fare Sürüsü Algoritması (FSA) olarak adlandırılan, sürü tabanlı yeni bir meta-sezgisel algoritmayı incelemektedir. Fare Sürüsü Algoritması (FSA), bu yazıda incelenen global optimizasyon problemleri için sürü tabanlı yeni bir meta-sezgisel algoritmadır [4]. Dhiman ve ark. FSA'nın başarısını düşük ölçekli boyutlarda test etmişlerdir. FSA algoritması literatürde sürekli optimizasyon problemleri dışında farklı optimizasyon problemleri için henüz önerilmemiştir. Bu makalede, FSA algoritması ikili optimizasyon problem türlerinden biri olan 0-1 sırt çantası problemi üzerindeki başarısı test edilmektedir. Bu çalışmada, sekiz farklı transfer fonksiyonları (4 çeşit U ve 4 çeşit T şekilli transfer fonksiyonları) ile FSA 'da sürekli arama uzayı ikili arama uzayına dönüştürülmüş ve ikili FSA (BinFSA) varyasyonları (BinFSA1, BinFSA2, BinFSA3, BinFSA4, BinFSA5, BinFSA6, BinFSA7 ve BinFSA8) olarak sunulmuştur. Öne çıkan bir ikili optimizasyon problemi olan sırt çantası problemi, BinFSA'nın performansını değerlendirmek için kullanılmıştır. Çalışmanın deneysel aşaması için farklı boyutlarda 25 farklı sırt çantası veri seti seçilmiştir. En etkili BinFSA versiyonuna çaprazlama ve mutasyon operatörleri dahil edilerek geliştirilmiş BinFSA (GBinFSA) önerilmiştir. GBinFSA test sonuçları çeşitli literatürden seçilen algoritmalarla karşılaştırılmıştır.

Bu çalışmanın geri kalanı şu şekilde yapılandırılmıştır: Bölüm 2'de FSA ayrıntılı bir şekilde açıklanmıştır. Bölüm 3'te BinFSA ve Geliştirilmiş BinFSA (GBinFSA) detaylandırılmıştır. Bölüm 4'de BinFSA varyasyonları ve GBinFSA sırt çantası problemi üzerinde performans testleri gerçekleştirilmiştir.

2 Fare sürüsü algoritması (FSA)

Fareler, büyüklük ve ağırlık olarak farklı olan uzun kuyruklu ve orta boy kemirgenlerdir. Siyah ve kahverengi olmak üzere iki ana fare türü vardır. Fare ailesinde erkek farelere bucks, dişi farelere does denir [4]. Fareler doğaları gereği zeki kemirgenlerdir. Fareler sıçrama, kovalama, yuvarlanma ve yumruklama gibi farklı eylemlerde bulunmaktadır. Fareler ayrıca birbirlerini tımar etmektedir. Fareler, hem erkek hem de dişi gruplar halinde yaşayan kemirgenlerdir. Bazı durumlarda, farelerin davranışları oldukça saldırgan ve bu durum, bazı hayvanların ölümüne yol açabilmektedir. FSA, farelerin kovalama ve dövüşme davranışlarını matematiksel olarak modelleyen bir algoritmadır.

2.1 Matematiksel model ve optimizasyon algoritması

Bu bölümde farelerin kovalama gibi çeşitli davranışları açıklanmaktadır.

2.1.1 Avı kovalamak

Genel olarak fareler, sosyal agonistik davranışlarıyla bir grup halinde avını kovalayan sosyal hayvanlardır. Bu davranışı matematiksel olarak tanımlamak için en iyi popülasyon bireyinin avın yerini bildiği varsayılmaktadır. Diğer popülasyon bireyleri, şimdiye kadar elde edilen en iyi popülasyon bireyine

göre konumlarını güncellemektedir. Bu mekanizmada aşağıdaki denklemler kullanılır [4].

$$\vec{P} = A \cdot \vec{P}_i(x) + C \cdot (\vec{P}_r(x) - \vec{P}_i(x)) \quad (1)$$

Burada, $\vec{P}_i(x)$ farelerin konumlarını gösterirken, $\vec{P}_r(x)$ en iyi optimum çözümdür. A ve C parametreleri aşağıdaki denklemlerle hesaplanmaktadır [4].

$$A = R - x \times \left(\frac{R}{\text{Mak}_{\text{iterasyon}}} \right) \quad (2)$$

$$x = 1, 2, 3, \dots, \text{Mak}_{\text{iterasyon}}$$

$$C = 2 \cdot \text{rand}() \quad (3)$$

R ve C sırasıyla [1, 5] ve [0, 2] arasında rastgele sayılardır. A ve C parametreleri, yinelemeler boyunca daha iyi keşif ve sömürden sorumludur [4].

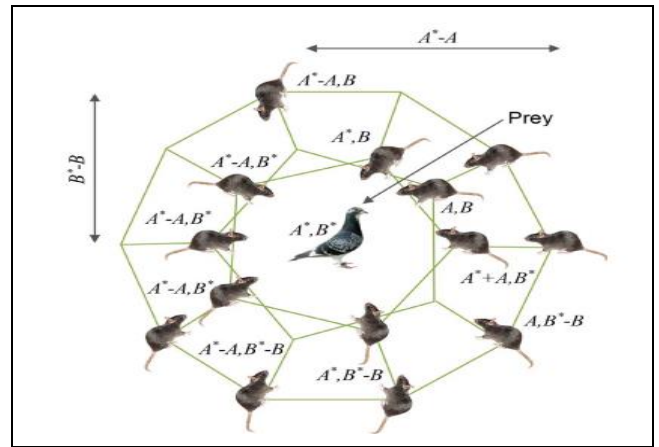
2.1.2 Av ile mücadele

Farelerin av ile savaşma sürecini matematiksel olarak tanımlamak için aşağıdaki denklem önerilmiştir [4].

$$\vec{P}_i(x+1) = |\vec{P}_r(x) - \vec{P}| \quad (4)$$

$\vec{P}_i(x+1)$, her fare bireyinin güncellenen yeni pozisyonunu ifade etmektedir. En iyi popülasyon bireyi ($\vec{P}_r(x)$) her döngü boyunca en iyi çözüm adayını saklar. Denklem 4'te, Denklem 1'de hesaplanan \vec{P} değeri kullanılarak her fare popülasyon bireyinin yeni konumu en iyi popülasyon bireyine göre güncellenir.

Şekil 1, üç boyutlu ortamda (1) ve (4) denklemlerinin etkisini göstermektedir. Bu şekilde fare (A, B) konumu av konumuna (A^*, B^*) (her fare bireyi için optimum pozisyon) göre nasıl güncellendiği çeşitli fare pozisyonları ile gösterilmiştir. Ayrıca, A ve C parametre değerleri çeşitli değerler olarak (Denklem (2) ve Denklem (3) ile) fare popülasyonu farklı konum pozisyonlarına ulaşabilmektedir. Böylece fare (A, B) konumu istenilen optimum konum olan av konumuna (A^*, B^*) ulaşmaya çalışır. Ayrıca bu kavram n -boyutlu arama uzayında genişletilebilmektedir.



Şekil 1. Farelerin 3D konum vektörleri [4].

Figure 1. 3D location vectors of rats [4].

FSA'da keşif ve sömürü becerileri, A ve C parametreleri ile garanti edilir. FSA, minimum sayıdaki operatörle optimum

çözümü bulmayı hedeflemektedir. FSA algoritmasının sözde kodu Algoritma 1'de sunulmuştur.

