

Üç Boyutlu Çelik Çerçevesel Yapıların Optimum Boyutlandırma Tasarımı İçin Açıgözlü Seçim İle Donatılan Buharlaştırma Oranı Tabanlı Su Döngüsü Algoritması

Serdar Çarbaş¹, Osman Tunca^{1*}

¹İnşaat Mühendisliği Bölümü, Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Karaman, Türkiye

*(tunca.osm@gmail.com)

Özet – Buharlaştırma oranı tabanlı su döngüsü algoritması (SDA-BO), nehirlerin ve akarsuların denize nasıl aktığını, buharlaştırma oranı ile su döngüsü sürecinin gözlemlenmesinin ardındaki ana fikri simüle ederek doğadan ilham alan metasezgisel optimizasyon yöntemlerinden biridir. SDA-BO algoritmasının daha iyi seçim yapabilmesi ve algoritmanın keşif ve işletim aşamaları arasında daha iyi bir denge sağlamak için standart SDA'ya buharlaştırma oranı (BO) kavramı tanımlanarak SDA-BO algoritması geliştirilmiştir. Bu çalışmada ise SDA-BO algoritması, çözüm çeşitliliğini koruyarak işletme aşamasını geliştirip optimum tasarımları elde etmek için çok verimli bir arama tekniği olan açıgözlü seçim şeması ile donatılmıştır. Bu bağlamda, bu çalışmanın temel amacı, üç boyutlu çelik çerçevesel yapıların optimum boyutlandırma tasarımlarını açıgözlü seçim ile donatılan SDA-BO algoritması kullanarak elde etmektir. Yeni önerilen algoritma, tasarım değişkenleri olarak ele alınan yapı elemanı gruplarına profil ataması yapmak için I-enkesitli çelik profil listesinden rastgele seçim yapar. Optimum boyutlandırma yapılırken LRFD-AISC yapı şartnamesinde verilen mukavemet (taşıma gücü) ve stabilite kısıtlamalarının yanı sıra sehim, öteleme ve geometrik kısıtlamalar da dikkate alınmaktadır. Tasarım örnekleri için bu çalışmada elde edilen nihai optimum boyutlandırma tasarımları aynı örnekler için literatürde daha önce duyurulmuş olan tasarım sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, bu çalışmada önerilen açıgözlü seçim ile donatılan SDA-BO yönteminin algoritmik performansının üstünlüğünü ve verimliliğini kanıtlamıştır.

Anahtar Kelimeler – Yapısal Optimizasyon, Çelik Çerçevesel Yapılar, Metasezgisel, Su Döngüsü Algoritması, Açıgözlü Seçim

I. GİRİŞ

Bilgisayar ve kodlama teknolojisindeki hızlı gelişmeyle birlikte, doğadan ilham alan metasezgisel algoritmalar, son zamanlarda çelik çerçevesel yapıların optimum tasarımlarına ulaşmak için önemli bir popülerlik kazanmıştır. Çelik çerçevesel yapıların tasarım problemleri oldukça fazla sayıda tasarım değişkeni ve geniş bir tasarım arama uzayı içerdiğinden, metasezgisel algoritmalar yapı mühendisleri ve/veya tasarımcılar için çok uygun çözüm araçları olarak ön plana çıkmıştır. Daha önceleri, çelik çerçevesel yapıların optimum tasarımlarını elde etmek için genetik algoritmalar (GA), evrim stratejileri (ES), parçacık sürü optimizasyonu (PSO), harmoni arama algoritması (HAA), tabu arama algoritması (TAA),

benzetimli tavlama (BT) ve karınca kolonisi optimizasyonu (KKO) gibi optimum arama sürecinde düşük yakınsama hızı ve aşırı hesaplama süreleri gibi önemli dezavantajları olan birçok konvansiyonel metasezgisel algoritma kullanılmıştır [1]. Sonraları ise hesaplama teknolojilerindeki gelişmelerle birlikte çelik çerçevesel yapıların optimum çözümlerini bulmada daha hızlı yakınsama gösteren ve yerel çözümlere takılmadan arama yapan yapay arı kolonisi (YAKA), biyocoğrafya tabanlı optimizasyon (BCO), beyin fırtınası optimizasyonu (BFO), büyük patlama-büyük çatırtı (BP-BÇ), yarasa algoritması (YA), guguk kuşu arama optimizasyonu (GKA) ve benzeri bazı yeni nesil

denilebilecek metasezgisel algoritmalar kullanılmıştır [2–5].

