



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.org.tr/politeknik>



Kaynaklı kiriş tasarımı mühendislik problemi için kaotik çoklu-sürü parçacık sürü optimizasyonu

Chaotic multi-swarm particle swarm optimization for welded beam design engineering problem

Yazar(lar) (Author(s)): Shahad Odah Feneaker FENEAKER¹, Kemal AKYOL²

ORCID¹: 0000-0002-3094-3523

ORCID²: 0000-0002-2272-5243

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz(To cite to this article): Feneaker S.O.F. ve Akyol K., "Kaynaklı kiriş tasarımı mühendislik problemi için kaotik çoklu-sürü parçacık sürü optimizasyonu", *Politeknik Dergisi*, 25(4): 1645-1660, (2022).

Erişim linki (To link to this article): <http://dergipark.org.tr/politeknik/archive>

DOI: 10.2339/politeknik.880994

Kaynaklı Kiriş Tasarımı Mühendislik Problemi İçin Kaotik Çoklu-sürü Parçacık Sürü Optimizasyonu

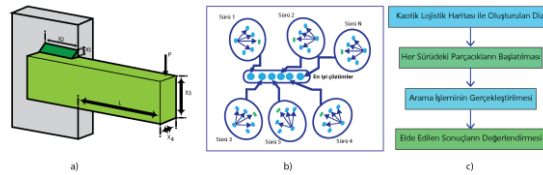
Chaotic Multi-swarm Particle Swarm Optimization for Welded Beam Design Engineering Problem

Önemli noktalar (Highlights)

- ❖ Kaynaklı kiriş tasarımı problemi / Welded beam design problem
- ❖ Kaotik lojistik haritanın kullanımı / Use of chaotic logistic map
- ❖ Toplantı odası yaklaşımı / Meeting room approach
- ❖ Kaotik çoklu-sürü parçacık sürü optimizasyonu / Chaotic multi-swarm particle swarm optimization
- ❖ Gürbüz ve az maliyetli bir çözüm / A robust and cost-effective solution

Grafik Özet (Graphical Abstract)

Bu çalışma, kaynaklı kiriş tasarımı probleminin çözümü için kaotik çoklu-sürü parçacık sürü optimizasyonu algoritmasını uygular ve oldukça başarılı bir çözüm sunar. / This study applies the chaotic multi-swarm particle swarm optimization algorithm to the welded beam design problem and offers a very successful solution.



Şekil. a) Kaynaklı kiriş tasarımı **b)** Toplantı odası yaklaşımının yapısı **c)** Kaynaklı kiriş tasarımı problemi için işlem adımları / **Figure. a)** Welded beam design **b)** The structure of meeting room approach **c)** Process steps for the welded beam design problem

Amaç (Aim)

Bu çalışmada amaç, kaynaklı kiriş tasarımı problemi için kaotik çoklu-sürü parçacık sürü optimizasyonunun performansını değerlendirmektir. / The aim of this study is to evaluate the performance of chaotic multi-swarm particle swarm optimization for the welded beam design problem.

Tasarım ve Yöntem (Design & Methodology)

Bu çalışma; kaotik çoklu-sürü parçacık sürü optimizasyonu işlem adımlarını, uygulamasını, deneylerini ve değerlendirmesini içerir. / This study includes chaotic multi-swarm particle swarm optimization process steps, implementation, experiments, and evaluation.

Özgünlük (Originality)

Kaotik çoklu sürü parçacık sürü optimizasyonunu uygular ve performansını diğer optimizasyon algoritmaları ile karşılaştırır. / Implements chaotic multi-swarm particle swarm optimization and compares its performance with other optimization algorithms.

Bulgular (Findings)

Bu çalışmada önerilen algoritma 1.7292 hesaplama maliyeti ile diğer algoritmalarla kıyasla en iyi performansı sunmuştur. / The algorithm proposed in this study offered the best performance with a computational cost of 1.7292 compared to other algorithms.

Sonuç (Conclusion)

Deneyisel çalışmalarda kullanılan diğer optimizasyon algoritmaları ile karşılaştırıldığında kaotik çoklu sürü parçacık sürü optimizasyonu gürbüz ve az maliyetlidir. / Compared to other optimization algorithms used in experimental studies, chaotic multi-particle swarm optimization is robust and cost-effective.

Etik Standartların Beyanı (Declaration of Ethical Standards)

Bu makalenin yazarları çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler. / The authors of this article declare that the materials and methods used in this study do not require ethical committee permission and/or legal-special permission.

Kaynaklı Kiriş Tasarımı Mühendislik Problemi İçin Kaotik Çoklu-sürü Parçacık Sürü Optimizasyonu

Araştırma Makalesi / Research Article

Shahad Odah Feneaker FENEAKER¹, Kemal AKYOL^{2*}

¹Irak Başbakanlığı, Sünni Vakıf Divanı, Bağdat, Irak.

²Kastamonu Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği, Kastamonu, Türkiye.

(Geliş/Received : 15.02.2021 ; Kabul/Accepted : 26.07.2021 ; Erken Görünüm/Early View : 09.08.2021)

ÖZ

Tasarım optimizasyonu önemli bir mühendislik tasarım etkinliğidir. Genel olarak, tasarım optimizasyonu belirli kısıtlar altında amaç fonksiyonunu optimize edecek şekilde tasarım değişkenleri için gerekli değerleri belirler. Parçacık sürü optimizasyonu algoritması, yerel arama ve küresel arama arasında dengesizlik yaşar. Toplantı Odası yaklaşımı, Parçacık Sürü Optimizasyon algoritmasını iyileştirmek için çok sürümlü bir model olarak öne sürülmüştür. Ancak, Çoklu-sürü Parçacık Sürü Optimizasyonu algoritması iyi bir pozisyonundan başlamayabilir. Bu sebeple algoritma yavaş bir yakınsamaya sahip olabilir. Kaotik lojistik haritası ile oluşturulan bir pozisyon kullanılarak bu sorun aşılabilmektedir. Bir mühendislik problemi olan Kaynaklı Kiriş Tasarımı temel olarak, yüklemeye yükü, kayma gerilmesi, eğilme gerilmesi ve son sapma üzerindeki kısıtlamalara bağlı olarak kiriş maliyetinin en aza indirilmesini amaçlar. Bu çalışmada amaç, bu problemin çözümünde Kaotik çoklu-sürü parçacık sürü optimizasyonu algoritmasının performansını değerlendirmektir. Bu çerçevede, farklı sürü boyutları ve yineleme sayıları ile deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, Kaotik Çoklu-sürü Parçacık Sürü Optimizasyonu algoritması diğer iyi bilinen algoritmalara kıyasla iyi bir çözüm sunmuştur.

Anahtar Kelimeler: Kaynaklı kiriş tasarımı, optimizasyon, kaotik çoklu-sürü parçacık sürü optimizasyonu.

Chaotic Multi-swarm Particle Swarm Optimization for Welded Beam Design Engineering Problem

ABSTRACT

Design optimization is an important engineering design activity. In general, design optimization determines the necessary values for the design variables so as to optimize the objective function under certain constraints. Particle swarm optimization algorithm experiences unbalanced between local search and global search. Meeting room approach was introduced as a multi-swarm model to improve the Particle Swarm Optimization algorithm. However, Multiple Swarm Particle Swarm Optimization algorithm may not start with a good position. Therefore, the algorithm may have a slow convergence. This problem can be overcome by using a position created with a chaotic logistics map. Welded Beam Design, which is an engineering problem, mainly aims to minimize the beam cost due to constraints on loading load, shear stress, bending stress and final deflection. The aim of this study is to evaluate the performance of the Chaotic Multiple-swarm Particle Swarm Optimization algorithm in solving this problem. In this context, experimental studies were carried out with different swarm sizes and iteration numbers. According to the results obtained, the Chaotic Multi-swarm Particle Swarm Optimization algorithm offers a good solution compared to other well-known algorithms.

Keywords: Welded beam design, optimization, chaotic multi-swarm particle swarm optimization.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Hesaplamalı bir bilim dalı olarak optimizasyon, temel olarak herhangi bir soruna mümkün olan en iyi çözümleri üretmenin olası yollarını ele alır [1,2] ve bu çözümler eldeki probleme dayalı sayısal değerler olarak gösterilebilir. Bu nedenle, optimizasyon işlemlerinin amacı, bir problem için mevcut olan çok sayıda çözümden en iyi çözümü sunmaktır.

Optimumu ararken arama süreci bir optimizasyon problemi [3,4] olarak temsil edilebilirken bazı bilgisayar ve mühendislik uygulamalarında genellikle bir probleme

özgü bir amaç fonksiyon ile en uygun çözüm sunularak bu süreç azaltılabilir [5].

Bu çalışmada önerilen yaklaşımın temeli olan Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO) algoritması, kuşların ve balıkların avlanmasından veya yaşama davranışından ilham alınarak geliştirilmiştir [6]. PSO, çeşitli karmaşık optimizasyon problemlerini çözmeye oldukça yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. İlk ortaya çıkışından bu yana farklı PSO algoritmaları geliştirilmiştir. PSO'nun arama ve kullanma yetenekleri arasında bir denge sağlamak en iyi performans için gereklidir ve bu nedenle Salih ve Alsewari, Toplantı Odası (TO) yaklaşımını çoklu-sürü yaklaşımı olarak kullanmıştır. Çalışmalarında, yazarlar, Çoklu-sürü Parçacık Sürü Optimizasyonunu (ÇSPSO) önermiş ve bu algoritmanın hem büyük ölçekli hem de

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)
e-posta : kakyol@kastamonu.edu.tr

normal optimizasyon problemlerindeki performansını değerlendirmişlerdir [7].

Değişkenlerin tasarım aşamasında ele alınması çoğu zaman bir sorundur ve çoğu geleneksel optimizasyon algoritmasının bir kısıtlaması olarak süreksiz ve farklılaşamayan problemleri başarılı bir şekilde çözemezler. Bu nedenle, süreksiz ve farklılaşamayan problemleri çözmek için meta-sezgisel algoritmalar yaygın olarak kullanılmaktadır [8,9].

