

ÇOK PARÇALI BASINÇ ÇUBUKLARININ JAYA ALGORİTMASI İLE OPTİMUM AĞIRLIK TASARIMI

Murat HİÇYILMAZ*^{ID}

Alınma: 16.04.2021; düzeltme:02.07.2021; kabul:12.09.2021

Öz: Metasezgisel optimizasyon yöntemleri 1990'lı yıllardan beri mühendislik problemlerini çözmek için kullanılmaktadır. Sadece bir fazı olan ve probleme özgü bir kontrol parametresi gerektirmeyen Jaya algoritması, çelik yapıların tasarımında oldukça etkili bir metasezgisel yöntemdir. Bu çalışmanın amacı, aksenal kuvvet ve eğilme momenti altındaki çok parçalı basınç çubuklarının ağırlık bakımından optimum tasarımında Jaya algoritmasının kullanılabilirliğini değerlendirmektir. Bununla birlikte, farklı tür ve ebatlardaki profil ve ara bağlantı tiplerinin optimum tasarım üzerindeki etkileri de incelenmiştir. Bu amaçla, kafes örgü elemanı ya da bağ levhaları ile birbirine bağlanan dört farklı tipte çok parçalı basınç çubuğu modeli oluşturulmuştur. Kolon elemanları olarak geniş başlıklı H profiller ve U profiller, kafes örgü elemanı olarak ise eşit kollu korniyerler kullanılmıştır. Kullanılan bu elemanlar sıcak haddelenmiş Avrupa enkesitleri arasından seçilmiştir. Kolon enkesiti ve ara mesafesi, kafes örgü elemanı ve bağ levhalarının enkesit özellikleri ve yerleşimleri ana tasarım değişkenleri olarak kullanılmıştır. Elde edilen nümerik sonuçlar değerlendirildiğinde, Jaya algoritmasının çok parçalı basınç çubuklarının optimum ağırlık tasarımında kullanılabilir olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Optimizasyon, Metasezgisel arama, Jaya algoritması, Çok parçalı basınç çubukları, Eurocode 3

Optimum Weight Design of Built-Up Steel Columns Using The Jaya Algorithm

Abstract: Metaheuristic optimization methods have been used to solve engineering problems since 1990's. The Jaya algorithm which has only one phase and doesn't require any specific control parameters is a very effective metaheuristic method for designing steel structures. The objective of this study is to evaluate the usability of the Jaya in optimum weight design of hot rolled built-up steel columns under compressive axial force and bending moment. However, the effects of different profile and interconnection types on optimum design were also examined. For this purpose, four structural types of built-up columns with two different ways of interconnecting as lacing and battening are used. In a wide range of dimensions, European standard wide flange and channel types of hot-rolled steel sections are used as chords and equal angles as laces. Dimension of chords and the distance between them, dimension and placement of the lacings and battening are used as the main design variables. The numerical results show that Jaya is a very effective and useful algorithm to obtain the optimum weight of built-up steel columns.

Keywords: Optimization, Metaheuristic search, Jaya algorithm, Built-up columns, Eurocode 3

*Afyon Kocatepe Üniversitesi Müh. Fak. İnş. Müh. Böl., A.N.S. Kampüsü 03200, Merkez /AFYONKARAHİSAR)
İletişim Yazarı: Murat HİÇYILMAZ (murathicyilmaz@aku.edu.tr)