Bilindiği üzere, çelik çerçeveli yapıların tasarım optimizasyonu probleminin karmaşık aşamalara sahip kanonik bir formu vardır. Nitekim bu tür mühendislik problemlerinin tasarım optimizasyonu çözümlerine ulaşmak için keşif ve işletme aşamaları güçlendirilmiş olan yeni tür metasezgisel algoritmalarla ihtiyaç duyulmaktadır. Böylece, optimal tasarımlara daha kısa sürede ulaşan ve daha iyi uygulanabilir çözümler sağlayan yeni metasezgisel algoritmalar geliştirilmeye devam edilmektedir. Bu kapsamda değerlendirildiğinde çağdaş metasezgisel algoritmalarla yepyeni bir katkı, doğal su döngüsü mekanizması kavramının simüle edildiği su döngüsü algoritmasıdır (SDA) [6]. Daha sonra ise standart SDA'nın algoritmik performansını iyileştirmek amacıyla denize dökülen çeşitli nehirleri ve akarsuları göz önüne alarak algoritmaya buharlaşma oranı (BO) stratejisi eklenmiştir [7]. Yapılan araştırmalar göstermiştir ki literatürde SDA ve SDA-BO içerecek şekilde az sayıda optimum yapısal tasarım çalışması mevcuttur [8–10]. Bu çalışmanın temel amacı ise üç boyutlu çelik çerçeveli yapıların optimal çözümünü elde etmek için SDA-BO algoritmasını açgözlü seçim ile donatarak algoritmik performansını iyileştirmektir [11]. Açgözlü seçim ile donatmanın ötesinde, SDA-BO algoritmasında çözüm yoğunluğunu kontrol etmede kullanılan ve genellikle küçük bir değer olarak alınan d_{max} için adaptif bir formülasyon sunulmuştur. Açgözlü seçim ile donatılan ve adaptif d_{max} uygulaması ile daha da güçlendirilen SDA-BO'nun algoritmik performans etkinliğini kanıtlamak için tasarım örneği olarak ele alınan üç boyutlu çelik çerçeveli yapının nihai optimal tasarımı gerçekleştirilmiştir. Üç boyutlu çelik çerçeveli yapının optimal tasarımları yapılırken LRFD-AISC [12] yapı şartnamesinde belirtilen kısıtlamalara dikkate alınmıştır. Ayrıca, yapısal hizmet yeterliliğini sağlamak için sehim, öteleme ve geometrik kısıtlamalar da uygulanmıştır. Elde edilen optimal tasarımlar, literatürde daha önce aynı tasarım problemi için doğadan ilham alan diğer metasezgisel optimizasyon algoritmalarından elde edilen tasarım sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır.

II. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu bölümde LRFD-AISC yapı şartnamesine [12] göre optimal boyutlandırma tasarım

formülasyonunun yanı sıra sehim, öteleme ve geometrik kısıtlamalar ve açgözlü seçim ile donatılıp arama yoğunluğunu kontrol eden d_{max} 'ın adaptif dönüşümü ile güçlendirilmiş olan SDA-BO algoritması ifade edilmiştir.

A. Optimum Boyutlandırma Formülasyonu

Minimum yapı ağırlığına ulaşmak için üç boyutlu çelik çerçeveli yapı probleminin optimum boyutlandırma formülasyonu aşağıdaki gibi tanımlanabilir;

$$I^T = [I_1, I_2, \dots, I_{N_d}] \quad (1)$$

Burada, I sıra numaraları N_d adet yapı elemanı grubuna atanan çelik profil kesitlerinin tam sayı sıra numaralarını simgeleyen bir vektörü ifade eder.