Optimizasyon yöntemleri birçok uygulamada, özellikle bilgisayar mühendisliği alanında oldukça önemli bir yere sahiptir. Evrimsel algoritmalar karmaşık optimizasyon problemlerini ele almak için geliştirilmiştir. PSO, Genetik Algoritma ve Ateş Böceği Algoritması gibi çeşitli evrimsel algoritmalar çoğunlukla çeşitli optimizasyon problemlerini çözmek için kullanılmaktadır. Yalnızca bir parametrenin optimizasyonunu gerektiren optimizasyon problemleri tek fonksiyonlu optimizasyon problemi, birden fazla değişkenin optimize edilmesini gerektiren problemler çok amaçlı optimizasyon problemi olarak ele alınır [10,11].

Bilim ve mühendislik alanında karşılaşılan problemlerin çoğu birkaç doğrusal ve/veya doğrusal olmayan kısıtlamalar içerdikleri için karmaşık ve doğrusal olmayan optimizasyon problemleridir. Bu nedenle, nesnel işlevi optimize ederken bu gibi kısıtlamaları çözebilecek optimizasyon algoritmaları geliştirmeye ihtiyaç vardır. Bir optimizasyon problemi olan Kaynaklı Kiriş Tasarımı (KKT) problemi temel olarak, yüklemeye yükü, kayma gerilmesi, eğilme gerilmesi ve son sapma üzerindeki kısıtlamalara bağlı olarak kiriş maliyetinin en aza indirilmesini amaçlar. Bununla birlikte, kiriş kalınlığı, kiriş genişliği, kaynak uzunluğu ve kaynak kalınlığı değişkenleri sürekli tasarım değişkenleridir. Bu değişkenler için en uygun değerlerinin elde edilmesi kısıtlı bir optimizasyon problemi olarak karşımıza çıkmaktadır [12,13].

Bu problemin çözümü için yapılmış çalışmalardan bazıları şu şekildedir: Coello, evrimsel algoritmalar kullanarak kısıtlamaları ele almış ve belirtilen KKT problemini çözmek için çok hedefli bir optimizasyon kullanmıştır [14]. Ray ve Liew, KKT problemini çözmek için sosyal davranışa dayalı yeni bir optimizasyon algoritması önermişlerdir [15]. He ve arkadaşları, optimizasyon problemlerinin özellikle KKT problemi ve diğer makine mühendisliği problemlerinin kısıtlarını ele almak için iyileştirilmiş bir PSO sürümü önermişlerdir. Önerilen PSO sürümü, çok değişkenli doğrusal olmayan optimizasyon problemleri üzerinde doğrulanmış ve standart PSO'ya kıyasla daha etkin bir performans göstermiştir [16]. Mezura-Montes ve Coello, KKT gibi optimizasyon problemlerini çözmek için farklı evrim stratejileri arasında bir karşılaştırma çalışması sunmuşlardır [17]. Savsani, KKT problemi için Yapay Arılar Kolonisi algoritmasının yakınsama hızı iyileştirilmiş bir versiyonunu önermiştir [18]. Mirjalili ve arkadaşları KKT gibi mühendislik problemlerini çözmek

için gri kurtlardan esinlenen Gri Kurt algoritmasını önermiştir. Bu algoritma, liderlik hiyerarşisini ve gri kurt avlanma mekanizmasını taklit eder [19].

Bu çalışmada, KKT probleminde Kaotik Çoklu-sürü Parçacık Sürü Optimizasyonu (KÇSPSO)'nun uygulanabilirliği araştırılmış ve en düşük işletme maliyetinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu çerçevede, deneysel çalışmalarda KÇSPSO algoritmasının performansı incelenmiş ve diğer optimizasyon algoritmaları ile karşılaştırılmıştır.

Bu çalışmanın devamı şu şekilde organize edilmiştir. Bölüm 2, Parçacık Sürü Optimizasyonu ve Çoklu-sürü Parçacık Sürü Optimizasyonu hakkında kısa bilgiler sunar. Bölüm 3, Kaynaklı Kiriş Tasarımı problemine ve bu problemi çözmek için önerilen KÇSPSO algoritmasının metodolojisini, tasarımını ve uygulamasını ele alır. Bölüm 4, önerilen algoritma ile elde edilen sonuçları sunar ve literatürdeki diğer çalışmalar ile bir karşılaştırmasını ele alır. Son olarak, Bölüm 5, çalışmayı son açıklamalarla sonuçlandırır.

2. METOD (METHOD)

Uzun yıllar boyunca karmaşık mühendislik problemlerini çözmek için birçok optimizasyon algoritması önerilmiştir. Doğa, bu tür algoritmalar için daima esin kaynağı olmuştur. Bu algoritmaların birçoğu doğadaki canlıların akıllı davranışlarından esinlenerek yazılmıştır. PSO, makine çizelgesi problemi, dökümde süreç parametre optimizasyonu, makine toleransı, eşzamanlı optimizasyon ve dişli çarkının optimum ağırlık tasarımı gibi mekanik alanda farklı çözümleri optimize etmede başarıyla kullanılmıştır [18].

PSO, Eberhart ve Kennedy tarafından 1995 yılında önerilen popülasyona bağlı stokastik optimizasyon tekniğidir. Balık sürüleri ve kuş sürüleri de dâhil olmak üzere mikro organizmaların sosyal davranışlarından ilham almış olan bu teknikte, hız; bir parçacığın konumundaki bir değişiklik olarak bilinir. Bu parçacıklar zamanla konumlarını değiştirirler. Uçuş sırasında parçacıkların hızı etrafına ve önceki en iyi yerel çözümüne doğru rastgele hızlandırılır [20–22]. PSO, kuş sürüsü davranışını simüle eder. Örneğin, bir kümes hayvanının stokastik olarak yiyecekleri aradığı bir lokasyonda keşfedilmesi gereken sadece bir yiyecek türü vardır. Bu yüzden yiyecek aramak için en etkili yöntem, yiyeceğe en yakın kuşları izlemektir. PSO, bu örnekten yola çıkarak optimizasyon zorluklarını çözmeye kullanılır. PSO'daki kuş, arama alanındaki her bir çözümü temsil eder ve "Parçacık" olarak adlandırılır [23]. Her parçacık, uygunluk optimizasyonu rolü ile incelenen uygunluk değerine ve parçacığın uçuşunu yönlendiren hıza sahiptir. Bir parçacık, en son en iyi parçacıkları takip eder. PSO, rastgele ayarlanan çözümler ile başlatılır ve daha sonra en iyisini arar. Herhangi bir yinelemede parçacıklar bu iki "optimal" değer ile yükseltilir. O ana kadar elde edilen ve **Pbest** adı verilen en iyi uygunluk değerleri korunur. Parçacık sürü optimizasyonunun izlediği diğer "en iyi" değerler

popülasyon içindeki herhangi bir parçacıkta türetilmiş en iyi değerlerdir. Bir parçacık topolojik komşularını popülasyonları olarak tuttuğunda bu en iyi değerler en iyisi olarak bilinen yerel değerlerdir. En iyi iki değeri aradıktan sonra bu parçacıklar (1) ve (2) eşitliklerini kullanarak konumlarını ve hızlarını günceller [20,24]:

$$v_i(t+1) = v_i(t) + r_1 c_1 (P_i - x_i(t)) + r_2 c_2 (P_g - x_i(t)) \quad (1)$$

$$x_i(t+1) = x_i(t) + v_i(t) \quad (2)$$

Burada, $v(t+1)$ yeni parçacık hızıdır, $x_i(t)$ mevcut parçacıktır (çözüm), $pbest$ ve $gbest$, $rand_1$ ve $rand_2$ olarak tanımlanan (0, 1) arasındaki rasgele sayılardır. c_1 ve c_2 öğrenme faktörleridir.

$$w^{Ln} = \left(\frac{w^{Lg} - w^{Ln}}{itr} \right) \times rand() \quad (4)$$

$$v_i^{Ln}(t+1) = w^{Ln} \times v_i^{Ln}(t) + rc (P_g^L - P_n^L(t)) \quad (5)$$

$$x_i^{Ln}(t+1) = x_i^{Ln}(t) + v_i^{Ln}(t) \quad (6)$$

2.1. Çoklu-sürü Parçacık Sürü Optimizasyonu (Multi-swarm Particle Swarm Optimization)

Çoklu kümelenemenin temel fikri çözüm ararken birkaç grup arasındaki etkileşimdir. ÇSPSO şeması birkaç kümeden oluşur ve her bir küme grup üyelerini temsil eden birkaç çözümden oluşur. En iyi üye, bir sürünün lideri olarak belirlenir. Lider, sürünün üyelerini zaman veya nereye gidileceği açısından kontrol eder [7,23].

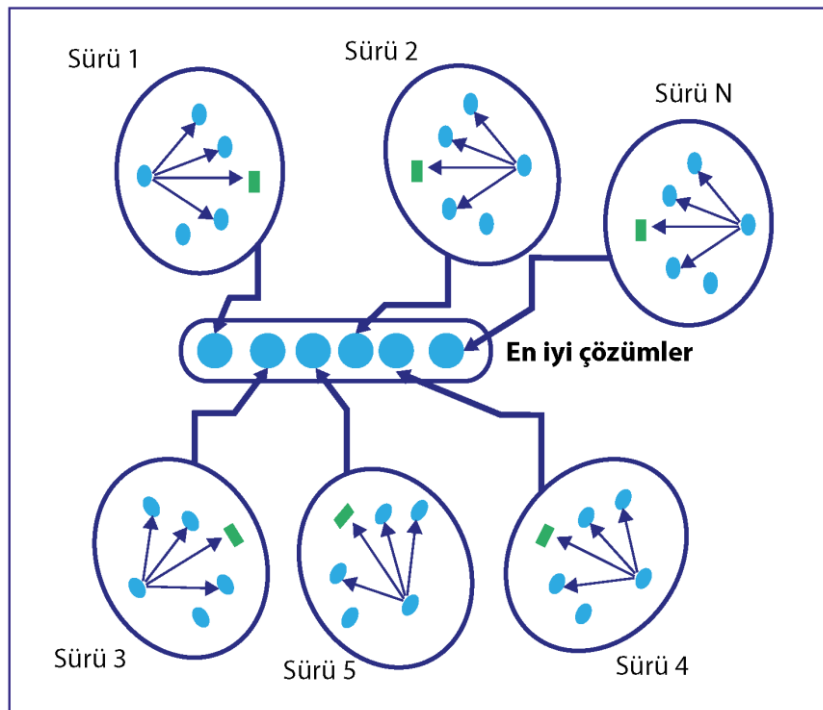
ÇSPSO, aynı anda tek bir sürü yerine en iyi çözüm için arama alanında arama yapar. ÇSPSO çeşitli normal ve büyük ölçekli problemlere dayanarak değerlendirilmiş ve bu yaklaşımın standart PSO algoritmasına göre daha iyi olduğu kanıtlanmıştır [23].