1. GİRİŞ

Çok parçalı basınç çubukları (ÇPBÇ) çoğunlukla moment ve eksenel yük birleşimi altındaki çelik yapı elemanları olarak kullanılırlar. Bu çubuklar ana taşıyıcı olarak geniş başlıklı I veya U profillerinden oluşan iki paralel kolonun, kafes örgü elemanı ya da bağ levhaları ile birleştirilmesinden oluşan basınç elemanlarıdır. Tek parçalı basınç çubukları ile karşılaştırıldığında daha hafiftir ve nispeten daha büyük atalet momentine sahiptirler (Waheed ve diğ., 2020). Bununla beraber, uygulanan yükteki planlanmamış eksantrisite ve burkulma etkisi nedeniyle ÇPBÇ kesme deformasyonundan büyük ölçüde etkilenirler. Bu deformasyon, kolonun burkulma direncini azaltır ve mutlaka dikkate alınmalıdır. Kesme deformasyonu etkileri 50'li yılların başında Bleich (1952) ve Timoshenko ve diğ. (1961) tarafından gösterilmiştir. Çok parçalı korniyerlerde yerel burkulma Aslani ve Goel (1991) tarafından incelenmiştir. Çalışmada, daha küçük genişlik-kalınlık oranının lokal burkulma şiddetini azalttığı ve süneklilikte bir artışa yol açtığı gösterilmiştir. İlerleyen yıllarda bağlantıların kesme deformasyonu, geometrik boyutlar ve kolonların narinlik oranı üzerine yapılan nümerik ve deneysel araştırmaların neticesinde (Bredenkamp ve diğ., 1998; Shu ve Fan, 1989; Duan ve diğ., 2002; Liu ve diğ., 2009) kesme etkileri hakkındaki formülasyon, Avrupa Standardı EN 1993-1-1 hükümlerine (EC3, 2002) dahil edilmiştir. Öte yandan, lokal ve global burkulma arasında bir etkileşim vardır. ÇPBÇ bir bütün olarak burkulduğunda buna global burkulma denir. Lokal burkulma kolonlar ve bağlantı elemanlarının bağlı olduğu noktalar arasında meydana gelir (Konstantinos ve diğ., 2011). EC3'e göre (2002) kolon bağlantıları arasındaki lokal burkulma ilk başta gerçekleşeceğinden tüm kolonun güçlü eksen etrafında burkulma kapasitesini kontrol etmek gerekli değildir (Şapalas ve diğ., 2013). Çok parçalı basınç çubuklarının optimum tasarımı Orban ve Farkas (2013) tarafından detaylı olarak incelenmiştir. U ve L enkesitli kolon elemanların boyutları ve aralarındaki mesafe, kafes örgü elemanı ve bağ levhalarının geometrisi ve ebatları ana değişken olarak belirlenmiştir. Kalochairetis ve diğ. (2014) tarafından yapılan deneysel ve nümerik çalışmalar neticesinde ise eksantrik yüklü kafes örgülü çok parçalı basınç çubuklarında, ortaya çıkan moment etkisi altında eksenel taşıma kapasitesinde önemli ölçüde azalma olduğu ortaya konulmuştur.

Çelik yapıların optimizasyonu ekonomik kaygılar nedeniyle büyük önem kazanmıştır. Optimizasyonun kelime anlamı açıklanmak istenirse, kısıtlı tasarım değişkenleri altında amaç fonksiyonunun en iyilenmesi uygun bir tanım olacaktır. Optimizasyonun amacı, bir dizi tasarım kısıtlamasını karşılarken, mühendislik yapılarının maliyetini azaltmaktır. Bu açıklamaya dayanarak, optimum bir ÇPBÇ oluşturmak isteniyor ise, bu eleman en büyük dayanım kapasitesine ve en küçük ağırlığa sahip olmalıdır. Kolon eksenleri arasındaki mesafe ile atalet momenti orantılı olarak değişir. Artan mesafe ile bağlantı elemanları ağırlığı ve maliyeti de artar. Bu noktada bir optimizasyon problemi ortaya çıkar.