Algoritma 1: Fare Sürüsü Algoritması [4]	
Giriş:	Fare popülasyonu P_i ($i=1, 2, 3, \dots, n$)
Çıktı:	Optimum popülasyon bireyi
1:	Prosedür: FSA
2:	Parametreleri başlat A, C ve R
3:	Her popülasyon bireyinin uygunluk değerini hesapla
4:	P_r en iyi popülasyon bireyi
5:	While ($x < Mak_{iterasyon}$) do
6:	for her popülasyon bireyi do
7:	Şu anki popülasyon bireyinin konumunu güncelle (Denklem 4 e göre)
8:	end for
9:	Parametreleri güncelle (A, C ve R)
10:	Popülasyon bireylerini kontrol et
11:	Her popülasyon bireyinin uygunluk değerini hesapla
12:	Önceki optimum çözümden daha iyi bir çözüm varsa P_r güncelle
13:	$x \leftarrow x+1$
14:	end while
15:	P_r geri döndür
16:	end prosedür

3 İkili fare sürüsü algoritması (BinFSA)

Bu çalışmada, ikili optimizasyon problemlerini çözmek için BinFSA algoritması önerilmiştir. Standart FSA, sürekli optimizasyon problemini çözmek için uyarlanmıştır. Sürekli arama uzayı değişkenlerini ikili arama uzayı değişkenlerine dönüştürmek için FSA değiştirilmiştir. Sürekli arama uzayı değişkenlerini ikili arama uzayı değişkenlerine çevirmek için çeşitli transfer fonksiyonları (S, V, U ve T şekilli gibi) kullanılmaktadır [19]. Transfer fonksiyonları ikili optimizasyonun en önemli parçasıdır. Transfer fonksiyonları kullanmada amaç, sürekli arama alanı değerlerini ikili değerlere dönüştürmektir. Her transfer fonksiyonunun başarısı farklılık göstermektedir. Bu yüzden ikili optimizasyon problemlerini çözmeye kullanılan transfer fonksiyonu çeşitlerinin başarısını genellikle test edilmektedir. Bu çalışmada dört adet U ve dört adet T şekilli transfer fonksiyonları tercih edilmiştir. U ve T şekilli transfer fonksiyonlarının tercih edilmesinin en büyük nedeni yeni önerilmiş olmalarıdır. Ayrıca S ve V şekilli transfer fonksiyonlarına göre hesaplama karmaşıklığını azaltması ve başarı oranının artmış olmasıdır. U ve T şekilli transfer fonksiyonları Tablo 1'de gösterilmiştir Orijinal FSA'yı ikili bir versiyona dönüştürmek için Tablo 1'de listelenen transfer fonksiyonları kullanılmıştır. Bu nedenle, bu çalışmada sekiz farklı ikili FSA (BinFSA) versiyonu sunulmuştur. BinFSA versiyonları BinFSA1, BinFSA2, BinFSA3, BinFSA4, BinFSA6, BinFSA7 ve BinFSA8 olarak adlandırılmışlardır. Orijinal FSA'daki sürekli sonuçlar BinFSA'da 0 veya 1 değerine dönüştürülmektedir. T şekilli transfer fonksiyonları güç fonksiyonları olup hesaplamalarında kullanılan A değeri gerçek bir tamsayı değerini ifade etmektedir. Çok basit bir hesaplama şekline sahiptirler $(T(x) = (\frac{x}{A})^{\frac{1}{n}}, x \in [-A, A], n \geq 1$ ve A gerçek bir tam sayıdır). İlk defa T şekilli transfer fonksiyonlarını öneren He ve arkadaşları [5] A değeri ile ilgili detaylı bir çalışma yapmış olup optimum değerini [-5,5] olarak belirlemişlerdir [5]. T şekilli transfer fonksiyonları V şekilli

transfer fonksiyonlarında yer alan hesaplama karmaşıklığını azaltmak için önerilmişlerdir [5].

Tablo 1. U ve T-şekilli transfer fonksiyonları [5].

Table 1. U- and T-shaped transfer functions [5].			
U-Şekilli		T-Şekilli (Taper-Şekilli)	
İsim	Transfer Fonksiyonu	İsim	Transfer Fonksiyonu
U1	$U(x) = x ^{1.5}$	T1	$T(x) = \frac{\sqrt{ x }}{\sqrt{ A }}$
U2	$U(x) = x ^2$	T2	$T(x) = \frac{\sqrt[3]{ x }}{\sqrt[3]{ A }}$
U3	$U(x) = x ^3$	T3	$T(x) = \frac{ x }{ A }$
U4	$U(x) = x ^4$	T4	

3.1 Geliştirilmiş ikili fare sürüsü algoritması (GBinFSA)

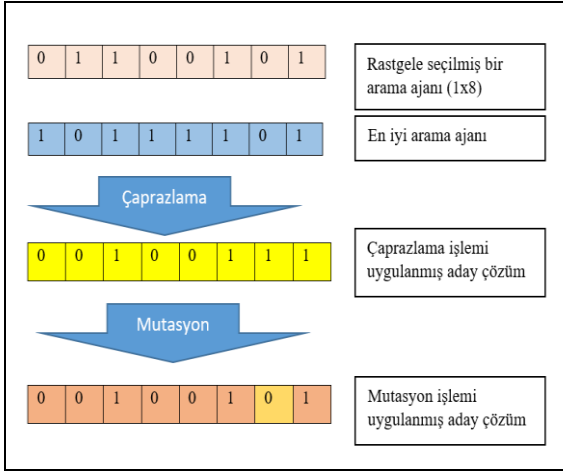
DeneySEL bölümde yapılan testlerde, optimal sonuçları elde etmek için tek başına transfer fonksiyonunu kullanmanın yetersiz olduğu sonucuna varılmıştır. Sonuçların iyileştirilmesi için çözümler üzerinde çaprazlama ve mutasyon operatörleri kullanılarak yeni aday çözümler elde edilmiştir. Mevcut arama ajanları aday çözümler ile karşılaştırılarak yer değiştirmeleri sağlanmıştır. Böylece BinFSA'nın başarısı artmıştır. Gerçekleştirilen testler çaprazlama ve mutasyon operatörlerinin başarısını kanıtlamıştır. Çaprazlama ve mutasyon operatörleri Şekil 2'de gösterilmiştir. GBinFSA algoritmasının sözde kodu Algoritma 2'de sunulmuştur.

Çaprazlama işlemi: Şekil 2'den de anlaşıldığı gibi arama uzayından seçilen rastgele bir popülasyon bireyi ile sistemin en iyi bireyi arasında bir çaprazlama işlemi gerçekleştirilerek yeni bir aday birey elde edilir. Aday birey mevcut popülasyon bireylerine benzese de çaprazlama işleminden dolayı daha farklı bir yapıdadır. Böylece GBinFSA'da sömür işlemleri gerçekleştirilmiş olur Arama uzayından seçilen rastgele bir birey ile sistemin en iyi bireyi arasında her bir boyut kendi içinde xor lojik kapısından geçirilerek çaprazlama işlemi gerçekleştirilmiş olur [19]. Xor lojik kapısının çalışma prensibi şöyledir: her iki boyutun bit değeri '0' veya '1' ise sonuç '1', her iki boyutun bit değeri birbirinden farklı ise sonuç her zaman '0' dir. Xor lojik kapısı için doğruluk tablosu Tablo 2'de gösterilmiştir.

Tablo 2. Xor lojik kapısı için doğruluk tablosu.

Table 2. Truth table for xor logic gate.		
Xor doğruluk tablosu		
R(x)	B(x)	Sonuç(x)
0	0	1
1	0	0
0	1	0
1	1	1

Mutasyon işlemi: Çaprazlama işlemi sonucunda elde edilen yeni aday çözüm üzerinde çeşitliliği sağlamak için mutasyon işlemi Şekil 2'de gösterildiği gibi kullanılmıştır. Mutasyon işleminde çaprazlama işlemine tabi olmuş yeni aday çözüm üzerinde rastgele seçilen bir boyutunun değeri '0' ise '1', '1' ise '0' olarak değiştirilir. Bu, mevcut popülasyonun arama alanını keşfetme kapasitesini artırır.



Şekil 2. Çaprazlama ve mutasyon işlemleri.

Figure 2. Crossover and mutation operations.

Algoritma 2: Geliştirilmiş İkili Fare Sürüsü Algoritması (GBinFSA)

Giriş: Fare popülasyonu P_i ($i=1, 2, 3, \dots, n$)
Çaprazlanmış fare sürüsü popülasyonu P_{cap} ($cap=1, 2, 3, \dots, n$)
Mutasyon işlemi sonrası fare sürüsü popülasyonu P_{mut} ($mut=1, 2, 3, \dots, n$)
Çıktı: Optimum popülasyon bireyi

- 1: Prosedür: GBinFSA
- 2: Parametreleri başlat A, C ve R
- 3: Sürekli arama uzayı oluşturulur
- 4: Seçilmiş transfer fonksiyonuna göre sürekli arama uzayı ikili arama uzayına çevrilir
- 5: Her ikili popülasyon bireylerini sırt çantası problemine göre uygunluk değerlerini hesapla
- 6: P_r en iyi popülasyon bireyi seçilir
- 7: While ($x < Mak_{iterasyon}$) do
- 8: for her arama ajanı do
- 9: Şu anki popülasyon bireyinin konumunu güncelle (Denklem 4 e göre)
- 10: end for
- 11: Parametreleri güncelle (A, C ve R)
- 12: Popülasyon bireylerini kontrol et
- 13: Popülasyon bireylerini seçilmiş transfer fonksiyonuna göre ikili şekle çevir
- 14: for her popülasyon bireyi do
- 15: P_r ile her popülasyon bireyi için çaprazlama işlemi sonucu P_{cap} elde edilir ($cap=1, 2, 3, \dots, n$)
- 16: P_{cap} üzerinde mutasyon işlemi sonucu P_{mut} elde edilir ($mut=1, 2, 3, \dots, n$)
- 17: end for
- 18: Her aday çözüm (P_{mut}) için uygunluk değerini hesapla
- 19: P_i ile P_{mut} karşılaştır P_{mut} daha iyi ise P_i ile yer değiştir
- 20: Önceki optimum çözümden daha iyi bir çözüm varsa P_r güncelle
- 21: $x \leftarrow x+1$
- 22: end while
- 23: P_r geri döndür
- 24: end prosedür