Her nesilde liderler genel olarak en iyi liderin kendi konum bilgisine dayanarak diğer liderlerin pozisyonlarını güncellediği bir odada buluşur. Bu bilgi paylaşımı davranışı keşif aşamasını PSO'nun keşif aşaması ile dengelemeye yardımcı olur. Bu çok alanlı yaklaşım TO yaklaşımı olarak adlandırılır. PSO tabanlı

TO modeli Şekil 1'de gösterilmiştir. Bu şekilde her bir küme konumsal ve hız güncellemesinin yanı sıra yeni yerel popülasyon nesnesini içeren tek bir PSO araması gerçekleştirir. Tüm kümeler için yeni nesiller kuran her

küme liderini toplantı odasına "en iyi çözüm" olarak gönderir. Toplantı odasındaki tüm liderler arasında en iyisi genel olarak en iyi lider olarak seçilir. Yeni en iyi lider konum bilgisini (4), (5) ve (6) eşitliklerini kullanarak diğer liderlerle paylaşır [7] :

Burada, Ln normal liderleri temsil eder, Lg genel olarak en iyi lideri temsil eder, x_i^L normal liderin konumunu temsil eder, v_i^{Ln} normal liderin hızını gösterir, w^{Lg} ve w^{Ln} sırasıyla en iyi liderin ve normal liderin atalet ağırlığını temsil eder. Her jenerayondan sonra üyelerin pozisyonlarındaki değişikliklerden dolayı her bir sürü için yeni bir lider seçilir. ÇSPSO, TO yaklaşımını PSO'nun davranışına uygular.



Şekil 1. Toplantı odası yaklaşımının yapısı (The structure of meeting room approach) [7].

2.2. Kaotik Çoklu-sürü Parçacık Sürü Optimizasyonu (Chaotic Multi-swarm Particle Swarm Optimization)

ÇSPSO, her ne kadar normal ve büyük ölçekli optimizasyon problemlerini çözmek için test edilmiş olsa da her bir kümedeki parçacıkların başlangıç aşamasında kullanılan homojen dağılım denklemi nedeniyle yerel optimumda sıkışma ihtimali vardır. İlk aşamada her bir kümedeki her bir parçacık eşit dağılım denklemi kullanılarak başlatılır. Bu nedenle, parçacıklar arama alanını azaltan farklı bir başlangıç konumuna sahip olmayabilir. Bu çalışmanın odak noktası, kaotik lojistik haritası ile oluşturulan bir pozisyon kullanarak ÇSPSO algoritmasının başlangıç aşamasını daha iyi bir noktaya getirmektir. Lojistik harita, biyolojik popülasyonların sözde rastgele sayı üreticinin ve şifreleme uygulamalarının kullanımını doğrulamak için belirli bir matematiksel formül ile temsil edilen tek bir bileşen üzerine inşa edilmiş iyi bilinen bir kaotik haritadır. Ayrıca, lojistik haritanın sağladığı matematiksel basitlik onu kaos teorisindeki yeni kavramların yanı sıra veri güvenliğinde sınamak için önemli bir yöntem haline getirmiştir. Basitleştirilmiş matematiksel formül Eşitlik 7'de görülmektedir [25,26]:

$$X_{i+1} = \mu X_i (1 - X_i), \quad (7)$$

Burada, $X_i \in (0, 1)$, $X_0 \in (0, 1)$, $\mu \in (3,999 - 4)$ ve $i \geq 0$ dır.

Lyapunov karakteristik üssü bir lojistik haritadaki kaotik yörüngeyi doğrulamakta önemli olan pozitif bir değer elde ettikten sonra kaos ve yörüngesel sapmayı tanımlayan sayısal bir yöntemdir. $x_{n+1} = f(x_n)$ için Lyapunov üssü, λ (8) eşitliğindeki gibi tanımlanır [27]:

$$\lambda = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{n} \sum_{i=0}^{n-1} \ln |f'(x_n)| \quad (8)$$

3. DENEYSSEL ÇALIŞMALAR (EXPERIMENTAL STUDIES)

3.1. Kaynaklı Kiriş Tasarımı (Welded Beam Design)

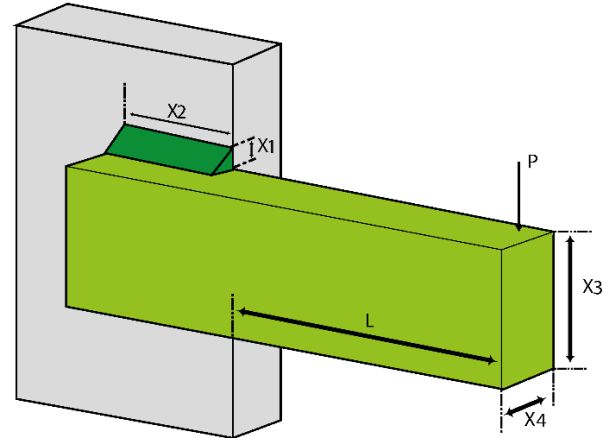
Kaynak, metalik parçaların basınç uygulanarak veya uygulanmadan uygun bir sıcaklıkta birleştirilmesi işlemi olarak tanımlanabilir. Kaynak, metal parçaların kalıcı bir birleşimini elde etmenin ekonomik ve verimli bir yöntemidir. Kaynak işlemi genel olarak iki kategoride ele alınır:

1. İki parçayı birleştirmek için yalnız ısı kullanan kaynak işlemi.
2. İki parçayı birleştirmek için ısı ve basınç kombinasyonunu kullanan kaynak işlemi.

Bunun yanı sıra, kaynaklı bağlantıların iki farklı uygulaması vardır:

1. Kaynak yapılmış bir bağlantı, perçinlenmiş bağlantı yerine kullanılabilir.
2. Kaynaklanmış bir yapı, döküm veya dövme için alternatif bir yöntem olarak kullanılabilir.

Sadece ısı kullanan kaynak işlemine füzyon kaynak işlemi denir. Bu yöntemde birleştirilecek parçalar yerinde tutulur ve erimiş metal bağlantıya verilir. Erimiş metal, parent metal olarak adlandırılan parçalar veya ek yerine verilen dış dolgu metali olabilir. İki parçanın birleştirme yüzeyi plastik hale gelir veya ısı etkisi altında eritilir. Eklem sertleştiğinde iki parça tek bir üniteye birleşir. Bir kiriş, uzunlamasına ve genişlemesine uygulanan ve üyenin bükülmesine neden olan yüke maruz kalmış bir elemandır. Kirişler sıklıkla desteklere veya reaksiyonlara göre sınıflandırılır. Uçlardaki pimler, makaralar veya pürüzsüz yüzeyler tarafından desteklenen kirişe basit kiriş denir. Bir kiriş sert bir elemana kaynaklanır. Kaynaklanmış kiriş çelikten oluşur ve 6000 pound-kuvveti destekler. Kirişin boyutları sistem maliyetini minimize edecek şekilde seçilmelidir [12,13,19,28].



Şekil 2. Kaynaklı kiriş tasarımı (Welded beam design)

Şekil 2, kaynaklı kiriş tasarımında bulunan bir kiriş kaynaklanmış sert bir elemanı göstermektedir. Üyenin sonuna bir yük uygulanır. Kiriş, kaynak ve eleman boyutları değiştirerek minimum maliyet için optimize edilecektir. Bu parametreler, $X = (x_1, x_2, x_3, x_4)$, kayma gerilmesinin sınırlarını, eğilme gerilmesini, burkulma yükünü ve uç sapmasını içerir. Burada amaç, kaynaklı kiriş tasarım probleminin maliyetini en aza indirmektir. Bu çerçevede, temel olarak kaynak işçiliği ve malzeme maliyetini içeren toplam imalat maliyeti olan $f(x)$ amaç fonksiyonunun matematiksel formülasyonu (9) eşitliğindeki gibi olup kısıtlar (10) ve (16) arasında verilmiştir [16].

$$\text{Min } f(x) = 1.10471x_1^2x_2 + 0.04811x_3x_4(14.0 + x_2) \quad (9)$$

$$g_1(x) = \tau(x) - \tau_{max} \leq 0 \quad (10)$$

$$g_2(x) = \sigma(x) - \sigma_{max} \leq 0 \quad (11)$$

$$g_3(x) = x_1 - x_4 \leq 0 \quad (12)$$

$$g_4(x) = 0.10471x_1^2 + 0.04811x_3x_4(14.0 + x_2) - 5.0 \leq 0 \quad (13)$$

$$g_5(x) = 0.125 - x_1 \leq 0 \quad (14)$$

$$g_6(x) = \delta(x) - \delta_{max} \leq 0 \quad (15)$$

$$g_7(x) = P - P_c(x) \leq 0 \quad (16)$$

Bu kısıtlar için gerekli parametreler (17) ve (26) eşitlikleri arasında verilmiştir.