Çelik çerçeveli bir yapının ağırlığını minimize etmek için aşağıda verilen denklem kullanılır.

$$W = \sum_{i=1}^{N_d} \rho_i A_i \sum_{j=1}^{N_t} L_j \quad (2)$$

Burada, A_i ve ρ_i her bir yapı elemanı grubu için atanan çelik kesitin alanını ve çeliğin malzeme birim hacim ağırlığını ifade eder. N_t bir eleman grubundaki toplam eleman sayısını ve L_j eleman boyunu simgeler. Elde edilen minimum ağırlığı veren tasarım aşağıdaki denklemlerde verilen mukavemet ve geometriye dayalı tasarım sınırlayıcılarını sağlamalıdır.

$$\frac{(\delta_j - \delta_{j-1})}{h_j} \leq \delta_{ju} \quad j = 1, \dots, N_s \quad (3)$$

$$\delta_i \leq \delta_{iu} \quad i = 1, \dots, nd \quad (4)$$

$$V_u = \emptyset V_n \quad (5)$$

$$\left(\frac{P_u}{\emptyset_c P_n} \right) + \left(\frac{8}{9} \frac{M_{ux}}{\emptyset_b M_{nx}} \right) \leq 1 \text{ for } \frac{P_u}{\emptyset_c P_n} \geq 0.2 \quad (6)$$

$$\left(\frac{P_u}{2\emptyset_c P_n} \right) + \left(\frac{M_{ux}}{\emptyset_b M_{nx}} \right) \leq 1 \text{ for } \frac{P_u}{\emptyset_c P_n} \leq 0.2$$

$$B_{jb} \leq B_{jc} \quad i = 1, \dots, nj \quad (7)$$

$$D_s \leq D_{s-1} \quad i = 1, \dots, nu \quad (8)$$

$$m_s \leq m_{s-1} \quad (9)$$

Denklem (3)'te çok katlı çelik çerçevenin kat ötelenmesi verilmiştir. δ_j ve $\delta_{(j-1)}$ üst üste denk gelen iki kata ait kat ötelenmeleridir. N_s yapıdaki

kat sayısıdır. δ_{ju} izin verilen kat (ara kat veya en üst kat) ötelemesidir. Kolonların yatay deplasmanı, birden fazla katlı bir binanın her katında kolon boyu/300 ile sınırlıdır. Denklem (4) ile, kirişlerin orta açıklıktaki yer değiştirme kısıtlamaları tanımlanmıştır. Bu formülde n_d , çerçevedeki sınırlı yer değiştirmelerin toplam sayısıdır. δ_{iu} kirişlerin kiriş açıklığı/300 olarak verilen sehim üst limitini belirtir. Denklem (5)'te kiriş-kolonlar için kesme kapasitesi kontrolü verilmiştir. Burada, \emptyset kesme durumu için dayanım katsayısını, V_u gerekli kesme dayanımını, V_n karakteristik kesme dayanımını ifade eder. Denklem (6), kiriş-kolonların kombine taşıma gücü kontrolünü tanımlar. Burada P_n nominal eksenel dayanım, P_u yapı elemanı üzerinde oluşan taşınması gereken eksenel kuvvet, M_{nx} nominal eğilme dayanımını, M_{ux} taşınması gereken momenti ifade eder. \emptyset_c eksenel kuvvetin basınç olması durumunda kolonlar için dayanım faktörü, \emptyset_b ise eğilmede kullanılan dayanım faktörüdür.

B. Açgözlü Seçim İle Donatılan SDA-BO Algoritması

Su Döngüsü Algoritması (SDA), doğada gerçekleşen su döngüsü kavramından esinlenilerek geliştirilmiştir [6]. Bu metasezgisel algoritma, su döngüsü sürecinin gözlemlenmesine, nehirlerin ve akarsuların doğada denize doğru akması olgusuna dayanmaktadır. Doğada su bir yerden başka bir yere yokuş aşağı hareket ettiğinde bir nehir veya akarsu oluşur. Nehirlerin çoğu, kışın karların veya eski buzulların eridiği dağların yükseklerinde oluşur. Nehirlerdeki su buharlaşırken, bitkiler fotosentez işlemi yoluyla yani terleyerek bünyelerindeki suyu boşaltır. Buharlaşan su, daha soğuk havalarda yoğunlaşan bulutlar oluşturmak için havaya yükselir. Daha sonra bu su, yağmur şeklinde yeryüzüne geri döner. Bu doğal prosedür hidrolojik döngü başka bir deyişle su döngüsü olarak bilinir. Doğada, en küçük nehir kolları nehirlerin oluşmaya başladığı küçük akarsulardır. Bu küçük akışlara birinci dereceden akışlar denir. İki adet birinci dereceden akış birleştirildiğinde, ikinci dereceden akış üretilir. İki ikinci dereceden akarsuyun birleştiği yerde ise üçüncü derece akarsu oluşur ve bu süreç akarsu denize dökülene kadar böyle devam eder. Su döngüsünde son olarak, tüm nehirler bir denize akar.