Genel olarak, gradyan tabanlı ve metasezgisel olarak iki tür optimizasyon algoritması vardır. Geleneksel yöntemle karşılaştırıldığında, metasezgisel algoritmalar global optimum arama için gradyan bilgileri gerektirmeyen tekniklerdir (Qing, 2009). Metasezgisel algoritmalar üç ana kategoriye ayrılır; sürü tabanlı, evrimsel ve fiziksel algoritmalar (Yıldız ve diğ., 2020). En iyi bilinen sürü tabanlı algoritmalar; parçacık sürü (Kennedy ve Eberhart, 1995), karınca kolonisi (Dorigo, 2006), yapay arı kolonisi (Karaboga ve Basturk, 2007), ateş böceği (Yang, 2010) guguk kuşu (Gandomi ve diğ., 2013), evrimsel algoritmalar; genetik algoritma (Holland, 1975), diferansiyel gelişim (Storn ve Price, 1995), evrim stratejisi (Beyer ve Schwefel, 2002), genetik programlama (Koza, 1992), fiziksel algoritmalar; benzetilmiş tavlama (Kirkpatrick, 1983), büyük patlama-büyük çöküş (Erol ve Eksin, 2006), kara delik (Hatamlou, 2013) ve ışın optimizasyon algoritmalarıdır (Kaveh ve Khayatad, 2012). Tüm bu metasezgisel algoritmalar, popülasyon büyüklüğü ve maksimum iterasyon sayısı gibi ortak kontrol parametrelerinin yanı sıra kendi özel kontrol parametrelerine sahiptir. Özel kontrol parametrelerinin yanlış ayarlanmasının, hesaplama çabasını artırdığı veya yerel bir çözüme takıldığı bilinmektedir. Bu çalışmada basit bir formülasyona sahip olan ve belirli bir kontrol parametresi gerektirmeyen Jaya algoritması (Rao, 2016) kullanılmıştır. Jaya'nın ana fikri en iyi çözüme yaklaşmak ve en kötü çözümden

uzaklaşmaktadır. Bu algoritma birçok mühendislik sorununu çözmek için kullanılmıştır (Abhishek ve diğ., 2016; Rao ve More, 2017; Rao ve diğ. 2016) ancak çelik yapılarda çok yaygın kullanım alanı bulunmamaktadır. Değertekin ve diğ. (2017) Jaya'nın kafes sistemlerin boyutlandırılması, düzeni ve topoloji tasarımına yönelik çalışmışlardır. Çalışma neticesinde Jaya'nın ağırlık vb. karşılaştırmalar için gradyan tabanlı algoritmalara göre daha iyi sonuçlar elde ettiği belirtilmiştir. Du ve diğ. (2018) optimizasyon tabanlı hasar tanımlama sorununu çözmek için Jaya'yı kullanmış ve tatmin edici bir doğrulukla hasarın yerinin ve seviyesinin nicel değerlendirmesini sunabilen bir algoritma ortaya koymuşlardır. 72 parçalı uzaysal kulenin sürekli tasarım optimizasyonu ve 244 parçalı uzaysal kulenin ayrık tasarım optimizasyonu Değertekin ve diğ. (2018) tarafından incelenmiştir. Çelik ızgara bir yapının optimum tasarımı Dede (2018) tarafından incelenmiştir. Grzywiński ve diğ. (2019) doğal frekans kısıtlamaları altında kubbe yapılarının boyut ve şekil optimizasyonu üzerine çalışmışlardır.