$$\tau(x) = \sqrt{(\tau')^2 + 2\tau'\tau''\frac{x_2}{2R} + (\tau'')^2} \quad (17)$$

$$\tau' = \frac{P}{\sqrt{2}x_1x_2} \quad (18)$$

$$\tau'' = \frac{MR}{J} \quad (19)$$

$$M = P(L + \frac{x_2}{2}) \quad (20)$$

$$R = \sqrt{\frac{x_2^2}{4} + (\frac{x_1+x_3}{2})^2} \quad (21)$$

$$J = 2(\sqrt{2}x_1x_2[\frac{x_2^2}{12} + (\frac{x_1+x_3}{2})^2]) \quad (22)$$

$$\sigma(x) = \frac{6PL}{x_4x_3^2} \quad (23)$$

$$\delta(x) = \frac{4PL^3}{Ex_3^3x_4} \quad (24)$$

$$P_c(x) = \frac{4.013\sqrt{(EGx_3^2x_4^6)/36}}{L^2} \left(1 - \frac{x_3}{2L}\sqrt{\frac{E}{4G}}\right) \quad (25)$$

$$P(x) = 6000x_2x_4 \quad (26)$$

Burada, $L=14$ inç, $E = 30 \times 10^6$ psi, $G = 12 \times 10^6$ psi, $\delta_{max} = 0.25$ inç, $\tau_{max} = 13600$ psi, $\sigma_{max} = 30000$ psi'dir. 13600 katsayısı tasarımın kesme gerilmesi $\tau(\max)$ değerini, 30000 katsayısı tasarımın kiriş malzemesinin normal gerilme $\sigma(\max)$ değerini, 0.25 katsayısı Maksimum sapma $\delta(\max)$ değerini göstermektedir. Değişkenlerin birinci sınır aralığı ise $0.1 \leq x_1 \leq 2$, ikinci ve üçüncü sınır aralığı ise $0.1 \leq x_2, x_3 \leq 10$, dördüncü değişken aralığı ise $0.1 \leq x_4 \leq 2$ 'dir. İlk kısıtlama g1, geliştirilen maksimum kesme gerilmesinin kaynak malzemesinin emniyetli kesme gerilmesinden daha az olmasını sağlar. İkinci kısıtlama g2, geliştirilen maksimum normal gerilmenin kirişte emniyetli normal gerilmeden daha düşük olup olmağını kontrol eder. Üçüncü kısıtlama g3, kiriş kalınlığının kaynağından daha yüksek olmasını sağlar. Dördüncü ve beşinci kısıtlar, g4 ve g5, negatif uzunlukları veya kalınlıkları önlemek için kullanılır. Altıncı kısıtlama g6, kiriş üzerindeki yükün emniyetli burkma yükünden daha büyük olmamasını sağlar. Yedinci kısıtlama g7, kaynak kalınlığının belirli bir minimumun üstünde olup olmadığını kontrol eder [29]. Burada, M, kiriş sapmasını, P, kiriş üzerindeki kuvveti, J kirişteki bükülme gerilimini, P_c çubuk üzerindeki burkulma yükünü temsil etmektedir [30].

3.2. Kaynaklı Kiriş Tasarımı Problemi İçin Önerilen Yaklaşım (Proposed Approach for Welded Beam Design Problem)

Bu çalışma; kaotik çoklu-sürü parçacık sürü optimizasyonu işlem adımlarını, uygulamasını, deneylerini ve değerlendirmesini içerir. Önerilen algoritmanın genel çerçevesi Şekil 3'te verilmiştir. Buna göre, birinci aşamada, kaotik lojistik harita kullanılarak

bir başlangıç dizisi üretilir. İkinci aşamada, tüm parçacıklar üretilen kaotik diziyeye göre başlatılır. Üçüncü aşamada parçacıklar daha iyi çözümler bulmak için arama işlemine başlar. Son bileşen olan dördüncü aşama, her bir parçacığın nesnel işlev açısından değerlendirilmesi ile ilgilidir.



Şekil 3. Kaynaklı kiriş tasarımı problemi için yürütülen Kaotik Çoklu-sürü Parçacık Sürü Optimizasyonu adımları (Chaotic multi-swarm particle swarm optimization steps for the welded beam design problem).

3.3. Deneysel Sonuçlar ve Tartışma (Experimental Results and Discussion)

KKT probleminde en uygun tasarım parametrelerini bulmak için önerilen algoritma farklı sürü boyutları ve yineleme sayıları ile gerçekleştirilen testlere dayanarak değerlendirilmiş ve tartışılmıştır. KKT probleminin çözümü için önerilen KÇSPSO yaklaşımı ve diğer algoritmalar ile yürütülen deneysel çalışmalar 64 bit mimariye sahip Windows 7 işletim sistemi ve Intel 2.4 GHz işlemci ve 8GB RAM donanım özelliklerine sahip

bir bilgisayarda Matlab 2016b kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

KKT problemi için önerilen KÇSPSO'nun performansı aşağıdaki adımlar çerçevesinde değerlendirilmiştir.

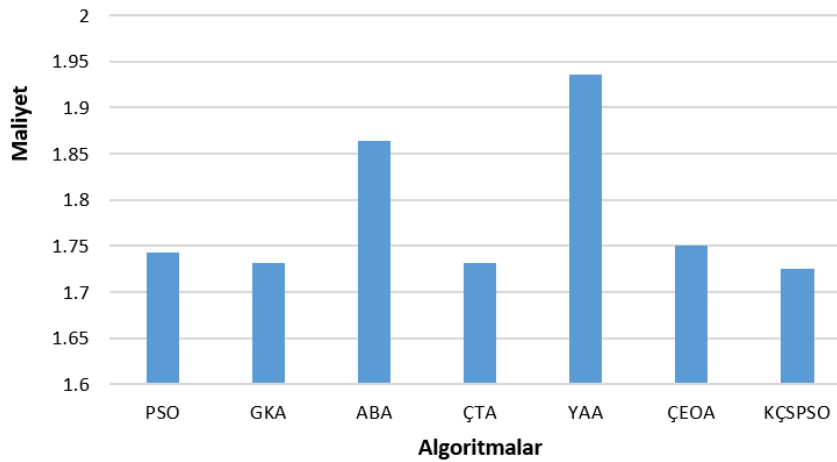
1. Sürü Boyutu: Parçacık sayısının veya sürü büyüklüğünün etkisini test etmek için deneylerde 10, 20, 30, 40 ve 50 boyutunda sürüler kullanılmıştır.
2. Yineleme Sayısı: KKT problemini çözerken yinelemelerin önerilen algoritma üzerindeki etkilerini değerlendirmek için 100, 200, 250, 300 ve 500 değerlerinde yinelemeler kullanılmıştır.

Ek-1'de her bir sürü boyutu ve yineleme sayısı ikilisi için önerilen algorithmadan elde edilen sonuçlar sunulmuştur. KÇSPSO tarafından elde edilen en iyi çözüm, $g = (-13026.40322, -28740.99403, -0.0001, -3.385997356, -$

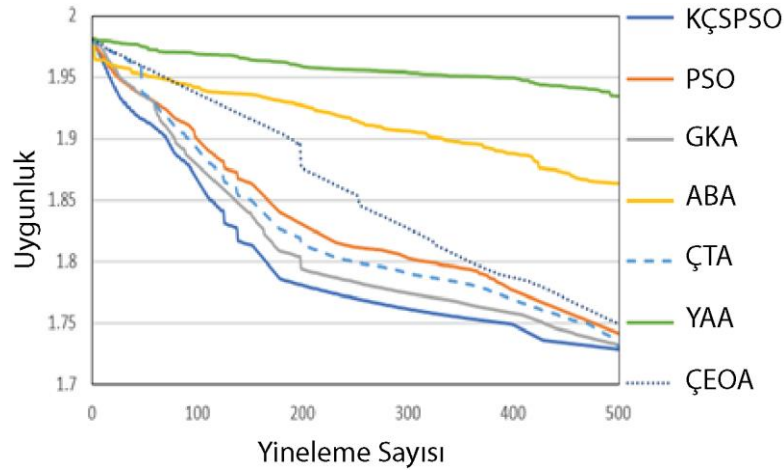
$0.0805, -0.2494, -3796489.9974)$ kısıtlamaları ile $x_1=0.2055, x_2=3.4703, x_3=9.0700$ ve $x_4=0.2056$ olmak üzere 1.7292 hesaplama maliyetine sahiptir. Bu çalışmada ele alınan problem PSO, Gri Kurt Algoritması (GKA), Ateş Böceği Algoritması (ABA), Çiçek Tozlaşma Algoritması (ÇTA), Yerçekimi Arama Algoritması(YAA), Çoklu Evren Optimizasyonu Algoritması (ÇEOA) gibi optimizasyon yöntemleri kullanılarak da çözülmüş ve kaotik lojistik harita tabanlı KÇSPSO'nun performansı bu algoritmalar ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar Çizelge 1'de sunulmuş ve ayrıca algoritmaların sunduğu maliyet değerleri Şekil 4'te gösterilmiştir. Buradaki sonuçlara göre, bu çalışmada önerilen KÇSPSO algoritmasının en düşük maliyet sunduğu görülmektedir. İkinci sırayı 1.7315 maliyet değeri ile GKA ve ÇTA algoritmaları almıştır. Elde edilen sonuçlar diğer algoritmalara kıyasla KÇSPSO'nun daha iyi bir performans sunduğunu bize göstermektedir.