Su Döngüsü Algoritmasının (SDA) performansını iyileştirmek için daha sonradan

Buharlaşma Oranı (BO) kavramı algoritmaya eklenmiştir [7]. Buharlaşma oranı eklenen su döngüsü algoritmasında (SDA-BO), suyun buharlaşmasını uyarlamalı olarak değiştirmek için mevcut buharlaşma hızı tanımlanmıştır. İlaveten, SDA-BO, varyant kavramını kullanarak deniz yakınında yeni oluşturulan akışları aramayı irdeler. SDA-BO'da, yineleme devam ettikçe buharlaşma koşulunun oluşumu azalır. SDA-BO'da, klasik SDA'na benzer şekilde, güncelleme denklemleri (hareket denklemleri) olarak kabul edilen yüzey akış fazı değişmez. Bununla birlikte, yerel optimum çözümlerden kaçma şansını artırmak için, Buharlaşma Oranı (BO) kriteri tanımlanarak buharlaşma koşulu yerine getirilir. Başka bir deyişle, SDA-BO'nda, nehirlere atanan akış sayısına göre BO kavramı eklenerek buharlaşma süreci ele alınır. SDA ve SDA-BO algoritmaları için ayrıntılı matematiksel formülasyonlar ve açıklamaları literatürde bulunan birçok çalışmada mevcuttur [6–8, 11, 13–16]. Bu sebeple hem tekrara düşmemek hem de sayfa tasarrufu yapmak için bu çalışmada tekrar sunulmamıştır.

SDA'da, d_{max} denize yakın arama yoğunluğunu kontrol eder ve genellikle küçük bir sayı olarak tercih edilir. Ancak, d_{max} olması gerekenden büyük seçilirse detaylı aramayı engeller ve d_{max} olması gerekenden küçük seçilirse ise aramayı denize çok yakın bir noktada yoğunlaştırır. Bu nedenle, d_{max} değerinin adaptif bir şekilde formülize edilmesi daha uygundur. Bunu yapmak için, yazarlar tarafından denklem (10)'da tanımlandığı gibi d_{max} için adaptif bir dönüşüm önerilmiştir [11]. Burada önemli olarak dikkate edilmesi gereken optimizasyon sürecinin başında d_{max} değerinin 0,001 gibi nispeten oldukça küçük bir değer olarak alınması gerektiğidir.

$$d_{max}^{i+1} = \left(1 - \left(\left((1 - d_{max}^i) / (iter_{current}) \right) * \exp(-0.25 * rand) \right) \right)^{-1} \quad (10)$$

C. Açgözlü Seçim

Tamamen rastgele seçim yöntemlerinin çalıştırıldığı metasezgisel arama süreçlerinde, özellikle yüksek karmaşıklığa sahip problemler için global başarı elde etmek genellikle imkansız hale gelebilmektedir. Bu nedenle metasezgisel algoritmalarda her bir aday çözüm için amaç fonksiyonu hesaplanarak hangi çözümün daha başarılı olduğunun anlaşılması önemlidir. Yani

algoritma tarafından işletilen seçim yöntemi bu yönüyle tüm arama süreci üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Bu bağlamda, metasezgisel algoritmalarda en yaygın kullanılan seçim stratejilerinden biri açgözlü seçimdir [17]. Bu seçim yaklaşımında açgözlü yöntem benimsenir ve çözüm adayları sadece uygunluk değerlerine göre seçilir. Bir algoritmada açgözlü seçim yapılması, herhangi bir anda seçim kararı vermesi gerektiğinde, içinde bulunduğu durumu en iyi hale getiren hamleyi seçmesi, yani en iyi uygulanabilir çözümü seçmesi anlamına gelir. Bu durum bir çeşit hızlı yakınsama olarak da yorumlanabilir. Adından da anlaşılacağı gibi, açgözlü seçim, bu bilgilerin gelecekteki etkisini tam olarak düşünmeden, yalnızca o anda mevcut olan bilgilerle karar veren bir seçim yöntemidir. Açgözlü seçim işe yararken, çözüme küçük adımlarla yaklaşır ve her adımda en iyisinin seçildiği birden fazla seçenek ortaya çıkabilir. Her zaman en iyi uygulanabilir çözümü seçerek ilerlemek, sonuçta optimum çözüme götürebilir [18]. Açgözlü seçim, özellikle kombinatoriyal optimizasyon problemleri için diğer seçim yaklaşımlarından daha hızlı bir stratejidir [19, 20].