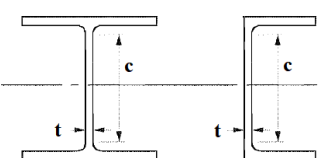
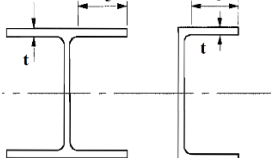
Bu çalışmada, aksenal kuvvet ve eğilme momenti altında bulunan sıcak haddelenmiş çok parçalı basınç çubuklarının ağırlık bakımından optimum tasarımında Jaya algoritmasının kullanılabilirliği araştırılmıştır. Bununla birlikte, farklı profil ve ara bağlantı tiplerinin optimum tasarım üzerindeki etkileri de incelenmiştir. Sayısal çalışma için dört farklı modelde çok parçalı basınç çubuğu oluşturulmuştur. Bunlar geniş başlıklı Avrupa H profilleri veya U profilleri ile oluşturulan esas kolonların , kafes örgü elemanı ya da bağ levhaları ile birleştirilmesi ile oluşturulur. Kafes örgü elemanları mafsallı olarak, bağ levhaları ise moment taşıyacak biçimde teşkil edilmiştir. Tasarım değişkenleri, kolonların geometrik boyutları ve aralarındaki mesafenin yanı sıra, kafes örgü elemanı ve bağ levhalarının boyutları ve yerleşim geometrileridir. Hesaplamalar, Avrupa Standardı EN 1993-1-1 hükümlerinde belirtilen gereksinimlere bağlı kalınarak yapılmıştır (EC3, 2002). Tasarım algoritması, tasarım kısıtlamalarını karşılayan en uygun kolon ve ara bağlantı boyutlarını seçer. Çalışmanın geri kalanı şu şekilde düzenlenmiştir: Bölüm 2'de EC3'e göre çok parçalı kolonların tasarımı açıklanmıştır. Bölüm 3'de optimizasyon probleminin formülasyonu ve tasarım kısıtlamaları tanımlanmıştır. Bölüm 4'de Jaya algoritması açıklanmış ve Bölüm 5'de yapılan nümerik çalışmalar sunulmuştur. Bölüm 6'da çalışmadan elde edilen sonuçlar verilmiştir

2. EC3'E GÖRE ÇOK PARÇALI BASINÇ ÇUBUKLARININ TASARIMI

2.1. Kesit Sınıflandırılması

EC3'te (2002) bir kesitin genişlik ve kalınlık oranına bağlı olarak dört farklı kesit sınıfı (1-2-3-4) tanımlanır. Kesitin farklı kısımları farklı sınıflarda ise en yüksek sınıf dikkate alınmalıdır. Gövde ve başlık kısımları için kesit sınıflandırma aralıkları Tablo 1'de verilmiştir.

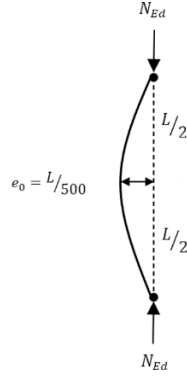
Tablo 1. Kesit sınıflandırması

Sınıf	Gövde	Başlık
1	$c/t \leq 33\varepsilon$	$c/t \leq 9\varepsilon$
2	$c/t \leq 38\varepsilon$	$c/t \leq 10\varepsilon$
3	$c/t \leq 42\varepsilon$	$c/t \leq 14\varepsilon$
4	$c/t > 42\varepsilon$	$c/t > 14\varepsilon$
$\varepsilon = \sqrt{235/f_y}$		

Tabloda görülen c katsayıları gövde yüksekliği ve başlık genişliğinin yarısı olarak dikkate alınmalıdır. Profil özelliğine bağlı olarak dönüş yarıçapları da bu mesafeden düşülmelidir. t katsayıları ise gövde ve başlık kalınlığını ifade etmektedir. ε değeri ise ilgili tabloda sunulmuştur.

2.2. Basınç Çubuğunda Öngörülen Dışmerkezlik

Basınç çubuğunda dışmerkezlik, gövde ortasında olduğu öngörülen $e_0 = L/500$ yerdeğiştirmesi ile hesaplanabilir. Burada L basınç çubuğunun boyudur.