Çizelge 1. Kaynaklı kiriş tasarımı problemi için elde edilen sonuçlar (Obtained results for the welded beam design problem)

Metod	Tasarım Değişkenleri				
	x_1	x_2	x_3	x_4	Maliyet
PSO	0.2064	3.5283	8.9884	0.2080	1.7423
GKA	0.2057	3.5194	9.0366	0.2057	1.7315
ABA	0.2416	3.6552	8.5071	0.2344	1.8641
ÇTA	0.2057	3.5195	9.0366	0.2057	1.7315
YAA	0.2195	4.7283	8.5009	0.2715	1.9350
ÇEOA	0.1990	3.6529	9.1144	0.2054	1.7498
KÇSPSO	0.2055	3.4703	9.0700	0.2056	1.7292



Şekil 4. Algoritmaların hesaplama maliyetlerinin grafiksel gösterimi (Graphical demonstration of the computational costs of the algorithms)



Şekil 5. Kaynaklı kiriş tasarımı problemi için algoritmaların yakınsama eğrileri (Convergence curves of the algorithms for the welded beam design problem)

Şekil 5, popülasyon boyutu 50, iterasyon sayısı 500 olarak belirlendiğinde KKT problemi için algoritmaların yakınsama eğrilerini göstermektedir. Her deney için, iterasyon tekrarı ile elde edilen sonuçlar kaydedilerek algoritmaların yakınsama eğrileri elde edilmiştir. Buna göre, KÇSPSO algoritması 1.7292 hesaplama maliyeti ile en iyi değeri sunmuştur. Bunun yanı sıra, KKT problemi için önerilen KÇSPSO yaklaşımının performansı literatürdeki diğer çalışmalar ile karşılaştırılmış ve elde edilen sonuçlar Çizelge 2’de

Yapay Arı Kolonisi Algoritması (YAKA)[18], Evrim Stratejisi Algoritması (ESA)[17], GKA[12] ve Genetik Algoritma (GA)[14] çalışmaları ile bu çalışmada önerilen yaklaşımın performansı birbirine oldukça yakın çıkmıştır. En iyi sonucu ise YAKA algoritması vermiştir. Dahası, bu çalışmada ele alınan problem için en iyi, en kötü, ortalama ve standart sapma değerleri açısından literatürdeki diğer çalışmalar ile karşılaştırması Çizelge 3’te verilmiştir. Bu sonuçlara göre, KKT problemi için bu çalışmada önerilen KÇSPSO algoritmasının 0.0082

Çizelge 2. Kaynaklı kiriş tasarımı problemi için önerilen çalışmanın literatürdeki diğer çalışmalar ile karşılaştırılması (Comparison of the proposed study for the welded beam design problem with other studies in the literature)

Metod	Tasarım Değişkenleri				
	x_1	x_2	x_3	x_4	Maliyet
GA [14]	0.2088	3.4205	8.9975	0.21	1.7483
ESA [17]	0.1997	3.6120	9.0375	0.2060	1.7373
TMA [15]	0.2444	6.2379	8.2885	0.2445	2.3854
PSO [16]	0.2443	6.2175	8.2914	0.2443	2.3809
YAKA [18]	0.2057	3.4705	9.0366	0.2057	1.7248
GKA [12]	0.2056	3.4783	9.0368	0.20577	1.7262
KÇSPSO	0.2055	3.4703	9.0700	0.2056	1.7292

sunulmuştur. Görüldüğü üzere, Toplum ve Medeniyet Algoritması (TMA)[15] ve iyileştirilmiş PSO[16] hariç

standart sapma değeri ile [16] çalışması dışında diğer çalışmalardan daha kararlılığı olduğu anlaşılmaktadır.

Çizelge 3. Kaynaklı kiriş tasarımı problemi için en iyi, en kötü ve ortalama değerleri açısından önerilen çalışmanın literatürdeki diğer çalışmalar ile karşılaştırılması (Comparison of the proposed study in terms of best, worst and mean values for the welded beam design problem with other studies in the literature)

Metod	En iyi	Ortalama	En kötü	Std Sapma
GA [14]	1.7483	1.7719	1.7858	0.0112
ESA [17]	1.7373	1.8133	1.9946	0.0705
TMA [15]	2.3854	3.2551	6.3996	0.96
PSO [16]	2.3809	2.3819	2.6458	0.0052
YAKA [18]	1.7248	1.7754	-	0.104087
GKA [12]	1.7262	1.7255	-	0.100286
KÇSPSO	1.7292	1.7484	1.7339	0.0082

4. SONUÇ (CONCLUSION)

Birçok mühendislik tasarımı problemini çözmek için çeşitli meta sezgisel algoritmalar önerilmiştir. Bu algoritmalar, doğadan esinlenen algoritmalar ve doğadan esinlenmeyen algoritmalar olmak üzere iki sınıfa ayrılabilir. Doğadan esinlenen algoritmalar, kolonilerinden yiyecek kaynağına en kısa yolu bulmaya çalıştıklarında karıncaların davranışları gibi doğada akıllı bir davranıştan ilham alır. Ayrıca, çalışan arıların yiyeceklerini almak için iyi bir çiçek bulmaya çalıştıklarında ya da daha iyi kaynaklar bulmak için mevcut çiçeklerden uzak noktalarda arama gerçekleştirmeleri akıllı bir davranış olarak görülebilir. Bu iki örnek ve dahası araştırmacılar tarafından yeni meta bilişimi geliştirmek için ilham kaynağı olarak kullanılmaktadır.

Bu çalışmada amaç, yaygın olarak bilinen bir mühendislik problemi olan KKT probleminin çözülmesi için kaotik lojistik haritaya dayalı KÇSPSO algoritmasını uygulamak ve sonuçlarını değerlendirmektir. ÇSPSO, her ne kadar normal ve büyük ölçekli optimizasyon problemlerini çözmek için test edilmiş olsa da her bir kümedeki parçacıkların başlangıç aşamasında kullanılan homojen dağılım denklemi nedeniyle yerel optimumda sıkışma ihtimali vardır. Bu çalışmada, tekdüze dağılım yerine lojistik bir harita olan kaotik harita kullanılmıştır. ÇSPSO için önerilen bu iyileştirme KÇSPSO olarak adlandırılmaktadır. KKT problemi için 25 farklı deneyde KÇSPSO uygulanmıştır. Her deney için farklı sürü büyüklüğü (10, 20, 30, 40 ve 50) ve yineleme sayısı (100, 200, 250, 300 ve 500) kullanılmıştır. Son olarak, elde edilen en iyi sonuçlar, diğer optimizasyon algoritmalarıyla karşılaştırılmıştır. Genel olarak, çalışmadan aşağıdaki sonuçlar çıkarılmıştır:

- Bu çalışmada kullanılan diğer optimizasyon algoritmaları ile karşılaştırıldığında, KÇSPSO en az maliyetle en uygun çözümü sunmuştur.
- Hızlı yakınsama eğrisine sahip olan KÇSPSO, 0.0082 standart sapma değeri ile gürbüzdür.
- Deneyler, arama sürecindeki yinelemelerin sayısının belirgin bir etkisi olduğunu göstermiştir. Başka bir deyişle yineleme sayısı arttıkça sonuçlar daha da iyileşmiştir. Ayrıca, deneyler sürü büyüklüğünün algoritmanın performansını biraz etkilediğini de göstermiştir.

Gelecekte, başlangıç aşamasında kaotik bir harita olarak lojistik haritasını kullanan KÇSPSO yönteminde çadır haritası veya parça bilge lojistik haritası gibi farklı kaotik haritaların kullanılması planlanmaktadır. Ayrıca, KÇSPSO algoritması ile basınçlı kap tasarımı ve zaman-maliyeti dengelemesi gibi başka mühendislik optimizasyon problemlerinin çözümü de hedefler arasındadır.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Bu çalışma, birinci yazarın Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mühendislik Yönetimi Anabilim dalında “Bir mühendislik problemi için kaotik çoklu sürü parçacık sürü optimizasyonu: Kaynaklı kirış tasarımı” başlıklı yüksek lisans tezinden üretilmiştir.

ETİK STANDARTLARIN BEYANI (DECLARATION OF ETHICAL STANDARDS)

Bu makalenin yazarları çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler.

YAZARLARIN KATKILARI (AUTHORS' CONTRIBUTIONS)

Shahad Odah Feneaker FENEAKER: Deneyleri gerçekleştirmiş, sonuçlarını analiz etmiş ve ayrıca makalenin yazımına katkı sağlamıştır./Performed the experiments, analyzed the results, and also contributed to the paper writing.

Kemal AKYOL: Deneysel sonuçlarını analiz etmiş ve makalenin yazımını gerçekleştirmiştir./Analyzed the experimental results and wrote the manuscript.

ÇIKAR ÇATIŞMASI (CONFLICT OF INTEREST)

Bu çalışmada herhangi bir çıkar çatışması yoktur./There is no conflict of interest in this study.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- Gen M., Yun Y., "Soft computing approach for reliability optimization: State-of-the-art survey", *Reliab Eng Syst Saf*, 91(9): 1008–1026, (2006).
- Keshtegar B., Hao P., "Enriched self-adjusted performance measure approach for reliability-based design optimization of complex engineering problems", *Appl Math Model*, 57: 37–51, (2018).
- Peng F., Ouyang Y., "Optimal clustering of railroad track maintenance jobs", *Comput Civ Infrastruct Eng*, 29(4): 235–247, (2014).
- Smith R., Ferreeb E., Ouyang Y., Roesler J., "Optimal Staging Area Locations and Material Recycling Strategies for Sustainable Highway Reconstruction", *Comput Civ Infrastruct Eng*, 29(8): 559–571, (2014).
- Luo D., Ibrahim Z., Ismail Z., Xu B., "Optimization of the Geometries of Biconical Tapered Fiber Sensors for Monitoring the Early-Age Curing Temperatures of Concrete Specimens", *Comput Civ Infrastruct Eng*, 28 (7): 531–541, (2013).
- Yang X-S., "Firefly algorithm, stochastic test functions and design optimisation", *Int J Bio-Inspired Comput*, 2(2): 78–84, (2010).
- Salih S.Q., Alsewari A.A., "Solving large-scale problems using multi-swarm particle swarm approach", *Int J Eng Technol*, 7(3):1725–1729, (2018).