4 {0-1} Sırt çantası problemi

Tipik bir NP-zor problemi olan 0-1 sırt çantası problemi şu şekilde tanımlanır: Toplamda N tane nesne olduğu varsayılır. W değeri sırt çantasının kapasitesini göstermek üzere, her i nesnesinin bir ağırlığı (w_i) ve bir kâr değeri (p_i) vardır. Problemden ana amaç, sırt çantasının kapasitesinin sınırını aşmadan sırt çantasının toplam kârını maksimize etmektir. Problemin matematiksel modeli çok basittir ve şu şekilde formüle edilmiştir:

$$\text{Maximize } (f(x)) = \sum_{i=1}^N x_i p_i \quad (5)$$

$$\text{subject to } \sum_{i=1}^N x_i w_i \leq W \quad x_i \in \{0,1\}, \quad i = 1, 2, 3, \dots, N \quad (6)$$

Burada x_i (ikili değişken), i nesnesinin sırt çantasında olup olmayacağını temsil etmektedir.

5 Deneysel bölüm

Bu bölümdeki tüm kodlar Matlab'da yazılmıştır ve optimum performans için Corel i5 CPU ve 12 GB RAM'e sahip bir PC'de çalıştırılmıştır. Bu çalışmada, sekiz farklı transfer fonksiyonu kullanılarak sürekli arama uzayı ikili arama uzayına dönüştürülmüş ve Binary FSA (BinFSA) önerilmiştir. Ayrıca bir ikili optimizasyon problemi olan sırt çantası problemi, BinFSA'nın başarısını değerlendirmek için kullanılmıştır. Önerilen algoritmanın performansını değerlendirmek için yirmi beş farklı boyuttaki sırt çantası veri seti kullanılmıştır. Tablo 3, kullanılan veri kümesi tanımlarını göstermektedir. Bu veri setleri [10] ve [11] kaynaklarında gösterilen web adresinden elde edilmiştir [6]. Kıyaslamalarda üç farklı kistas kullanılmıştır. Bunlar en iyi, en kötü ve ortalama değerleridir. Yüzde sapma (PDev) karşılaştırması da bu çalışmaya dahil edilmiştir. Elde edilen veriler kapsamlı bir şekilde incelenmiştir. PDev optimal ve elde edilen çözümler arasındaki yüzde hatasını belirlemek için kullanılır. PDev hesaplama süreci Denklem 7'de gösterilmiştir.

Tablo 3. 0-1 Sırt çantası problemi veri setleri tanımı.

Table 3. 0-1 Definition of knapsack problem datasets.

ID	Problem	Kapasite	Boyut	Optimum değer
P1	Kp_8a	1863633	8	3924400
P2	Kp_8b	1822718	8	3813669
P3	Kp_8c	1609419	8	3347452
P4	Kp_8d	2112292	8	4187707
P5	Kp_8e	2493250	8	4955555
P6	Kp_12a	2805213	12	5688887
P7	Kp_12b	3259036	12	6498597
P8	Kp_12c	3489815	12	5170626
P9	Kp_12d	3453702	12	6992404
P10	Kp_12e	2520392	12	5337472
P11	Kp_16a	3780355	16	7850983
P12	Kp_16b	4426945	16	9352998
P13	Kp_16c	4323280	16	9151147
P14	Kp_16d	4550938	16	9348889
P15	Kp_16e	3760429	16	7769117
P16	Kp_20a	5169647	20	10727049
P17	Kp_20b	4681373	20	9818261
P18	Kp_20c	5063791	20	10714023
P19	Kp_20d	4286641	20	8929156
P20	Kp_20e	4476000	20	9357969
P21	Kp_24a	6404180	24	13549094
P22	Kp_24b	5971071	24	12233713
P23	Kp_24c	5870470	24	12448780
P24	Kp_24d	5762284	24	11815315
P25	Kp_24e	6654569	24	13940099

$$PDev(\%) = \frac{\text{Optimum Değer} - \text{Elde edilen Değer}}{\text{Optimum Değer}} \times 100 \quad (7)$$

Her bir çalışma 20 kere bağımsız şekilde çalıştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir. U şekilli transfer fonksiyonları ve T-şekilli transfer fonksiyonlarına göre düzenlenmiş BinFSA versiyonları (BinFSA1, BinFSA2, BinFSA3, BinFSA4, BinFSA5, BinFSA6, BinFSA7, BinFSA8) test edilmiş ve

elde edilen en iyi ve ortalama sonuçlar Tablo 4, Tablo 5, Tablo 6, Tablo 7, Tablo 8 ve Tablo 9'da sunulmuştur.

Testlerde kullanılan parametre ayarları şöyledir: arama uzayı ajamı 20, maksimum iterasyon 5000'dir ve T şekilli transfer fonksiyonları için A değeri [-5, 5] şeklindedir. BinFSA varyasyonlarına ait en kötü test sonuçları ek olarak EK A Tablo 1'de bilgi amaçlı gösterilmiştir.

Tablo 4. BinFSA'nın dört farklı U-şekilli transfer fonksiyonuna göre en iyi sonuçları.

Table 4. Best results of BinFSA according to four different U-shaped transfer functions.

ID	Problem	Optimum değer	BinFSA1	PDev1	BinFSA 2	PDev2	BinFSA 3	PDev3	BinFSA4	PDev4
P1	Kp_8a	3924400	3912160	0.3	3924400	0.0	3898976	0.6	3711023	5.4
P2	Kp_8b	3813669	3813669	0.0	3782677	0.8	3813669	0.0	3609822	5.3
P3	Kp_8c	3347452	3347452	0.0	3347452	0.0	3336283	0.3	3336283	0.3
P4	Kp_8d	4187707	4187707	0.0	4187707	0.0	4132484	1.3	4127370	1.4
P5	Kp_8e	4955555	4955555	0.0	4955555	0.0	4856657	2.0	4692794	5.3
P6	Kp_12a	5688887	5608232	1.4	5659720	0.5	5541624	2.6	5556708	2.3
P7	Kp_12b	6498597	6498597	0.0	6367411	2.0	6460377	0.6	6355118	2.2
P8	Kp_12c	5170626	5115388	1.1	5163991	0.1	4972650	3.8	4872330	5.8
P9	Kp_12d	6992404	6940791	0.7	6957114	0.5	6786298	2.9	6494310	7.1
P10	Kp_12e	5337472	5289570	0.9	5289570	0.9	5193398	2.7	5289570	0.9
P11	Kp_16a	7850983	7694879	2.0	7636468	2.7	7542165	3.9	7116236	9.4
P12	Kp_16b	9352998	9060509	3.1	9023556	3.5	8753701	6.4	8897131	4.9
P13	Kp_16c	9151147	8773522	4.1	8833800	3.5	8965587	2.0	8529122	6.8
P14	Kp_16d	9348889	9168305	1.9	8974239	4.0	9074652	2.9	8899059	4.8
P15	Kp_16e	7769117	7439134	4.2	7769117	0.0	7162907	7.8	7351984	5.4
P16	Kp_20a	10727049	10366166	3.4	10551001	1.6	10241649	4.5	9840912	8.3
P17	Kp_20b	9818261	9357160	4.7	9436611	3.9	9449330	3.8	9247060	5.8
P18	Kp_20c	10714023	10319399	3.7	10192252	4.9	10274578	4.1	9828312	8.3
P19	Kp_20d	8929156	8631051	3.3	8547373	4.3	8473337	5.1	8440520	5.5
P20	Kp_20e	9357969	9220646	1.5	9238728	1.3	8997213	3.9	8995071	3.9
P21	Kp_24a	13549094	13052263	3.7	12994005	4.1	13041789	3.7	12200262	10.0
P22	Kp_24b	12233713	11914432	2.6	11693552	4.4	11917078	2.6	11129001	9.0
P23	Kp_24c	12448780	11982102	3.7	11951600	4.0	11835354	4.9	10788949	13.3
P24	Kp_24d	11815315	11483168	2.8	11507134	2.6	11105319	6.0	10975221	7.1
P25	Kp_24e	13940099	13485457	3.3	13513875	3.1	13220170	5.2	12100377	13.2

Tablo 5. BinFSA'nın dört farklı U-şekilli transfer fonksiyonuna göre ortalama sonuçları.

Table 5. Average results of BinFSA according to four different U-shaped transfer functions.