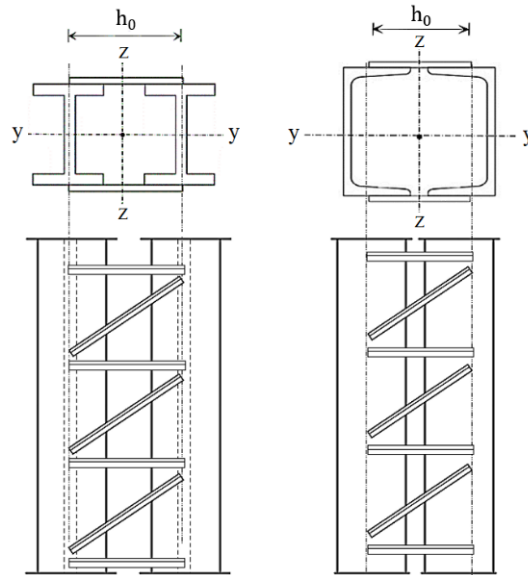


Şekil 1:
Basınç çubuğunda öngörülen dışmerkezlik

2.3. Etkili Atalet Momenti

2.3.1. Kafes Örgü Elemanı ile Tasarım

H ve U profillerden oluşan ve kafes örgü elemanı ile birbirine bağlanan ÇPBC'na ait geometrik detaylar Şekil 2'de görülmektedir.



Şekil 2:
Kafes örgü elemanı ile tasarım

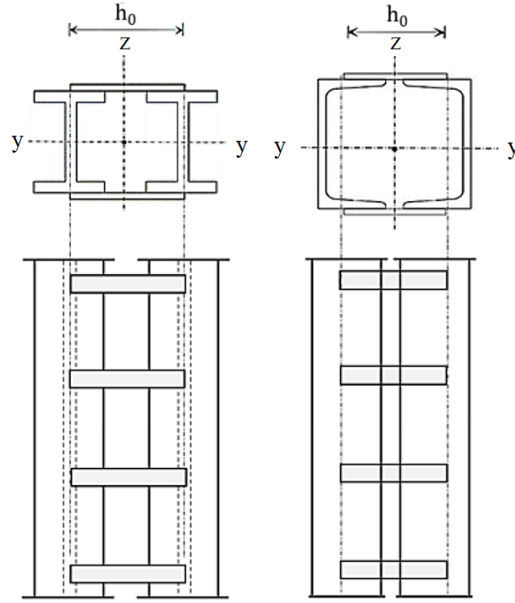
Bu tür birleşimler için etkili atalet momenti hesabı aşağıdaki denklemden hesaplanabilir.

$$I_{eff} = 0.5 h_0^2 A_{ch} \quad (1)$$

Denklem 1’de h_0 kolon merkezleri arası mesafe, A_{ch} bir kolon elemanının enkesit alanıdır.

2.3.2. Bağ Levhaları ile Tasarım

H ve U profillerden oluşan ve bağ levhaları ile birbirine bağlanan ÇPBÇ’na ait geometrik detaylar Şekil 3’de görülmektedir.



Şekil 3:

Bağ levhaları ile tasarım

Bu tür birleşimler için etkili atalet momenti hesabı aşağıdaki denklemden hesaplanabilir.

$$I_{eff} = 0.5 h_0^2 A_{ch} + 2\mu I_{ch} \quad (2)$$

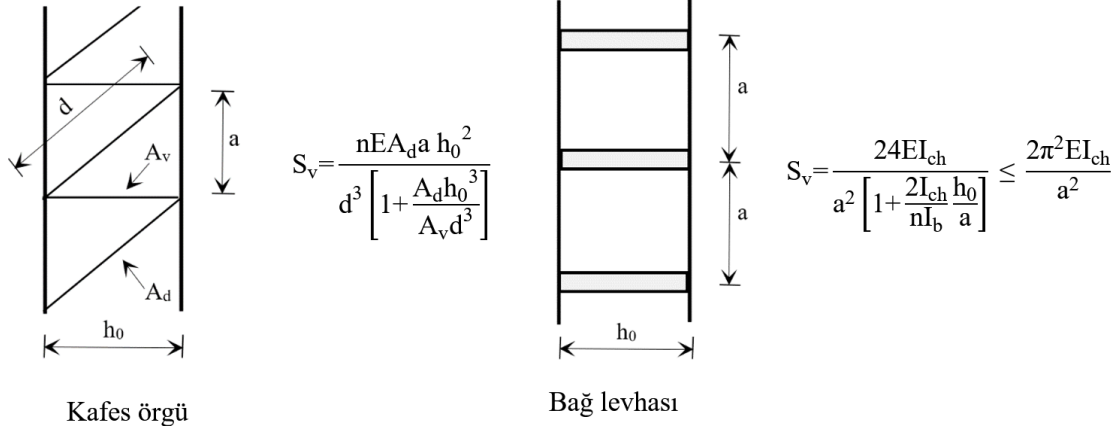
Denklem 2’de h_0 kolon merkezleri arası mesafe, A_{ch} bir kolon elemanının enkesit alanı, I_{ch} bir kolona ait atalet momenti, μ ise Tablo 2’den alınabilecek verimlilik faktörüdür.