- [8] Džugan J., Španiel M., Prantl A., Konopík P., Růžička J., Kuželka J., "Identification of ductile damage parameters for pressure vessel steel", *Nucl Eng Des.* 328: 372–380, (2018).
- [9] Towler G., Sinnott R., "Design of Pressure Vessels", *Chem. Eng. Des., (Second Edition) Elsevier*, 563–629, (2013).
- [10] Lalbakhsh A., Afzal M.U., Esselle K.P., "Multiobjective particle swarm optimization to design a time-delay equalizer metasurface for an electromagnetic band-gap resonator antenna", *IEEE Antennas Wirel Propag Lett*, 16: 912–915, (2017).
- [11] Yang X.S., Karamanoglu M., "Swarm Intelligence and Bio-Inspired Computation: An Overview", *Swarm Intelligence and Bio-Inspired Computation Theory and Applications*, 3–23, (2013).
- [12] Mirjalili S., Mirjalili S.M., Lewis A., "Grey Wolf Optimizer", *Adv Eng Softw*, 69: 46–61, (2014).
- [13] Yang X.S., Deb S., "Engineering optimisation by cuckoo search", *Int J Math Model Numer Optim*, 1(4): 330 - 343, (2010).
- [14] Coello C.A.C., "Treating Constraints As Objectives For Single-Objective Evolutionary Optimization", *Eng Optim*, 32(3): 275–308, (2000).
- [15] Ray T., Liew K.M., "Society and civilization: An optimization algorithm based on the simulation of social behavior", *IEEE Trans Evol Comput*, 7(4): 386–396, (2003).
- [16] He S., Prempain E., Wu Q.H., "An improved particle swarm optimizer for mechanical design optimization problems", *Eng Optim*, 36(5): 585–605, (2004).
- [17] Mezura-Montes E., Coello C.A.C., "An empirical study about the usefulness of evolution strategies to solve constrained optimization problems", *Int J Gen Syst*, 37(4): 443–473, (2008).
- [18] Savsani V., "Implementation of modified artificial bee colony (ABC) optimization technique for minimum cost design of welded structures", *Int J Simul Multidiscip Des Optim*, 5:A11, 1-10, (2014).
- [19] Mirjalili S., Mirjalili S.M., Hatamlou A., "Multi-Verse Optimizer: a nature-inspired algorithm for global optimization", *Neural Comput Appl*, 27: 495–513, (2016).
- [20] Eberhart R., Kennedy J., "New optimizer using particle swarm theory", *Proc. Int. Symp. Micro Mach. Hum. Sci.*, 39–43, (1995).
- [21] Rini D. P., Shamsuddin S. M., Yuhaniz S. S., "Particle Swarm Optimization: Technique, System and Challenges", *International Journal of Computer Applications*, 14(1): 19-27, (2011).
- [22] Van den Bergh F., Engelbrecht A.P., "A new locally convergent particle swarm optimiser", *Proc. IEEE Int. Conf. Syst. Man Cybern., Yasmine Hammamet, Tunisia*, 3, 1-6, (2002).
- [23] Salih S.Q., Alsewari A.A., Al-Khateeb B., Zolkipli M.F., "Novel multi-swarm approach for balancing exploration and exploitation in particle swarm optimization", *Adv. Intell. Syst. Comput.*, 843: 196–206, (2019).
- [24] Poli R., Kennedy J., Blackwell T., "Particle swarm optimization", *Swarm Intell*, 1:33–57, (2007).
- [25] Gandomi A.H., Yun G.J., Yang X.S., Talatahari S., "Chaos-enhanced accelerated particle swarm optimization", *Commun Nonlinear Sci Numer Simul*, 18(2): 327–340, (2013).
- [26] Gandomi A.H., Yang X.S., "Chaotic bat algorithm", *J Comput Sci*, 5(2): 224–232, (2014).
- [27] Murillo-Escobar M.A., Cruz-Hernández C., Cardoza-Avenidaño L., Méndez-Ramírez R., "A novel pseudorandom number generator based on pseudorandomly enhanced logistic map", *Nonlinear Dyn*, 87: 407–425, (2017).
- [28] Nematollahi A.F., Rahiminejad A., Vahidi B., "A novel physical based meta-heuristic optimization method known as Lightning Attachment Procedure Optimization", *Appl Soft Comput J*, 59: 596–621, (2017).
- [29] Ravindran A., Ragsdell K.M., Gintaras V. "Engineering optimization: methods and applications", *Wiley*, New York, (1983).
- [30] Smarandache F. Abdel-Basset M. and Chang V. Neutrosophic Operational Research, Eds.: Smarandache, F., Abdel-Basset, M., Chang V., 3, *Pons Publishing House*, Brussels (2018)

EK-1. Deneysel Sonuçlar (Appendix-1. Experimental Results)**Çizelge Ek-1.1.** Sürü büyüklüğü 10 ve yineleme sayısı 100 iken yapılan 10 denemenin sonuçları (Results of 10 trials with swarm size of 10 and number of iteration of 100)

Deneme	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	Maliyet
1	0,2064	3,5283	8,9884	0,2066953	1,74212089
2	0,205571	3,526654	8,993295	0,2069494	1,74222327
3	0,206497	3,525009	8,998005	0,2060911	1,74225121
4	0,206125	3,521511	8,995195	0,2072078	1,74219312
5	0,205808	3,528856	8,992545	0,2074401	1,74229993
6	0,206406	3,521995	8,993771	0,20652	1,74205301
7	0,205933	3,527818	8,996057	0,2068917	1,74218234
8	0,206347	3,528094	8,999209	0,2065191	1,74224209
9	0,205992	3,524897	8,997875	0,2068523	1,74224643
10	0,206164	3,522699	8,991319	0,2070359	1,74203932

Çizelge Ek-1.2. Sürü büyüklüğü 20 ve yineleme sayısı 100 iken yapılan 10 denemenin sonuçları (Results of 10 trials with swarm size of 20 and number of iteration of 100)

Deneme	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	Maliyet
1	0,205996763	3,523719953	8,992612733	0,206052255	1,742035963
2	0,20639312	3,523918349	8,99844976	0,207259366	1,742298406
3	0,206286372	3,529019415	8,999027538	0,206358471	1,742170484
4	0,206170819	3,52227591	8,999154162	0,206525728	1,742235506
5	0,206160184	3,529402254	8,992403662	0,206630878	1,742227231
6	0,206091975	3,521025081	8,990230712	0,206398172	1,7420773
7	0,206037807	3,528401913	8,998374405	0,206804595	1,742139838
8	0,206423213	3,520932498	8,999027077	0,207331105	1,742253871
9	0,205556802	3,523231794	8,996150306	0,206320886	1,742020679
10	0,206203198	3,521790938	8,997627954	0,206295489	1,742078512

Çizelge Ek-1.3. Sürü büyüklüğü 30 ve yineleme sayısı 100 iken yapılan 10 denemenin sonuçları (Results of 10 trials with swarm size of 30 and number of iteration of 100)

Deneme	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	Maliyet
1	0,206342799	3,52955487	8,999006541	0,207486842	1,742073343
2	0,205516935	3,52669728	8,995749167	0,207438581	1,742058863
3	0,206462202	3,52758543	8,992933985	0,206353253	1,742195186
4	0,206147497	3,525897691	8,99563259	0,207010347	1,742000078
5	0,206309103	3,520865036	8,997140604	0,207010947	1,742155868
6	0,205681327	3,523687868	8,99014212	0,206693633	1,742278521
7	0,206014563	3,523959996	8,999004424	0,207365564	1,742127195
8	0,20562974	3,52791373	8,994110501	0,207206839	1,74225873
9	0,2056835	3,520474697	8,995022516	0,207019946	1,742289603
10	0,206342799	3,52955487	8,999006541	0,207486842	1,742073343

Çizelge Ek-1.4. Sürü büyüklüğü 40 ve yineleme sayısı 100 iken yapılan 10 denemenin sonuçları (Results of 10 trials with swarm size of 40 and number of iteration of 100)

Deneme	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	Maliyet
1	0,205614	3,524788	8,990785	0,2070208	1,74202087
2	0,205915	3,523012	8,9929	0,2064809	1,74214116
3	0,205862	3,52576	8,988978	0,2071368	1,74215784
4	0,20594	3,529917	8,993136	0,2071252	1,74224641
5	0,205804	3,526823	8,993116	0,2072306	1,74200779
6	0,206164	3,528141	8,99306	0,2069961	1,74200934
7	0,205598	3,522195	8,991428	0,2063085	1,74202779
8	0,205682	3,52843	8,995111	0,2072083	1,74211996
9	0,206068	3,52104	8,990486	0,2063525	1,74206665
10	0,205614	3,524788	8,990785	0,2070208	1,74202087

Çizelge EK-1.5. Sürü büyüklüğü 50 ve yineleme sayısı 100 iken yapılan 10 denemenin sonuçları (Results of 10 trials with swarm size of 50 and number of iteration of 100)

Deneme	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	Maliyet
1	0,205636	3,520118	8,989195	0,2067235	1,74202489
2	0,205517	3,526418	8,993853	0,2074352	1,74205067
3	0,206035	3,528585	8,994841	0,2069792	1,74226705
4	0,20585	3,52915	8,997579	0,2060175	1,74219456
5	0,205721	3,521225	8,992407	0,2064178	1,74225737
6	0,206242	3,527125	8,993248	0,2070916	1,74212221
7	0,206455	3,522465	8,989625	0,2068261	1,742025
8	0,205681	3,527986	8,989478	0,2068081	1,74210115
9	0,206067	3,523956	8,995011	0,2073723	1,74208667
10	0,206366	3,524336	8,996382	0,2069422	1,74206708

Çizelge EK-1.6. Sürü büyüklüğü 10 ve yineleme sayısı 200 iken yapılan 10 denemenin sonuçları (Results of 10 trials with swarm size of 10 and number of iteration of 200)

Deneme	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	Maliyet
1	0,206253	3,518224	8,999874	0,2074498	1,74187247
2	0,205825448	3,519112114	9,000114321	0,206260525	1,741808196
3	0,20584941	3,52075473	8,999956559	0,206925208	1,741998654
4	0,205830463	3,521071806	9,000078634	0,206638519	1,74171674
5	0,206761868	3,518952398	8,999992858	0,207406835	1,741778076
6	0,206038391	3,524696763	8,999935049	0,207174412	1,741703967
7	0,206252531	3,518172587	8,999915228	0,206312468	1,741811738
8	0,205522589	3,519933146	8,999827141	0,206883119	1,74177354
9	0,206666536	3,518949702	8,999816728	0,206250846	1,74175859
10	0,206601589	3,518904369	8,999951366	0,206293042	1,741877186