Bu çalışmada aç gözlü seçim amacıyla SDA-BO algoritmasını optimum çözüme yönlendirmek için, her aday çözüm üretildikten ve ardından algoritma tarafından değerlendirildikten sonra, aday çözümün başarısı bir önceki değeriyle karşılaştırılır. Yeni çözümün uygunluğu mevcut çözümden daha iyiyse, bellekteki mevcut çözümler değiştirilir. Aksi takdirde, mevcut çözüm bellekte tutulmaya devam edilir. Başka bir deyişle, mevcut çözümün uygunluğu ile aday çözüm arasında seçim işlemi olarak açgözlü bir seçim devreye sokulur.

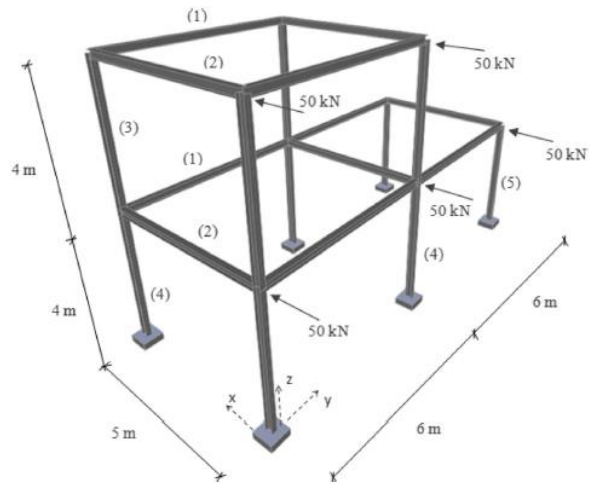
III. TASARIM ÖRNEĞİ VE BULGULAR

Üç boyutlu çelik çerçevesel yapıların optimum boyutlandırma tasarımının gerçekleştirilmesinde açgözlü seçim ile donatılan SDA-BO'nun algoritmik performans üstünlüğünü göstermek için, literatürden alınan ve detayları Şekil 1'de gösterilmiş olan iki katlı, 21 elemanlı üç boyutlu çelik çerçevesel yapı bu çalışmanın tasarım örneği olarak ele alınmıştır [10, 21, 22]. Yapı elemanları 5 grupta toplanmıştır. Bu çelik çerçevesel yapı, z eksenini boyunca 50kN'luk rüzgar yüküne ve tüm kiriş elemanlarına etki eden düzgün yayılı 20kN/m'lik bir yerçekimi yüküne maruz kalmaktadır. Öteleme kısıtlamalarının üst sınırları

ara kat öteleme için 10.0 mm ve en üst kat öteleme için 40 mm olarak belirlenmiştir. Ayrıca, bu tasarım örneğinde, kiriş elemanlarının sehimleri maksimum 14 mm olarak sınırlandırılmıştır. Çelik malzemenin elastisite modülü (E) 200GPa'dır. Bu yapı, optimum tasarım sürecinde LRFD-AISC yönetmeliğinde belirtilen mukavemet (taşıma gücü), stabilite, sehim, ara kat öteleme ve en üst kat ötelemesi ile geometrik kısıtlamalar tarafından zorlanmıştır. Sonuç olarak, tasarım örneği için, bu çalışmada önerilen açgözlü seçim ile donatılan SDA-BO ile elde edilen en hafif yapısal ağırlığa sahip en iyi uygulanabilir çelik çerçeve tasarımı, daha önce literatürde açıklanan aynı tasarım örneği için farklı metasezgisel algoritmalarla elde edilen tasarımlarla karşılaştırılmıştır.