Tablo 2. Verimlilik faktörü

Kriter	μ
$\lambda \geq 150$	0
$75 < \lambda < 150$	$2 - \frac{\lambda}{75}$
$\lambda \leq 75$	1.0
$\lambda = \frac{L}{i_0}$ $i_0 = \sqrt{\frac{I_1}{2A_{ch}}}$ $I_1 = 0.5 h_0^2 A_{ch} + 2I_{ch}$	

2.4. Kesme Rijitliği

Çok parçalı bir basınç çubuğunda kesme rijitliğini S_v hesaplamak için, kafes örgü elemanı ve bağ levhalarının elastik deformasyonları dikkate alınmalıdır. N şekilli kafes örgü elemanı ve bağ levhası için kesme rijitliği hesabı Şekil 4'te verilmiştir.



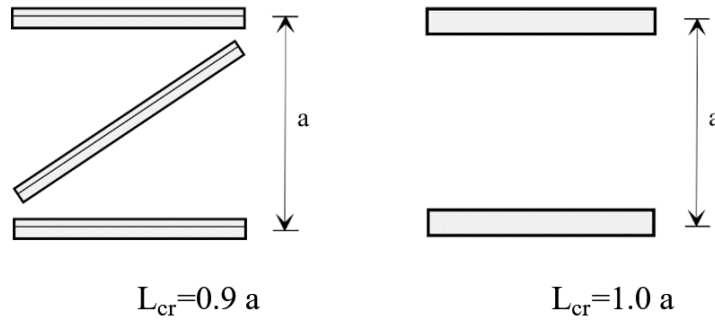
Şekil 4:

Kafes örgü elemanı ve bağ levhası için kesme rijitliği hesabı

Şekil 4'te n kafes örgü elemanı düzlem sayısı, A_d ve A_v örgü elemanların enkesit alanı, d diyagonal uzunluğu, a yatay bağlantılar arası düşey mesafe ve I_{ch} bir kolon elemanının ataletidir.

2.5. Kolon Burkulma Boyu

Çok parçalı basınç çubuklarında bir kolonun burkulma direncini hesaplamak için $z-z$ ve $y-y$ eksenleri etrafındaki burkulma davranışı dikkate alınmalıdır. Kolonun burkulma direncinin belirlenmesini etkileyen ana faktör burkulma boyudur. Çok parçalı bir kolon yanal olarak desteklenmiyorsa, kolonun $y-y$ eksenini (düzlem dışı) etrafında burkulma boyu kolonun boyuna eşit olarak alınabilir. Bununla birlikte, $z-z$ eksenini (düzlem içi) etrafında burkulma boyu hesaplaması biraz daha karmaşıktır. Bu değer kafes örgü elemanı ve bağ levhası türü bağlantılar için sırasıyla $0.9a$ ve $1.0a$ olarak alınabilir. Bağlantı detayları ve hesaba alınan burkulma boyu Şekil 5'te görülmektedir.