ID	BinFSA1	PDev1	BinFSA 2	PDev2	BinFSA 3	PDev3	BinFSA4	PDev4
P1	3690411.5	6.0	3691765.05	5.9	3449410.3	12.1	3308472.55	15.7
P2	3569298.2	6.4	3501330.9	8.2	3463552.4	9.2	3177306.85	16.7
P3	3062710.55	8.5	3052470.2	8.8	2932146.15	12.4	2865145.45	14.4
P4	3927992.95	6.2	3808296.15	9.1	3750876.2	10.4	3405231.35	18.7
P5	4580704.05	7.6	4668068.4	5.8	4359578.8	12.0	4064832.6	18.0
P6	5289619.1	7.0	5191698.9	8.7	4962282.2	12.8	4654540.85	18.2
P7	6158490.3	5.2	5973189.25	8.1	5737891.3	11.7	5443089.65	16.2
P8	4770747.8	7.7	4676566.9	9.6	4550920.2	12.0	4170415.4	19.3
P9	6529286.9	6.6	6238576.75	10.8	6149651.45	12.1	5685556.1	18.7
P10	4931142.8	7.6	4909131.35	8.0	4605939.85	13.7	4468256.1	16.3
P11	7224326.25	8.0	7147250.35	9.0	7060914.6	91.0	6190276.55	21.2
P12	8445983.4	9.7	8403494.95	10.2	7923737.6	15.3	7653936.75	18.2
P13	8465754.35	7.5	8251170.1	9.8	7787651.4	14.9	6925910.45	24.3
P14	8670634.4	7.3	8436125.9	9.8	7886572	15.6	7609855.7	18.6
P15	7055216	9.2	7069641.05	9.0	6356582.9	18.2	6150582.2	20.8
P16	9803240.15	8.6	9580199.3	10.7	8946748.05	16.6	7932964	26.0
P17	8967486	8.7	8967464.15	8.7	8304936.8	91.5	7792706.8	20.6
P18	9966909.45	7.0	9779536.5	8.7	8974510.45	16.2	8254982.35	23.0
P19	8240801.95	7.7	8035317.25	10.0	7404085.5	17.1	6557139.2	26.6
P20	8622013.8	7.9	8501893.9	9.1	8052493.15	14.0	7609050.5	18.7
P21	12541301.65	7.4	12162396.7	10.2	11171788.9	17.5	9907115.7	26.9
P22	10997402.65	10.1	11044465.3	9.7	10687923.6	12.6	8863658.4	27.5
P23	11520866.5	7.5	11202191.6	10.0	9924535.2	20.3	8916672.05	28.4
P24	10957794.55	7.3	10710245.6	9.4	9721213.4	17.7	8445408.3	28.5
P25	12906471.15	7.4	12565377.75	9.9	11601389.3	16.8	10022859.05	28.1

Tablo 6. BinFSA'nın dört farklı T-şekilli transfer fonksiyonuna göre en iyi sonuçlar.
Table 6. Best results of BinFSA according to four different T-shaped transfer functions.

ID	Problem	Optimum değer	BinFSA5	PDev5	BinFSA 6	PDev6	BinFSA 7	PDev7	BinFSA8	PDev8
P1	Kp_8a	3924400	3924400	0.0	3924400	0.0	3742504	4.6	3924400	0.0
P2	Kp_8b	3813669	3813669	0.0	3813669	0.0	3578762	6.2	3813669	0.0
P3	Kp_8c	3347452	3347452	0.0	3347452	0.0	3058953	8.6	3347452	0.0
P4	Kp_8d	4187707	4187707	0.0	4187707	0.0	3616521	13.6	4187707	0.0
P5	Kp_8e	4955555	4955555	0.0	4955555	0.0	4377755	11.7	4955555	0.0
P6	Kp_12a	5688887	5614715	1.3	5688887	0.0	4601966	19.1	5550521	2.4
P7	Kp_12b	6498597	6355118	2.2	6421554	1.2	5853934	9.9	6379369	1.8
P8	Kp_12c	5170626	5117959	1.0	5063832	2.1	4720553	8.7	4987413	3.5
P9	Kp_12d	6992404	6815096	2.5	6881630	1.6	6642290	5.0	6928828	0.9
P10	Kp_12e	5337472	5268079	1.3	5289570	0.9	5268079	1.3	5227215	2.1
P11	Kp_16a	7850983	7739394	1.4	7607269	3.1	7198869	8.3	7542773	3.9
P12	Kp_16b	9352998	9107330	2.6	8940665	4.4	6526844	30.2	9133169	2.4
P13	Kp_16c	9151147	8946129	2.2	8909898	2.6	8799284	3.8	8937775	2.3
P14	Kp_16d	9348889	9065244	3.0	9039866	3.3	7798841	16.6	9055830	3.1
P15	Kp_16e	7769117	7376483	5.1	7547496	2.9	5764437	25.8	7522475	3.2
P16	Kp_20a	10727049	10335771	3.6	10457445	2.5	9240300	13.9	10294026	4.0
P17	Kp_20b	9818261	9441219	3.8	9467664	3.6	7265726	26.0	9538175	2.9
P18	Kp_20c	10714023	10279760	4.1	10510239	1.9	7534523	29.7	10232942	4.5
P19	Kp_20d	8929156	8457730	5.3	8854373	0.8	6707521	24.9	8525567	4.5
P20	Kp_20e	9357969	9082894	2.9	9180677	1.9	8198517	12.4	9250981	1.1
P21	Kp_24a	13549094	12821663	5.4	13259870	2.1	9752538	28.0	13000948	4.0
P22	Kp_24b	12233713	11788856	3.6	11890878	2.8	8700010	28.9	11932568	2.5
P23	Kp_24c	12448780	11869890	4.7	12148163	2.4	7246046	41.8	11843831	4.9
P24	Kp_24d	11815315	11094163	6.1	11766326	0.4	8003809	32.3	11600245	1.8
P25	Kp_24e	13940099	13306678	4.5	13477924	3.3	9354798	32.9	13666071	2.0

Tablo 7. BinFSA'nın dört farklı T-şekilli transfer fonksiyonuna göre ortalama sonuçlar.
Table 7. Mean results of BinFSA according to four different T-shaped transfer functions.

ID	BinFSA5	PDev5	BinFSA 6	PDev6	BinFSA 7	PDev7	BinFSA8	PDev8
P1	3543338.8	9.7	3709530.8	5.5	2790922.25	28.9	3753432.5	4.4
P2	3501373.35	8.2	3623385.6	5.0	2636335.6	30.9	3661316.2	4.0
P3	3010785.1	10.1	3197847.25	4.5	2457324	26.6	3072455.65	8.2
P4	3862543.2	7.8	4043751.75	3.4	2773396.35	33.8	3993148.55	4.6
P5	4504715.9	9.1	4668194.55	5.8	3262268.2	34.2	4603643.4	7.1
P6	5174211.15	9.0	5245062.8	7.8	3220631.35	43.4	5148589	9.5
P7	5877750.6	9.6	6101421.8	6.1	4183440.1	35.6	5969188.2	8.1
P8	4668208.25	9.7	4779943.15	7.6	3185920.45	38.4	4582350.8	11.4
P9	6130794.35	12.3	6521856.35	6.7	4019958.55	42.5	6285864.65	10.1
P10	4865577.15	8.8	4870000.8	8.8	3264328.05	38.8	4980923.05	6.7
P11	6942366.25	11.6	7292606.8	7.1	4754430.6	39.4	7131013.5	9.2
P12	8313295.35	11.1	8656609.2	7.4	4943630.1	47.1	8701134.35	7.0
P13	8241295.5	9.9	8399027.4	8.2	5452106.55	40.4	8467726.25	7.5
P14	8307302.3	11.1	8690743.4	7.0	5044719.2	46.0	8703946.55	6.9
P15	6969792.1	10.3	7158814.75	7.9	4577040	41.1	7072394.45	9.0
P16	9450874.75	11.9	9911684.9	7.6	5534516.45	48.4	9848176.65	8.2
P17	8738305.2	11.0	9123651.15	7.1	5097654.35	48.1	9135885.65	7.0
P18	9289539.45	13.3	9836720.95	8.2	5878497.7	45.1	9786771.35	8.7
P19	7805812.85	12.6	8327820.95	6.7	4802410	46.2	8269354.45	7.4
P20	8479218.85	9.4	8882776.8	5.1	5103316.5	45.5	8827081.15	5.7
P21	11903590	12.1	12607882.45	6.9	6327729.05	53.3	12581662.95	7.1
P22	10650153.4	12.9	11530369.95	5.7	6188450.3	49.4	11408741.4	6.7
P23	11033282.5	11.4	11711692.55	5.9	5691459.45	54.3	11450450.75	8.0
P24	10409436.05	11.9	10864948.55	8.0	5299764	55.1	10764037.9	8.9
P25	12003728.9	13.9	13015572.5	6.6	6749749.2	51.6	12974395.3	6.9

Tablo 8. BinFSA6 ve GBinFSA'nın ortalama ve PDev(%) test sonuçları.