Açgözlü seçim ile donatılan SDA-BO için popülasyon sayısı (N_{pop}), nehir ve deniz toplam sayısı (N_{sr}) ve maksimum iterasyon sayısı (max_{iter}) sırasıyla 200, 8 ve 20000 olarak alınmıştır. Ayrıca, güvenilir ve adil karşılaştırmalar yapabilmek için, tüm değerlendirme kriterleri (uygulanan yükler, malzeme özellikleri ve kısıtlamaların sınırları) daha önce literatürde rapor edilenlerle aynı tutulmuştur.

Her bir kiriş üzerine uygulanan düşey düzgün yayılı yük 20 kN/m'dir



Şekil 1. İki katlı, 21 elemanlı üç boyutlu çelik çerçevesel yapı

Tablo 1'de, iki katlı, 21 elemanlı üç boyutlu çelik çerçevesel yapının minimum tasarım ağırlığı, tasarım kısıtlamalarının çözümde ulaşılan maksimum değerleri sadece açgözlü seçim ile donatılan SDA-BO için değil, aynı zamanda daha önce çalışılan diğer metasezgisel algoritmalar için de yapısal eleman gruplarına atanan çelik kesit tanımlamaları ile birlikte sunulmuştur. Bu

tablodan, açgözlü seçim ile donatılan SDA-BO'nun 4869.77 kg (47.756 kN) minimum ağırlık ile optimum aramayı sonlandırdığı açıkça görülmektedir. Ayrıca, en üst kat ve ara kat ötelemelerinin, taşıma gücü kapasite oranının ve sehimin optimum çözümde ulaşılan maksimum değerleri sırasıyla 19.62 mm, 9.963 mm, 0.848 ve 9.81 mm olarak elde edilmiştir. Bu da kısıtlamaların önerilen maksimum değerlerin altında kalarak optimum çözümün geçerli bir tasarım çözümü olacak şekilde elde edildiğini kanıtlamaktadır. Yine bu tabloya göre açgözlü seçim ile donatılan SDA-BO, bu tasarım örneği için klasik SDA-BO'ya göre %2.877 daha hafif optimal tasarım bulmuştur. Bu da SDA-BO'nun açgözlü seçim ile donatıldığında, algoritmik performansının, global optimum tasarıma doğru işletme kapasitesini artırarak iyileştirildiğini kanıtlamaktadır.

Tablo 1. İki katlı, 21 elemanlı üç boyutlu çelik çerçeveli yapı için elde edilen optimal tasarımlar

Grup no.	Eleman tipi	Algoritmalar				
		Aç gözlü seçim ile donatılan SDA-BO [11]	KKO [21, 22]	SDA-BO [10]	HAA [22]	GA [22]
1	Kiriş	W460x52	W460x60	W460x60	W410x39	W460x39
2	Kolon	W36033	W360x33	W360x33	W460x52	W460x60
3	Kolon	W460x60	W460x52	W410x60	W460x60	W360x72
4	Kolon	W410x67	W460x68	W410x67	W530x74	W460x60
5	Kolon	W310x45	W310x45	W310x39	W310x45	W310x45
Min. ağırlık-kN (kg)		47.756 (4869.77)	48.68 (4964)	49.13 (5009.88)	49.913 (5089.73)	52.483 (5351.80)
Maks. en üst kat ötelemesi (mm)		19.62	18.2	18.5	17.0	20.31
Maks. ara kat ötelemesi (mm)		9.963	9.50	9.50	9.67	10.17
Maks. taşıma gücü kapasite oranı		0.848	0.921	0.852	-	-
Maks. sehim (mm)		9.81	-	-	-	-