Çizelge EK-1.7. Sürü büyüklüğü 20 ve yineleme sayısı 200 iken yapılan 10 denemenin sonuçları (Results of 10 trials with swarm size of 20 and number of iteration of 200)

Deneme	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	Maliyet
1	0,206169501	3,519054968	8,999994188	0,207389966	1,741797816
2	0,206180565	3,524391347	8,999831321	0,207356055	1,741859187
3	0,205645614	3,524439529	9,000096283	0,20737751	1,741725923
4	0,206427265	3,522216898	8,999829175	0,206965652	1,741878848
5	0,206211203	3,52075873	8,999893208	0,207047057	1,741982837
6	0,205964431	3,524522025	9,000088846	0,207235769	1,74170236
7	0,206482633	3,518212012	8,99994474	0,206644524	1,741906076
8	0,206263353	3,523463229	9,000045587	0,206741154	1,741980631
9	0,205619748	3,520263986	9,000148247	0,206576774	1,741824889
10	0,205807075	3,520454675	8,999884597	0,206013855	1,741780345

Çizelge EK-1.8. Sürü büyüklüğü 30 ve yineleme sayısı 200 iken yapılan 10 denemenin sonuçları (Results of 10 trials with swarm size of 30 and number of iteration of 200)

Deneme	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	Maliyet
1	0,205728703	3,523198656	9,000130067	0,206317108	1,741996546
2	0,205637056	3,521929196	8,999901135	0,206300555	1,741945817
3	0,206781885	3,523888119	8,999981248	0,2067907	1,741733439
4	0,206510834	3,51819381	9,00007173	0,206238963	1,741956747
5	0,205542537	3,519793688	9,000033085	0,206464041	1,741947569
6	0,206713705	3,524460598	9,000115372	0,206775119	1,741963336
7	0,206517695	3,51889633	9,000171825	0,207022673	1,741946064
8	0,206125525	3,521057713	8,999848725	0,206577328	1,741957449
9	0,206729042	3,521343367	8,999842399	0,206712437	1,741827596
10	0,205614853	3,518494583	8,999904899	0,207361393	1,741889885

Çizelge EK-1.9. Sürü büyüklüğü 40 ve yineleme sayısı 200 iken yapılan 10 denemenin sonuçları (Results of 10 trials with swarm size of 40 and number of iteration of 200)

Deneme	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	Maliyet
1	0,205728703	3,523198656	9,000130067	0,206317108	1,741996546
2	0,205637056	3,521929196	8,999901135	0,206300555	1,741945817
3	0,206781885	3,523888119	8,999981248	0,2067907	1,741733439
4	0,206510834	3,51819381	9,00007173	0,206238963	1,741956747
5	0,205542537	3,519793688	9,000033085	0,206464041	1,741947569
6	0,206713705	3,524460598	9,000115372	0,206775119	1,741963336
7	0,206517695	3,51889633	9,000171825	0,207022673	1,741946064
8	0,206125525	3,521057713	8,999848725	0,206577328	1,741957449
9	0,206729042	3,521343367	8,999842399	0,206712437	1,741827596
10	0,205614853	3,518494583	8,999904899	0,207361393	1,741889885

Çizelge EK-1.10. Sürü büyüklüğü 50 ve yineleme sayısı 200 iken yapılan 10 denemenin sonuçları (Results of 10 trials with swarm size of 50 and number of iteration of 200)

Deneme	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	Maliyet
1	0,205382387	3,524749819	8,999869831	0,206066396	1,741044307
2	0,206454782	3,522555374	9,000155426	0,206954469	1,741857555
3	0,206153098	3,518813335	8,999924374	0,206158949	1,741931503
4	0,20619675	3,521719157	8,999825954	0,206661145	1,741926336
5	0,205515389	3,519544067	9,000188044	0,20682967	1,741785751
6	0,206330563	3,521315895	9,000006425	0,206601644	1,741706495
7	0,205642592	3,521687954	9,000036498	0,206268004	1,741787121
8	0,205520524	3,522400039	9,000156677	0,206557846	1,741930999
9	0,206180764	3,519550248	8,99981866	0,206915446	1,741949792
10	0,206628708	3,522554967	9,000103761	0,206110182	1,741732175

Çizelge EK-1.11. Sürü büyüklüğü 10 ve yineleme sayısı 250 iken yapılan 10 denemenin sonuçları (Results of 10 trials with swarm size of 10 and number of iteration of 250)

Deneme	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	Maliyet
1	0,205382387	3,524749819	8,999869831	0,206066396	1,741044307
2	0,206454782	3,522555374	9,000155426	0,206954469	1,741857555
3	0,206153098	3,518813335	8,999924374	0,206158949	1,741931503
4	0,20619675	3,521719157	8,999825954	0,206661145	1,741926336
5	0,205515389	3,519544067	9,000188044	0,20682967	1,741785751
6	0,206330563	3,521315895	9,000006425	0,206601644	1,741706495
7	0,205642592	3,521687954	9,000036498	0,206268004	1,741787121
8	0,205520524	3,522400039	9,000156677	0,206557846	1,741930999
9	0,206180764	3,519550248	8,99981866	0,206915446	1,741949792
10	0,206628708	3,522554967	9,000103761	0,206110182	1,741732175

Çizelge EK-1.12. Sürü büyüklüğü 20 ve yineleme sayısı 250 iken yapılan 10 denemenin sonuçları (Results of 10 trials with swarm size of 20 and number of iteration of 250)

Deneme	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	Maliyet
1	0,205816499	3,518344682	9,009199721	0,206530408	1,737256154
2	0,206580482	3,502010038	9,003680318	0,206785989	1,737160982
3	0,205988292	3,514434682	9,006858596	0,207083585	1,735433026
4	0,206491904	3,499353614	9,003196423	0,206747805	1,73535187
5	0,206254053	3,500126512	9,005028237	0,207250262	1,735261621
6	0,205752442	3,51956308	9,006330143	0,207268194	1,736878427
7	0,206182272	3,505071104	9,005689492	0,2070505	1,736305119
8	0,206366771	3,510645722	9,011690993	0,206277756	1,735486325
9	0,206020869	3,509828511	9,01141649	0,206528422	1,738313167
10	0,20648801	3,518934789	9,011801912	0,206264272	1,735769501

Çizelge EK-1.13. Sürü büyüklüğü 30 ve yineleme sayısı 250 iken yapılan 10 denemenin sonuçları (Results of 10 trials with swarm size of 30 and number of iteration of 250)

Deneme	X_1	X_2	X_3	X_4	Maliyet
1	0,20637752	3,5007898	9,001673741	0,206576044	1,736950968
2	0,206465099	3,519281057	9,000802613	0,20677963	1,738698249
3	0,206438378	3,50791144	9,009326319	0,20668956	1,737190221
4	0,206132844	3,51821636	9,009314056	0,207194201	1,738242992
5	0,206688564	3,505280005	9,002259542	0,206395913	1,738608485
6	0,206237868	3,499383594	9,002631845	0,207395733	1,738586406
7	0,2056019	3,506596707	9,008676865	0,206914213	1,736171249
8	0,20592165	3,502432262	9,003854788	0,206165162	1,737993441
9	0,205508362	3,524851489	9,007659496	0,207247065	1,736290663
10	0,206309303	3,520824322	9,001075438	0,207065772	1,736871902

Çizelge EK-1.14. Sürü büyüklüğü 40 ve yineleme sayısı 250 iken yapılan 10 denemenin sonuçları (Results of 10 trials with swarm size of 40 and number of iteration of 250)

Deneme	X_1	X_2	X_3	X_4	Maliyet
1	0,205095	3,506822	9,006699	0,2073009	1,73598445
2	0,206418	3,501392	9,011209	0,206485	1,7379288
3	0,206454	3,517555	9,005876	0,207124	1,73623566
4	0,205942	3,512614	9,004452	0,2073952	1,737943
5	0,205834	3,521757	9,006504	0,2068138	1,7360849
6	0,20671	3,509608	9,010275	0,2070072	1,73710375
7	0,205946	3,501874	9,005209	0,2069008	1,73761871
8	0,205714	3,514114	9,00861	0,2062399	1,73583607
9	0,206497	3,523869	9,001286	0,2066688	1,73840083
10	0,205733	3,505348	9,009833	0,2071317	1,73846027

Çizelge EK-1.15. Sürü büyüklüğü 50 ve yineleme sayısı 250 iken yapılan 10 denemenin sonuçları (Results of 10 trials with swarm size of 50 and number of iteration of 250)

Deneme	X_1	X_2	X_3	X_4	Maliyet
1	0,206092461	3,504757472	9,005134821	0,206076663	1,737535307
2	0,205574099	3,51582449	9,000806466	0,206103313	1,736547631
3	0,206129617	3,510905005	9,003741357	0,207432542	1,735748225
4	0,206435717	3,516662733	9,002965969	0,207136983	1,736606262
5	0,206371564	3,503112079	9,000485562	0,207383892	1,737966814
6	0,206230298	3,515266175	9,005854183	0,207362813	1,736867182
7	0,206054346	3,515942271	9,007453066	0,207469497	1,737691749
8	0,206693753	3,522666631	9,010071637	0,206106488	1,73848588
9	0,206741959	3,520045806	9,008207926	0,206850758	1,738609206
10	0,206081483	3,509035329	9,000361861	0,207388123	1,735209408

Çizelge EK-1.16. Sürü büyüklüğü 10 ve yineleme sayısı 300 iken yapılan 10 denemenin sonuçları (Results of 10 trials with swarm size of 10 and number of iteration of 300)