Table 8. Mean and PDev(%) test results of BinFSA6 and GBinFSA.

Problem	Optimum Değer	BinFSA6		GBinFSA	
		Ortalama	PDev(%)	Ortalama	PDev(%)
Kp_8a	3924400	3709530.8	5.5	3924400	0.0
Kp_8b	3813669	3623385.6	5.0	3813669	0.0
Kp_8c	3347452	3197847.25	4.5	3347452	0.0
Kp_8d	4187707	4043751.75	3.4	4187707	0.0
Kp_8e	4955555	4668194.55	5.8	4955555	0.0
Kp_12a	5688887	5245062.8	7.8	5688887	0.0

Tablo 8. Devamı.
Figure 8. Continued.

Problem	Optimum Değer	BinFSA6		GBinFSA	
		Ortalama	PDev(%)	Ortalama	PDev(%)
Kp_12b	6498597	6101421.8	6.1	6498597	0.0
Kp_12c	5170626	4779943.15	7.6	5170626	0.0
Kp_12d	6992404	6521856.35	6.7	6992404	0.0
Kp_12e	5337472	4870000.8	8.8	5337472	0.0
Kp_16a	7850983	7292606.8	7.1	7850983	0.0
Kp_16b	9352998	8656609.2	7.4	9352998	0.0
Kp_16c	9151147	8399027.4	8.2	9151147	0.0
Kp_16d	9348889	8690743.4	7.0	9348889	0.0
Kp_16e	7769117	7158814.75	7.9	7769117	0.0
Kp_20a	10727049	9911684.9	7.6	10719578	0.1
Kp_20b	9818261	9123651.15	7.1	9810604.9	0.1
Kp_20c	10714023	9836720.95	8.2	10710603.5	0.0
Kp_20d	8929156	8327820.95	6.7	8916407.8	0.1
Kp_20e	9357969	8882776.8	5.1	9355785.9	0.0
Kp_24a	13549094	12607882.45	6.9	13495940.2	0.4
Kp_24b	12233713	11530369.95	5.7	12206625	0.2
Kp_24c	12448780	11711692.55	5.9	12406009.9	0.3
Kp_24d	11815315	10864948.55	8.0	11788983.1	0.2
Kp_24e	13940099	13015572.5	6.6	13903803.3	0.3

Tablo 9. GBinFSA ile sezgisel diğer algoritmaların ortalama sonucuna göre karşılaştırılması-1.

Table 9. Comparison of GBinFSA and other heuristic algorithms according to the mean result-1.

ID	Optimum Değer	BPSO	MBPSO	NGHS	DGHS	BinEHO	GBinFSA
P1	3924400	3921857.19	3924400	3924400	3924400	3924400	3924400
P2	3813669	3807911.86	3813669	3813669	3813669	3813669	3813669
P3	3347452	3328608.71	3347452	3347452	3347452	3347452	3347452
P4	4187707	4186088.27	4187707	4187707	4187707	4187707	4187707
P5	4955555	4932737.28	4954571.72	4955555	4955555	4955555	4955555
P6	5688887	5683694.29	5688552.41	5687724.44	5687460.74	5688757.34	5688887
P7	6498597	6478582.96	6493130.57	6486450.92	6498597	6498597	6498597
P8	5170626	5166957.08	5170493.30	5165079.86	5165079.80	5170626	5170626
P9	6992404	6989842.73	6992144.26	6991971.10	6992404	6992404	6992404
P10	5337472	5316879.59	5337472	5273974.06	5335555.92	5337472	5337472
P11	7850983	7834900.26	7843073.29	7795177.56	7850983	7850224.60	7850983
P12	9352998	9334408.62	9350353.39	9253153.36	9352998	9352998	9352998
P13	9151147	9118837.47	9144118.38	9055853.46	9151147	9151147	9151147
P14	9348889	9321705.87	9337915.64	9310913.74	9316797.66	9348889	9348889
P15	7769117	7758572.21	7764131.81	7738799.78	9316797.66	7766509.36	7769117
P16	10727049	10707360.91	10720314.03	10592304.82	10727049	10727049	10719578
P17	9818261	9791306.65	9805480.48	9728979.66	9818261	9818261	9810604.9
P18	10714023	1070342.34	10710947.05	10585114.14	10709663.64	10713587.70	10710603.5
P19	8929156	8910152.57	8923712.21	8859297.78	8916496.80	8929156	8916407.8
P20	9357969	9349546.98	9355930.35	9324698.84	9357518.34	9357751.44	9355785.9
P21	13549094	13510432.96	13532060.07	13508995.14	13527887.56	13546986.14	13495940.2
P22	12233713	12205346.16	12223442.61	12160953.58	12233713	12233713	12206625
P23	12448780	12427880.56	12443349.03	12424467.44	12448158.86	12448780	12406009.9
P24	11815315	11792064.76	11803712.38	11736314.98	11810261.56	11810682.68	11788983.1
P25	13940099	13922797.55	13932526.16	13827901.40	13940099	13940099	13903803.3

5.1 U-şekilli transfer fonksiyonlarına göre BinFSA test sonuçları

Bu bölümde BinFSA'nın en iyi, ortalama ve PDev sonuçları gösterilmiştir. Tablo 4'e göre en iyi PDev değerleri BinFSA1 ve BinFSA2 sonuçlarıdır. BinFSA1, 25 test fonksiyonundan 13 tanesinde diğer BinFSA varyasyonlarına göre üstün başarı göstermiştir ve 5 tanesinde optimum sonuca ulaşmıştır. BinFSA2, 25 test fonksiyonundan 13 tanesinde diğer BinFSA varyasyonlarına göre üstün başarı göstermiştir ve 5 tanesinde optimum sonuca ulaşmıştır. Tablo 5'e göre üstün performans gösteren BinFSA varyasyonları BinFSA1 ve BinFSA2'dir. BinFSA1, 25 test fonksiyonundan 20 tanesinde diğer BinFSA varyasyonlarına göre üstün başarı göstermiştir ve BinFSA2, 25

test fonksiyonundan 5 tanesinde diğer BinFSA varyasyonlarına göre üstün başarı göstermiştir.

Sonuçlara göre U şekilli transfer fonksiyonlarından en başarıları U1 ve U2 olarak belirlenmiştir.

5.2 T-şekilli transfer fonksiyonlarına göre BinFSA test sonuçları

Bu bölümde BinFSA'nın en iyi, ortalama ve PDev sonuçları gösterilmiştir. Tablo 6'ya göre BinFSA6 ve BinFSA8 en iyi PDev değerlerine sahiptir BinFSA6, 25 test fonksiyonunun 15'inde diğer T-şekilli BinFSA varyasyonlarına göre iyi performans göstermiştir ve 5 tanesinde optimum sonuca ulaşmıştır. BinFSA8, 25 test fonksiyonunun 11'inde diğer T-şekilli BinFSA varyasyonlarına göre iyi performans göstermiştir ve 6

tanesinde optimum sonuca ulaşmıştır. BinFSA6 ve BinFSA8, Tablo 7'e göre en iyi performansa sahip BinFSA varyasyonlarıdır. BinFSA6, 25 test fonksiyonunun 18'inde diğer T-şekilli BinFSA varyasyonlarına göre yüksek performans göstermektedir. BinFSA8, 25 test fonksiyonunun 7'sinde diğer T-şekilli BinFSA varyasyonlarına göre daha iyi performans göstermiştir. Sonuçlara göre T şekilli transfer fonksiyonlarından en başarıları T6 ve T8 olarak belirlenmiştir.

5.3 BinFSA versiyonlarının karşılaştırılması

Önceki alt bölümlerde gösterilmiş tablolara göre, en başarılı BinFSA varyasyonları BinFSA1, BinFSA2, BinFSA6 ve BinFSA8 olmuştur. BinFSA1 ortalama sonuçlara göre 25 test fonksiyonundan 4'ünde, BinFSA2 25 test fonksiyonundan 0'ında, BinFSA6 25 test fonksiyonundan 14'ünde ve BinFSA8, 25 test fonksiyonundan 7'sinde üstün performans sergilemiştir. BinFSA1 en iyi sonuçlara göre 25 test fonksiyonundan 8 tanesinde üstün başarı göstermiştir, BinFSA2, 25 test fonksiyonundan 9 tanesinde üstün başarı göstermiştir, BinFSA6, 25 test fonksiyonundan 12 tanesinde üstün başarı göstermiştir ve BinFSA8, 25 test fonksiyonundan 11 tanesinde üstün başarı göstermiştir. En iyi sonuçların PDev (%) değeri hesaplandığı zaman en başarılı BinFSA varyasyonu BinFSA6 olurken bu varyasyonu BinFSA1, BinFSA2 ve BinFSA8 takip etmiştir. Sonuçlar değerlendirildiği zaman T şekilli transfer fonksiyonları U şekilli transfer fonksiyonlarından daha başarılı sonuçlar elde ettiği görülmüştür. En başarılı BinFSA versiyonu BinFSA6 olarak tespit edilmiştir. Fakat optimum sonuçların elde edilmesinde sadece transfer fonksiyonları yeterli gelmemiştir. BinFSA'nın geliştirilmesi gerektiği görülmüştür.