IV. TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Bu çalışmada, üç boyutlu çelik çerçeveli yapıların optimum boyutlandırma tasarımını elde etmek için açgözlü seçim ile donatılan buharlaşma oranı tabanlı su döngüsü algoritması (SDA-BO) önerilmiştir. İlâveten, algoritma için oldukça önemli olan optimum aramanın yoğunluğunu kontrol eden d_{max} 'ın adaptif şekilde yeniden biçimlendirilmesini sağlayan bir dönüşüm formülasyonu da önerilmiştir. Açgözlü seçim, algoritmayı küresel optimum tasarıma yönlendirmek için mevcut çözümün uygunluğu ile aday çözüm arasında bir seçim yapmak üzere işletilmektedir. Ayrıca, d_{max} çok yüksek alınır

algoritmanın kapsamlı arama yapmasını engeller ve çok küçük alınır da algoritmanın optimum aramasını denize yakın bir yere çeker. Bu yeni öneriler ile, açgözlü seçim ile donatılan SDA-BO, üç boyutlu çelik çerçevelerin yapısal ağırlığını en aza indirmek için oluşturulan optimizasyon prosedürünün tasarım değişkenleri olarak kabul edilen yapısal eleman gruplarına çelik kesitleri atamak için mevcut bir ayrık kesit listesinden çelik profil seçimi yapar. Ele alınan üç boyutlu çelik çerçeve tasarım örneği için açgözlü seçim ile donatılan ve adaptif d_{max} değerine sahip SDA-BO tarafından elde edilen optimum çerçeve tasarımı, aynı tasarım örneği için literatürde daha önce duyurulan ve konvansiyonel metasezgiseller olarak adlandırılan diğer optimizasyon yöntemleri ile elde edilen tasarımlarla karşılaştırılmıştır. Üç boyutlu çelik çerçeveli yapı optimum tasarım sürecinde, LRFD-AISC yapı yönetmeliği hükümlerine dayalı mukavemet ve stabilite kısıtlamaları, ara kat ve en üst kat öteleme kısıtlamaları, sehim kısıtlamaları ve dış yükler altında geometrik kısıtlamalara tabi tutulmuştur. Tasarım örneği için açgözlü seçim ile donatılan SDA-BO'nun elde etmiş olduğu optimum tasarım sonucu, aynı tasarım örneği için daha önceden karınca kolonisi optimizasyonu (KKO), klasik buharlaşma oranı tabanlı su döngüsü algoritması (SDA-BO), harmoni arama algoritması (HAA) ve genetik algoritmalar (GA) ile elde edilen tasarım sonuçları ile karşılaştırıldığında eski tasarımların sırasıyla %1.935, %2.877, %4.517 ve %9.898 daha ağır oldukları saptanmıştır. Açgözlü seçim ile donatılan SDA-BO ile elde edilen optimum tasarımda tüm tasarım sınırlayıcılarının aktif rol üstlendikleri, lakin optimum tasarım sürecinde limit değerlerine en yakın olan taşıma gücü kapasite oranı ve ara kat öteleme sınırlayıcılarının diğer sınırlayıcılara nispeten daha dominant oldukları görülmüştür.

Sonuç olarak, açgözlü seçim ile donatılan SDA-BO'nun algoritmik çözüm kapasitesinin diğer konvansiyonel metasezgisel algoritmalara kıyasla karmaşık yapıya sahip üç boyutlu çelik çerçeveli yapıların boyutlandırma tasarım problemlerinin çözümlerini elde etmede daha etkili olduğu tespit edilmiştir.