Deneme	X_1	X_2	X_3	X_4	Maliyet
1	0,204933662	3,478846433	9,011947339	0,206656906	1,735509841
2	0,206706656	3,50632751	9,005522877	0,20707967	1,738177131
3	0,206225453	3,519957516	9,000828901	0,206039647	1,737393124
4	0,206307259	3,519085062	9,007681782	0,207271979	1,738245816
5	0,206288997	3,519306979	9,001583859	0,206232774	1,736992352
6	0,206163088	3,505068618	9,008700109	0,206490221	1,735618174
7	0,20618315	3,522153176	9,008285496	0,206114265	1,738162349
8	0,205701117	3,513490764	9,009075381	0,206091621	1,736535576
9	0,205895467	3,503490556	9,000117271	0,206154995	1,736138886
10	0,205726726	3,523464757	9,012136553	0,206455058	1,737044015

Çizelge EK-1.17. Sürü büyüklüğü 20 ve yineleme sayısı 300 iken yapılan 10 denemenin sonuçları (Results of 10 trials with swarm size of 20 and number of iteration of 300)

Deneme	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	Maliyet
1	0,20617963	3,499535536	9,007582369	0,207272014	1,73577409
2	0,206125418	3,508146515	9,00407645	0,206772408	1,736039039
3	0,206384033	3,523405705	9,010613507	0,206461346	1,736048848
4	0,206552626	3,521823551	9,010639995	0,207480915	1,738823205
5	0,205741339	3,502544125	9,011517692	0,207397266	1,736307217
6	0,206595094	3,519608967	9,007920019	0,206192382	1,73750206
7	0,206022721	3,499006032	9,008848	0,206232258	1,736626606
8	0,206385679	3,5118871	9,00565045	0,207395344	1,735608216
9	0,206481223	3,504048748	9,007404165	0,2067622	1,736368786
10	0,206238019	3,520717883	9,011550015	0,206936826	1,73612571

Çizelge EK-1.18. Sürü büyüklüğü 30 ve yineleme sayısı 300 iken yapılan 10 denemenin sonuçları (Results of 10 trials with swarm size of 30 and number of iteration of 300)

Deneme	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	Maliyet
1	0,204706304	3,483158245	9,028074984	0,206538803	1,738626854
2	0,206467171	3,51213679	9,001532814	0,207284842	1,738704334
3	0,205665488	3,524263037	9,00666006	0,207460465	1,73743389
4	0,205906828	3,50637321	9,010947902	0,206567221	1,737814078
5	0,205618621	3,506186836	9,007845659	0,207135425	1,738675498
6	0,205950274	3,509888867	9,004868021	0,207467676	1,737095645
7	0,205546912	3,521132398	9,006847414	0,207023158	1,737495254
8	0,205706177	3,518616563	9,009313234	0,20643554	1,735299728
9	0,206365273	3,503220653	9,005583472	0,207108769	1,73625605
10	0,205779052	3,512680842	9,004504446	0,207004245	1,736564679

Çizelge EK-1.19. Sürü büyüklüğü 40 ve yineleme sayısı 300 iken yapılan 10 denemenin sonuçları (Results of 10 trials with swarm size of 40 and number of iteration of 300)

Deneme	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	Maliyet
1	0,206129461	3,505881635	9,003122935	0,206390196	1,738199165
2	0,206129943	3,52072253	9,009973903	0,206909841	1,738854791
3	0,206188573	3,500445474	9,010977878	0,206779257	1,736334943
4	0,206144322	3,500150532	9,004792858	0,20712297	1,73536674
5	0,206737412	3,521405173	9,000284163	0,206367888	1,73887177
6	0,205731271	3,508902859	8,999878409	0,207400913	1,73712173
7	0,206237877	3,508119792	9,001585349	0,207450086	1,738975813
8	0,205595656	3,501717318	9,004452514	0,206411289	1,73708576
9	0,206432121	3,503508408	9,009633251	0,206711694	1,738207586
10	0,206005101	3,50290271	9,003456981	0,206633175	1,738077002

Çizelge EK-1.20. Sürü büyüklüğü 50 ve yineleme sayısı 300 iken yapılan 10 denemenin sonuçları (Results of 10 trials with swarm size of 50 and number of iteration of 300)

Deneme	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	Maliyet
1	0,204858368	3,481904626	9,027346833	0,207156087	1,738886308
2	0,206426715	3,505710042	9,008578996	0,207392733	1,736935101
3	0,20679048	3,51418117	9,004762623	0,207458575	1,736554636
4	0,206404106	3,507449299	9,003934745	0,206703879	1,737916318
5	0,206559396	3,500048643	9,012131557	0,206681536	1,737949601
6	0,206214009	3,513417839	8,999812285	0,206210045	1,735882336
7	0,206708201	3,523509417	9,012187341	0,207392533	1,737171429
8	0,205918538	3,507378642	9,005271833	0,206399768	1,738364801
9	0,205744415	3,524681626	9,000529909	0,206839756	1,737486645
10	0,20575528	3,511049876	9,009059848	0,206574106	1,735935089

Çizelge EK-1.21. Sürü büyüklüğü 10 ve yineleme sayısı 500 iken yapılan 10 denemenin sonuçları (Results of 10 trials with swarm size of 10 and number of iteration of 500)

Deneme	X_1	X_2	X_3	X_4	Maliyet
1	0,205157434	3,484637233	9,036606553	0,20584776	1,724304926
2	0,206261631	3,506892859	9,004620965	0,207225637	1,737110936
3	0,206029551	3,524949261	9,00813402	0,206246299	1,736017199
4	0,206704438	3,499469536	9,004215368	0,206145547	1,738771629
5	0,206541758	3,509415299	9,011734179	0,206633307	1,735966154
6	0,206188385	3,500787641	9,007210743	0,206371323	1,736391155
7	0,206488828	3,504119347	9,008262617	0,206473562	1,736950027
8	0,205573254	3,520023942	9,002445542	0,206939165	1,735817859
9	0,206416669	3,499483259	9,006225961	0,206257296	1,737610677
10	0,2063335	3,510278181	9,007405284	0,206063012	1,737874591

Çizelge EK-1.22. Sürü büyüklüğü 20 ve yineleme sayısı 500 iken yapılan 10 denemenin sonuçları (Results of 10 trials with swarm size of 20 and number of iteration of 500)

Deneme	X_1	X_2	X_3	X_4	Maliyet
1	0,205551371	3,499378638	9,000907955	0,207398111	1,736234702
2	0,205798784	3,513725698	9,00198157	0,207197114	1,736840626
3	0,206422247	3,499681093	9,003738785	0,206267428	1,737632286
4	0,206357566	3,500192041	9,000812565	0,206689001	1,735781447
5	0,206568656	3,500140521	9,008550831	0,207004958	1,735760048
6	0,20588216	3,503250388	9,00260454	0,206901539	1,735399284
7	0,205551715	3,500585695	9,003754629	0,207256242	1,736207436
8	0,205687942	3,505849326	9,006025493	0,206567086	1,736289228
9	0,206198044	3,502498686	9,00043546	0,207162998	1,737597936
10	0,206359677	3,524091611	9,010002341	0,20677953	1,73841072

Çizelge EK-1.23. Sürü büyüklüğü 30 ve yineleme sayısı 500 iken yapılan 10 denemenin sonuçları (Results of 10 trials with swarm size of 30 and number of iteration of 500)

Deneme	X_1	X_2	X_3	X_4	Maliyet
1	0,204628019	3,481428657	9,034725951	0,20611421	1,726060611
2	0,206106551	3,518058988	9,010283528	0,206030295	1,735704057
3	0,205893302	3,500936221	9,001563965	0,20607438	1,737722722
4	0,206795281	3,503582484	9,00391075	0,206120395	1,736259805
5	0,206582258	3,503913721	9,001346594	0,206718929	1,737547427
6	0,205614718	3,51651618	9,004372288	0,207388527	1,735729948
7	0,205954085	3,522555579	9,005054753	0,206957716	1,738736302
8	0,205979191	3,502764978	9,000340294	0,207366131	1,73520844
9	0,205623481	3,499557123	9,00471424	0,206527204	1,736428854
10	0,205813593	3,507669159	9,004358783	0,20611407	1,7369082

Çizelge EK-1.24. Sürü büyüklüğü 40 ve yineleme sayısı 500 iken yapılan 10 denemenin sonuçları (Results of 10 trials with swarm size of 40 and number of iteration of 500)

Deneme	X_1	X_2	X_3	X_4	Maliyet
1	0,206391365	3,505873753	9,009337701	0,206690179	1,735215167
2	0,205788126	3,504762722	8,999801866	0,206064734	1,738538053
3	0,205987882	3,510028612	9,002761054	0,206316263	1,735651325
4	0,206384819	3,520708441	9,005283211	0,206453108	1,735641921
5	0,205500609	3,513189616	9,011414725	0,206037073	1,736041405
6	0,205579284	3,508330013	9,001878352	0,20616572	1,7373699
7	0,20639883	3,51677607	9,002542709	0,207349332	1,737707847
8	0,206451791	3,51981408	9,003655182	0,207128215	1,737676675
9	0,205893943	3,510131095	9,003664015	0,207060488	1,737998873
10	0,20559895	3,519586293	9,002546553	0,206317192	1,73820087

Çizelge EK-1.25. Sürü büyüklüğü 50 ve yineleme sayısı 500 iken yapılan 10 denemenin sonuçları (Results of 10 trials with swarm size of 50 and number of iteration of 500)

Deneme	X_1	X_2	X_3	X_4	Maliyet
1.	0,204987614	3,479413387	9,021729763	0,206037127	1,724685269
2.	0,206102004	3,504106829	9,011149859	0,207374507	1,737159204
3.	0,205975856	3,500417116	9,021853723	0,206134848	1,736588331
4.	0,205589183	3,519442874	9,026975869	0,207203959	1,737250748
5.	0,20640298	3,515783012	9,016090244	0,206372761	1,737940813
6.	0,206367957	3,516038883	9,011924722	0,206680263	1,736126796
7.	0,206343668	3,505898991	9,024374533	0,20743182	1,73664772
8.	0,206750489	3,524597915	9,018729465	0,206573653	1,738961836
9.	0,206547233	3,524420186	9,00574755	0,206358777	1,737732934
10.	0,206343661	3,506477598	9,032623833	0,206641183	1,738366035