5.4 Geliştirilmiş BinFSA (GBinFSA)

BinFSA6 versiyonu optimal sonuçlar elde etmek için yetersiz olduğundan, BinFSA'nın aday çözüm üretme aşaması, T6 transfer fonksiyonu kullanılarak oluşturulmuştur. Yeni aday çözüm üretme aşamasına çaprazlama ve mutasyon operatörleri eklenmektedir. Geliştirilmiş BinFSA6, GBinFSA olarak

adlandırılmıştır. BinFSA6 ve GBinFSA algoritmaları, 25 sırt çantası problemi için eşit şartlarda çalıştırılmış ve sonuçlar Tablo 8'de gösterilmiştir (popülasyon birey sayısı=20, maksimum iterasyon=5000). Sonuçlara göre bütün sırt çantası problemi veri setlerinde GBinFSA üstün başarı göstermiştir. PDev(%) sonuçlarına göre 25 sırt çantası probleminden 17 tanesinde optimum sonuca ulaşmıştır. GBinFSA'ya ait en iyi ve en kötü test sonuçları ek olarak EK A Tablo 2'de bilgi amaçlı gösterilmiştir.

5.5 GBinFSA'nın literatürden seçilmiş sezgisel algoritmalarla karşılaştırılması-1

Bu alt bölümde, GBinFSA algoritması, 25 adet sırt çantası kıyaslama test fonksiyonu için son yıllarda geliştirilen sezgisel algoritmaların çeşitli ikili varyasyonları ile karşılaştırılmıştır. Bu ikili algoritmalar şunlardır, ikili parçacık sürü optimize edici (BPSO) [12], değiştirilmiş parçacık sürü optimize edici (MBPSO) [7], yeni global armoni arama algoritması (NGHS) [17], ayrık global-en iyi armoni arama algoritması (DGHS) [15] ve ikili fil sürüsü optimize edici (BinEHO) [9]. Adil karşılaştırmalar için maksimum yineleme değeri P1-P10 için 1000 ve P11-P25 için 5000 olarak ayarlanmıştır. Deney sonuçları doğrudan Haklı'dan (2020) alınmıştır [9]. Ortalama karşılaştırma sonuçları Tablo 9'da, PDev (%) sonuçları Tablo 10'da gösterilmektedir. Üstün başarı gösteren sonuçlar kalın punto ile işaretlenmiştir.

Tablo 9 sonuçlarına göre; GBinFSA, 25 sırt çantası probleminden 15 tanesinde üstün başarı göstermiştir. BinEHO, 25 sırt çantası probleminden 22 tanesinde üstün başarı göstermiştir. DGHS, 25 sırt çantası probleminden 14 tanesinde üstün başarı göstermiştir. NGHS, 25 sırt çantası probleminden 5 tanesinde üstün başarı göstermiştir ve MBPSO, 25 sırt çantası probleminden 4 tanesinde üstün başarı göstermiştir. Sonuçlara göre en başarılı algoritma BinEHO, en başarısız algoritma BPSO'dur. BinEHO'dan sonra en üstün başarı GBinFSA olmuştur. PDev (%) sonuçları da ortalama sonuçlarını destekleyecek şekilde sonuç vermiştir.

Tablo 10. GBinFSA ile sezgisel diğer algoritmaların PDev(%) sonucuna göre karşılaştırılması-1.

Table 10. Comparison of GBinFSA and other heuristic algorithms according to the PDev(%) result-1.

ID	Optimum Değer	BPSO PDev(%)	MBPSO PDev(%)	NGHS PDev(%)	DGHS PDev(%)	BinEHO PDev(%)	GBinFSA PDev(%)
P1	3924400	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
P2	3813669	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
P3	3347452	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
P4	4187707	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
P5	4955555	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
P6	5688887	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
P7	6498597	0.3	0.1	0.2	0.1	0.0	0.0
P8	5170626	0.1	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0
P9	6992404	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
P10	5337472	0.4	0.0	1.2	0.0	0.0	0.0
P11	7850983	0.2	0.1	0.7	0.0	0.0	0.0
P12	9352998	0.2	0.0	1.1	0.0	0.0	0.0
P13	9151147	0.4	0.1	1.0	0.0	0.0	0.0
P14	9348889	0.3	0.1	0.4	0.3	0.0	0.0
P15	7769117	0.1	0.1	0.4	-19.9	0.0	0.0
P16	10727049	0.2	0.1	1.3	0.0	0.0	0.1
P17	9818261	0.3	0.1	0.9	0.0	0.0	0.1
P18	10714023	90.0	0.0	1.2	0.0	0.0	0.0
P19	8929156	0.2	0.1	0.8	0.1	0.0	0.1
P20	9357969	0.1	0.0	0.4	0.0	0.0	0.0
P21	13549094	0.3	0.1	0.3	0.2	0.0	0.4
P22	12233713	0.2	0.1	0.6	0.0	0.0	0.2
P23	12448780	0.2	0.0	0.2	0.0	0.0	0.3
P24	11815315	0.2	0.1	0.7	0.0	0.0	0.2
P25	13940099	0.1	0.1	0.8	0.0	0.0	0.3

5.6 GBinFSA'nın literatürden seçilmiş sezgisel algoritmalarla karşılaştırılması-2

Bu alt bölümde, GBinFSA algoritması, 25 adet sırt çantası kıyaslama test fonksiyonu için son yıllarda geliştirilen sezgisel algoritmaların çeşitli ikili varyasyonları ile karşılaştırılmıştır. Bu ikili algoritmalar şunlardır, balina optimizasyon algoritması (WOS) [13], yarasa ilhamlı algoritma (BAS) [14], parçacık sürü optimize edici (PSOS) [8], karmaşık değerli bir kodlama yarasa algoritması (CGMA) [18], ve Hibrit simbiyotik organizmalar arama algoritması (GHSOS) [16]'dır. Ortalama karşılaştırma sonuçları Tablo 11'de ve PDev (%) sonuçları Tablo 12'de gösterilmektedir. Üstün başarı gösteren sonuçlar kalın punto ile işaretlenmiştir.

Sonuçlara göre; GBinFSA, 25 sırt çantası probleminden 15 tanesinde üstün başarı göstermiştir. WOS, 25 sırt çantası probleminden 13 tanesinde üstün başarı göstermiştir. PSOS, 25 sırt çantası probleminden 21 tanesinde üstün başarı göstermiştir. BAS, 25 sırt çantası probleminden 22 tanesinde üstün başarı göstermiştir. CGMA, 25 sırt çantası probleminden 12 tanesinde üstün başarı göstermiştir. GHSOS, 25 sırt çantası probleminden 21 tanesinde üstün başarı göstermiştir. Sonuçlara göre en başarılı algoritma BAS, en başarısız algoritma CGMA ve WOS'dur.

Sonuçlara göre, GBinFSA düşük boyutlarda üstün başarı gösterse de yüksek boyutlarda aynı performansı gösterememiştir. GBinFSA karşılaştırma algoritmalarına göre en iyi sonuçları elde edememesine karşılık ortalama başarı seviyesinden daha iyi bir başarı göstermiştir. Bu durum GBinFSA'nın literatürde kullanılabilir bir ikili optimizasyon algoritması olarak seçilebileceğini göstermektedir.

6 Sonuçlar

Bu makalede, küresel optimizasyon problemleri için son zamanlarda yeni önerilmiş olan, Fare Sürüsü Algoritması (FSA) olarak adlandırılan, sürü tabanlı bir meta-sezgisel algoritma incelenmiştir. Fare Sürüsü Algoritması (FSA), farelerin kovalama ve saldırma davranışlarından ilham alınarak oluşturulmuştur. FSA'nın ilk önerildiği makalede FSA'nın başarısı düşük boyutlu sürekli optimizasyon problemleri üzerinde test edilmiştir. Yapılan literatür incelemeleri sonucunda FSA algoritması sürekli optimizasyon problemleri dışında farklı optimizasyon problemleri için henüz bir güncellenmiş versiyonu önerilmediği tespit edilmiştir. Bu makalede, FSA algoritmasının kesikli optimizasyon problem türlerinden biri olan ikili optimizasyon problemleri üzerindeki başarısı test edilmiştir. Sürekli arama uzayı değerlerinin ikili değerlere çevrilmesinde transfer fonksiyonları kullanılmaktadır.