TEŞEKKÜR

Bu bildiriye sunulan sonuçlar kısmen doi.org/10.1007/s13296-022-00616-z numaralı çalışmaya dayanmaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] O. Hasancebi, S. Carbas, E. Doğan, F. Erdal, and M.P. Saka, "Comparison of non-deterministic search techniques in the optimum design of real size steel frames.," *Computers and Structures*. vol. 88, no. 17–18, pp. 1033–1048, 2010.
- [2] O. Hasançebi and S. Carbas, "Bat inspired algorithm for discrete size optimization of steel frames.," *Advances in Engineering Software*. vol. 67, p. 2014.
- [3] S. Carbas, "Optimum structural design of spatial steel frames via biogeography-based optimization.," *Neural Computing and Applications*. vol. 28, no. 6, p. 2017.
- [4] S. Carbas and I. Aydogdu, "Cuckoo Search for Optimum Design of Real-Sized High-Level Steel Frames.," Presented at the (2021).
- [5] S. Carbas, A. Toktas, and D. Ustun, Eds., *Nature-Inspired Metaheuristic Algorithms for Engineering Optimization Applications*. Springer Singapore, 2021.
- [6] H. Eskandar, A. Sadollah, A. Bahreininejad, and M. Hamdi, "Water cycle algorithm - A novel metaheuristic optimization method for solving constrained engineering optimization problems.," *Computers and Structures*. vol. 110–111, pp. 151–166, 2012.
- [7] A. Sadollah, H. Eskandar, A. Bahreininejad, and J.H. Kim, "Water cycle algorithm with evaporation rate for solving constrained and unconstrained optimization problems.," *Applied Soft Computing Journal*. vol. 30, pp. 58–71, 2015.
- [8] H. Eskandar, A. Sadollah, and A. Bahreininejad, "Weight optimization of truss structures using water cycle algorithm.," *International Journal of Optimization in Civil Engineering*. vol. 3, no. 1, pp. 115–129, 2013.
- [9] A. Sadollah, H. Eskandar, A. Bahreininejad, and J.H. Kim, "Water cycle, mine blast and improved mine blast algorithms for discrete sizing optimization of truss structures.," *Computers and Structures*. vol. 149, pp. 1–16, 2015.
- [10] O. Tunca, I. Aydogdu, and S. Carbas, "Structural Design Optimization through Water Cycle Algorithm with Evaporation Rate.," In: *International Conference on Applied Mathematics in Engineering*. pp. 169. , Balıkesir, Turkey (2018).
- [11] S. Carbas, "Optimum Sizing Design of Steel Frame Structures Using Evaporation Rate-Based Water Cycle Algorithm with Greedy Selection.," *International Journal of Steel Structures*. vol. 22, no. 4, pp. 958–981, 2022.
- [12] AISC, *Load and Resistance Factor Design Specification for Structural Steel Buildings*. , Chicago, Illinois, 1999.
- [13] A. Sadollah, D.G. Yoo, J. Yazdi, J.H. Kim, and Y. Choi, "Application of water cycle algorithm for optimal cost design of water distribution systems.," In: *The 11th International Conference on Hydroinformatics*. pp. 516–523. Curran Associates, Inc. , New York City, USA (2014).
- [14] R.M.S. Jafar, S. Geng, W. Ahmad, S. Hussain, and H. Wang, "A comprehensive evaluation: Water cycle algorithm and its applications.," In: J. et al. Qiao, Ed. *The 13th International Conference on Bio-inspired Computing: Theories and Applications*. pp. 360–376. Springer Nature Singapore Pte Ltd., Beijing, China (2018).
- [15] A. Korashy, S. Kamel, A.R. Youssef, and F. Jurado, "Evaporation Rate Water Cycle Algorithm for Optimal Coordination of Direction Overcurrent Relays.," In: *2018 20th International Middle East Power Systems Conference, MEPCON 2018 - Proceedings*. pp. 643–648. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc. (2019).
- [16] S.M.A. Pahneshkolaei, A. Alfi, A. Sadollah, and J.H. Kim, "Gradient-based Water Cycle Algorithm with evaporation rate applied to chaos suppression.," *Applied Soft Computing*. vol. 53, pp. 420–440, 2017.
- [17] L. Cui, G. Li, Z. Zhu, et al., "Adaptive multiple-elites-guided composite differential evolution algorithm with a shift mechanism.," *Information Sciences*. vol. 422, pp. 122–143, 2018.
- [18] Y. Liu, M. Lv, and W. Zuo, "A new multimodal particle swarm optimization algorithm based on greedy algorithm.," *International Journal of Computational Intelligence and Applications*. vol. 11, no. 3, p. 2012.
- [19] X. Xiang, "An improved firefly algorithm for numerical optimisation.," *International Journal of Computing Science and Mathematics*. vol. 6, no. 2, pp. 201–210, 2015.
- [20] J. Xin, J. Zhong, S. Li, J. Sheng, and Y. Cui, "Greedy mechanism based particle swarm optimization for path planning problem of an unmanned surface vehicle.," *Sensors (Switzerland)*. vol. 19, no. 21, p. 2019.
- [21] I. Aydogdu, "Optimum design of 3-d irregular steel frames using ant colony optimization and harmony search algorithms" Middle East Technical University, Ankara, Türkiye, Aug. 2010.
- [22] A.T. Daloglu, M. Artar, K. Özgan, and A. Karakas, "Optimum design of steel space frames including soil-structure interaction.," *Structural and Multidisciplinary Optimization*. vol. 54, no. 1, pp. 117–131, 2016.