Bu çalışmada dört adet U ve dört adet T şekilli transfer fonksiyonları bu dönüşüm işlemi için seçilmiştir. Böylece İkili FSA (BinFSA) varyasyonları (BinFSA1, BinFSA2, BinFSA3, BinFSA4, BinFSA5, BinFSA6, BinFSA7 ve BinFSA8) elde edilmiştir. BinFSA varyasyonlarının başarısını test etmek için popüler bir ikili optimizasyon problemi olan sırt çantası problemi seçilmiştir. BinFSA varyasyonları, 25 farklı düşük, orta ve geniş ölçekli sırt çantası problemlerinde en iyi, ortalama ve PDev (optimum değerlere göre yüzdelikli hata oranı) kriterlerine göre başarıları detaylı bir şekilde gösterilmiştir. Sonuçlara göre en başarılı BinFSA varyasyonu, BinFSA6 olarak belirlenmiştir.

Tablo 11. GBinFSA ile sezgisel diğer algoritmaların ortalama sonucuna göre karşılaştırılması-2.

Table 11. Comparison of GBinFSA and other heuristic algorithms according to the mean result-2.

ID	Optimum Değer	WOS	PSOS	BAS	CGMA	GHSOS	GBinFSA
P1	3924400	3924400	3924400	3924400	3924400	3924400	3924400
P2	3813669	3805921	3813669	3813669	3813669	3813669	3813669
P3	3347452	3347452	3347452	3347452	3347452	3347452	3347452
P4	4187707	4187707	4187707	4187707	4187707	4187707	4187707
P5	4955555	4955555	4955555	4955555	-	-	4955555
P6	5688887	5683266	5688887	5688887	5683266	5688887	5688887
P7	6498597	6494760	6498597	6498597	6494760	6498597	6498597
P8	5170626	5170626	5170626	5170626	5170626	5170626	5170626
P9	6992404	6992404	6992404	6992404	6992404	6992404	6992404
P10	5337472	5337472	5337472	5337472	-	5337472	5337472
P11	7850983	7832971	7850983	7850983	7831152.5	7850983	7850983
P12	9352998	9334569.85	9352998	9352998	334569.85	9352998	9352998
P13	9151147	9151147	9151147	9151147	9151147	9151147	9151147
P14	9348889	9336691	9348889	9347059.3	9345229.2	9348889	9348889
P15	7769117	7769117	7761876.6	7769117	7769117	7769117	7769117
P16	10727049	10727049	7071775.5	10727049	10727049	10727049	10719578
P17	9818261	9818261	9818261	9818261	9818261	9818261	9810604.9
P18	10714023	10707307.9	10714023	10713732.8	10712553.7	10714023	10710603.5
P19	8929156	8917460	925028	8929156	8918423.2	8929156	8916407.8
P20	9357969	9352636.4	9357969	9357969	9357922.38	9357456.18	9355785.9
P21	13549094	13513046.15	13549094	13549094	13538097.1	13546441.04	13495940.2
P22	12233713	12233713	12233713	12233713	12233713	12233713	12206625
P23	12448780	12448780	12448780	12448780	12448618.3	12448780	12406009.9
P24	11815315	11810051	11810840.6	11811103.8	11808614.9	11815209.72	11788983.1
P25	13940099	13931016.65	13940099	13940099	13940099	13940099	13903803.3

Tablo 12. GBinFSA ile sezgisel diğer algoritmaların PDev(%) sonucuna göre karşılaştırılması-2.
Table 12. Comparison of GBinFSA and other heuristic algorithms according to the PDev(%) result-2.

ID	Optimum Değer	WOS PDev(%)	PSOS PDev(%)	BAS PDev(%)	CGMA PDev(%)	GHSOS PDev(%)	GBinFSA PDev(%)
P1	3924400	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P2	3813669	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P3	3347452	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P4	4187707	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P5	4955555	0.00	0.00	0.00	-	-	0.00
P6	5688887	0.10	0.00	0.00	0.10	0.00	0.00
P7	6498597	0.06	0.00	0.00	0.06	0.00	0.00
P8	5170626	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P9	6992404	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P11	7850983	0.23	0.00	0.00	0.25	0.00	0.00
P12	9352998	0.20	0.00	0.00	96.42	0.00	0.00
P13	9151147	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P14	9348889	0.13	0.00	0.02	0.04	0.00	0.00
P15	7769117	0.00	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00
P16	10727049	0.00	34.08	0.00	0.00	0.00	0.07
P17	9818261	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.08
P18	10714023	0.06	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00
P19	8929156	0.13	89.64	0.00	0.12	0.00	0.14
P20	9357969	0.06	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00
P21	13549094	0.27	0.00	0.00	0.08	0.02	0.39
P22	12233713	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.22
P23	12448780	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.34
P24	11815315	0.04	0.04	0.04	0.06	0.00	0.22
P25	13940099	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.26

Sonuçlar göstermiştir ki transfer fonksiyonları optimum sonuçların elde edilmesinde yeterli başarıyı gösterememiştir. Bu yüzden bu çalışmada en başarılı BinFSA6 varyasyonu geliştirilerek GBinFSA önerilmiştir. GBinFSA, çaprazlama ve mutasyon operatörleri ile geliştirilmiştir. GBinFSA test sonuçları çeşitli literatürden seçilen sezgisel algoritmalarla karşılaştırılmıştır.

Sonuçlar göstermiştir ki GBinFSA düşük ve orta ölçekli 15 sırt çantası probleminde optimum sonuçları elde ederken 10 tane geniş ölçekli sırt çantası probleminde optimum sonuçları elde edememiştir. Sonuçlara göre GBinFSA literatürde ayrık optimizasyon problemleri için tercih edilebilir ölçüde başarı göstermiştir. Fakat geniş ölçekli optimizasyon problemleri için hala geliştirilmesi gerekmektedir. İlerleyen çalışmalarda geniş ölçekli ayrık optimizasyon problemlerinde BinFSA'nın başarısını arttırmak için yeni metotlar ve transfer fonksiyonları geliştirilmesi planlanmaktadır.

7 Conclusions

In this paper, a recently proposed swarm-based meta-heuristic algorithm for global optimization problems, called the Rat Swarm Algorithm (RSA), is examined. The Rat Swarm Algorithm (RSA) is inspired by the chasing and attacking behaviors of rats. In the paper where RSA was first proposed, the success of RSA was tested on low-dimensional continuous optimization problems. As a result of the literature review, it has been determined that an updated version of the RSA algorithm has not yet been proposed for different optimization problems, except for continuous optimization problems. In this paper, the success of the RSA algorithm on binary optimization problems, which is one of the discrete optimization problem types, is tested. Transfer functions are used to convert continuous search space values to binary values. In this study,

four U-shaped and four T-shaped transfer functions are selected for this transformation process. Thus, Binary RSA (BinRSA) variations (BinRSA1, BinRSA2, BinRSA3, BinRSA4, BinRSA5, BinRSA6, BinRSA7 and BinRSA8) were obtained. A popular binary optimization problem, the knapsack problem, was chosen to test the success of the BinRSA variations. The BinRSA variations are shown in detail for their success in 25 different low, medium and large scale knapsack problems according to the best, mean, and PDev (percentage error rate to optimum values) criteria. According to the results, the most successful BinRSA variation was determined as BinRSA6. The results showed that the transfer functions did not show sufficient success in obtaining optimum results. Therefore, in this study, the most successful variant of BinRSA6 was developed and GBinRSA was proposed. GBinRSA is developed with crossover and mutation operators. GBinRSA test results were compared with heuristic algorithms selected from various literature. The results showed that GBinRSA achieved optimum results in 15 low- sized and medium-sized knapsack problems, but not in 10 large-scale knapsack problems. According to the results, GBinRSA has shown preferable success for discrete optimization problems in the literature. However, it still needs to be developed for large-scale optimization problems. In future studies, it is planned to develop new methods and transfer functions to increase the success of BinRSA in large-scale discrete optimization problems.

8 Yazar katkı beyanı

Gerçekleştirilen çalışmada Emine BAŞ fikrin oluşması, tasarımın yapılması, literatür taraması, edilen sonuçların değerlendirilmesi, kullanılan malzemelerin temin edilmesi, sonuçların incelenmesi, yazım denetimi ve içerik açısından makalenin kontrol edilmesi başlıklarında katkı sunmuşlardır.

9 Etik kurul onayı ve çıkar çatışması beyanı

Hazırlanan makalede etik kurul izni alınmasına gerek yoktur.

Hazırlanan makalede herhangi bir kişi/kurum ile çıkar çatışması bulunmamaktadır.

10 Kaynaklar

- [1] Hajipour V, Mehdizadeh E, Tavakkoli-Moghaddam R. "A novel Pareto-based multi-objective vibration-damping optimization algorithm to solve multi-objective optimization problems". *Scientia Iranica Transaction Industrial Engineering*, 21(6), 2368-2378, 2014.
- [2] Lim SM, Sulata AB, Sulaiman N, Mustapha A, Leong KY. "Crossover and mutation operators of genetic algorithms". *International Journal of Machine Learning and Computing*, 7(1), 9-12, 2017.
- [3] Patil VP, Pawar DD. "The optimal crossover or mutation rates in genetic algorithm: a review". *International Journal of Applied Engineering and Technology*, 5(3), 38-41, 2015.
- [4] Dhiman G, Garg M, Nager A, Kumar V, Dehghani M. "A novel algorithm for global optimization: rat swarm optimizer". *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, 12, 8457-8482, 2021.
- [5] He H, Zhanga F, Mirjalili S, Zhanga T. "Novel binary differential evolution algorithm based on Taper-shaped transfer functions for binary optimization problems". *Swarm and Evolutionary Computation*, 69(2022), 1-15, 2022.
- [6] Kulkarni AJ, Shabir H. "Solving 0-1 knapsack problem using cohort intelligence algorithm". *International Journal of Machine Learning and Cybernetics*, 7(2016), 427-441, 2016.
- [7] Bansal JC, Deep K. "A modified binary particle swarm optimization for knapsack problems". *Applied Mathematics and Computation*, 218(22), 11042-11061, 2012.
- [8] Eberhart R, Kennedy J. "Particle swarm optimization". *Proceedings of ICNN'95-International Conference on Neural Networks*, Perth, Australia, 27 November-1 December 1995.
- [9] Haklı H. "BinEHO: a new binary variant based on elephant herding optimization algorithm". *Neural Computing and Applications*, 32(2020), 16971-16991, 2020.
- [10] Donald L. Kreher's Personal Web Pages. "The Random Instances of Problem (0,1)". <https://pages.mtu.edu/~kreher/cages/Data.html> (01.03.2022).
- [11] Johny A. Ortega R. (Jao Ruiz)'s Personal Web Pages. "Instances of 0/1 Knapsack Problem". http://artemisa.unicauca.edu.co/~johnyortega/instance_s_01_KP/ (03.03.2022).
- [12] Kennedy J, Eberhart RC. "A discrete binary version of the particle swarm algorithm". *SMC 97 Conference Proceedings-1997 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics*, Orlando, USA, 12-15 October 1997.
- [13] Mirjalili S, Lewis A. "The whale optimization algorithm". *Advances in Engineering Software*, 95(2016), 51-67, 2016.
- [14] Yang XS. *A New Metaheuristic Bat-Inspired Algorithm*. Editors: González JR, Pelta DA, Cruz C, Terrazas G, Krasnogor N. Nature Inspired Cooperative Strategies for Optimization, 65-74, Berlin, Heidelberg, Springer, 2010.
- [15] Xiang WL, An MQ, Li YZ, He RC, Zhang JF. "A novel discrete global-best harmony search algorithm for solving 0-1 knapsack problems". *Discrete Dynamics in Nature and Society*, 2014, 1-12, 2014.
- [16] Wu H, Zhou Y, Luo Q. "The hybrid symbiotic organisms search algorithm for solving 0-1 knapsack problem". *International Journal of Bio-Inspired Computation*, 12(1), 23-53, 2018.
- [17] Zou DX, Gao LQ, Li S, Wu JH. "Solving 0-1 knapsack problem by a novel global harmony search algorithm". *Apply Soft Computing*, 11(2), 1556-1564, 2011.
- [18] Zhou Y, Li L, Ma M. "A complex-valued encoding bat algorithm for solving 0-1 knapsack problem". *Neural Processing Letters*, 44(2), 407-430, 2016.
- [19] Baş E, Ülker E. "A binary social spider algorithm for uncapacitated facility location problem". *Expert Systems with Applications*, 161(2020), 1-27, 2020.
- [20] Akyol S, Alatas B. "Plant intelligence based metaheuristic optimization algorithms". *Artificial Intelligence Review*, 47(2017), 417-462, 2017.
- [21] Alatas B, Bingol H. "Comparative assessment of light-based intelligent search and optimization algorithms". *Light & Engineering*, 28(6), 51-59, 2020.

Ek A

Ek A Tablo 1. BinFSA'nın sekiz farklı transfer fonksiyonuna göre en kötü sonuçları.

Appendix A Table 1. Worst results of BinFSA according to eight different transfer functions.

ID	BinFSA1	BinFSA 2	BinFSA 3	BinFSA4	BinFSA5	BinFSA 6	BinFSA 7	BinFSA8
P1	3203475	3307563	2864145	2864145	2864145	3397117	1707707	3052098
P2	3113645	2873650	2664583	2695616	3066592	3172140	1619423	3339201
P3	2369724	2582218	1825504	2192191	1899157	2836168	1500610	2682137
P4	3337547	2817888	3104109	2215287	3140563	3867512	1582223	3686523
P5	3910935	3632412	3274938	3106986	3910935	4217141	2623784	4206073
P6	4623460	3934487	4311991	3439017	4675219	4817696	1913672	3102042
P7	5416734	5417679	4251355	3900561	4515353	5582600	2473952	5299480
P8	4135415	4130312	3553496	3181628	3944074	4378172	1741455	3956501
P9	5807585	4535379	5554846	4291499	4711273	5801684	2225962	4321002
P10	3908892	4497401	3278492	3649034	4169119	4373670	2435911	4401554
P11	6385192	6339862	6337447	5195606	5874871	6825851	2627741	5830959
P12	6807638	7186488	6954537	5798981	7087130	7981367	3181249	8034992
P13	7645667	7638592	6466896	5101507	7305900	7441349	3895149	7651667
P14	8056271	7086274	6451376	5687010	7374204	8082691	3407932	7412603

Ek A Tablo 1. Devamı.

Appendix A Table 1. Continued.

ID	BinFSA1	BinFSA 2	BinFSA 3	BinFSA4	BinFSA5	BinFSA 6	BinFSA 7	BinFSA8
P15	6254243	6188760	5156863	4121521	5932697	6073463	3341123	5740696
P16	8659668	8028271	6997907	6007940	7548275	8739171	3110156	8906480
P17	8200788	8247472	6295414	6246408	7057121	8719825	3150732	8631192
P18	8514605	9017333	7586631	4839000	7814650	9091389	4279695	8976145
P19	7360213	6759768	6198870	4330343	6467146	7733499	3525309	7670276
P20	7398234	7575930	6826167	6357850	7418254	8039534	3387975	8170007
P21	10239069	10419901	9346889	7991876	10119211	11945534	3894509	11159768
P22	9724915	10239869	8570340	6973404	9561127	10913750	3932862	10883548
P23	10586916	8597376	7615188	7473686	9090034	11081205	3723275	10690430
P24	9866082	8901570	8227641	6292657	8566573	10181256	3834653	9992164
P25	11352151	11006336	9685600	7027283	9881866	11795969	4524639	11763646

Ek A Tablo 2. GBinFSA'nın en iyi ve en kötü test sonuçları.

Appendix A Table 2. Best and worst results of GBinFSA.

Problem	Optimum Değer	GBinFSA	
		En iyi	En kötü
Kp_8a	3924400	3924400	3924400
Kp_8b	3813669	3813669	3813669
Kp_8c	3347452	3347452	3347452
Kp_8d	4187707	4187707	4187707
Kp_8e	4955555	4955555	4955555
Kp_12a	5688887	5688887	5688887
Kp_12b	6498597	6498597	6498597
Kp_12c	5170626	5170626	5170626
Kp_12d	6992404	6992404	6992404
Kp_12e	5337472	5337472	5337472
Kp_16a	7850983	7850983	7850983
Kp_16b	9352998	9352998	9352998
Kp_16c	9151147	9151147	9151147
Kp_16d	9348889	9348889	9348889
Kp_16e	7769117	7769117	7769117
Kp_20a	10727049	10727049	10696244
Kp_20b	9818261	9818261	9790311
Kp_20c	10714023	10714023	10700635
Kp_20d	8929156	8929156	8873716
Kp_20e	9357969	9357969	9345847
Kp_24a	13549094	13549094	13437994
Kp_24b	12233713	12233713	12145301
Kp_24c	12448780	12448780	12356370
Kp_24d	11815315	11815315	11752549
Kp_24e	13940099	13923403.2	13084536.8