Şekil 5: *Kafes örgü elemanı ve bağ levhası için L_{cr} burkulma boyu*

2.6. Çok parçalı basınç çubuğunda eksenel kuvvet kapasitesi

Çok parçalı basınç çubuğunda $N_{ch,Ed}$ tasarım eksenel kuvvet değerini tanımlamak için önce M_{Ed} tasarım eğilme momentinin belirlenmesi gerekir. EC3'e göre (2002) iki özdeş kolonlu bir eleman için tasarım eksenel kuvvet değeri Denklem 3 ile belirlenebilir.

$$N_{ch,Ed} = 0.5N_{Ed} + \frac{M_{Ed} h_0 A_{ch}}{2I_{eff}} \quad (3)$$

Denklem 3'te h_0 kolonların merkezleri arası mesafe, A_{ch} bir kolona ait enkesit alanı, I_{eff} kolon etkin atalet momenti ve M_{Ed} kolonun ortasında ikinci mertebe etkilerin de göz önünde bulundurulduğu tasarım eğilme momenti olup değeri şu şekilde hesaplanabilir:

$$M_{Ed} = \frac{N_{Ed} e_0 + M_{Ed}^I}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr}} - \frac{N_{Ed}}{S_v}} \quad (4)$$

Denklem 4'de N_{Ed} tasarım basınç kuvveti, M_{Ed}^I kolon ortasında ikinci mertebe etkiler dikkate alınmadan hesap edilen maksimum moment, S_v kafes örgü elemanı ya da bağ levhalarının kesme rijitliğidir. N_{cr} ise kritik burkulma yükü olup Denklem 5 ile hesaplanabilir. Bu denklemde yer alan L kolon boyunu göstermektedir.

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 EI_{eff}}{L^2} \quad (5)$$

2.7. Kolon Tasarım Burkulma Kuvveti Hesabı

EC3'e göre (2002) kolon tasarım burkulma kuvveti $N_{b,Rd}$ basınç elemanının sınıfına bağlı olarak aşağıdaki denklemler yardımıyla hesaplanabilir.

$$\begin{aligned} N_{b,Rd} &= \frac{\chi A f_y}{\gamma} && \text{Sınıf 1-2-3} \\ N_{b,Rd} &= \frac{\chi A_{eff} f_y}{\gamma} && \text{Sınıf 4} \end{aligned} \quad (6)$$

Denklem 6'da χ azaltma faktörü, f_y akma gerilmesidir. Azaltma faktörü Denklem 7 ile hesaplanabilir.

$$\begin{aligned} \chi &= \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \lambda^2}} \\ \Phi &= 0.5 [1 + \alpha (\lambda - 0.2) + \lambda^2] \end{aligned} \quad (7)$$

Denklem 7'de α hata faktörüdür ve değeri Tablo 3'ten alınabilir.

Tablo 3. Burkulma eğrileri için hata faktörü değerleri

Burkulma eğrisi	a ₀	a	b	c	d
α	0,13	0,21	0,34	0,49	0,76

Denklem 7’de yer alan λ ise basınç elemanının sınıfına bağlı olarak hesaplanacak olan boyutsuz narinlik değeridir ve Denklem 8 ile elde edilir.

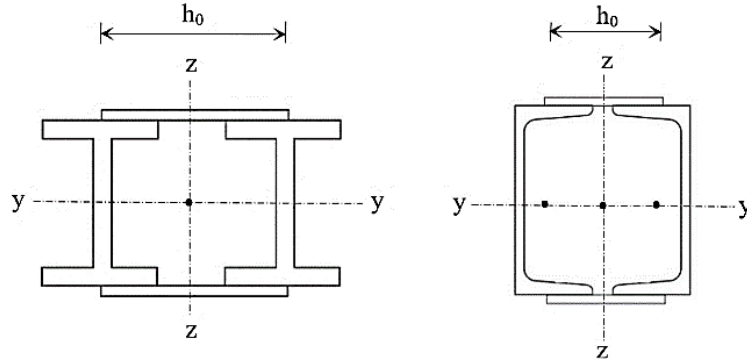
$$\lambda = \sqrt{\frac{A f_y}{N_{cr}}} \quad \text{Sınıf 1-2-3} \quad (8)$$

$$\lambda = \sqrt{\frac{A_{eff} f_y}{N_{cr}}} \quad \text{Sınıf 4}$$

3. OPTİMİZASYON PROBLEMİNİN FORMÜLASYONU VE TASARIM KISITLARI

3.1. Tasarım Değişkenleri

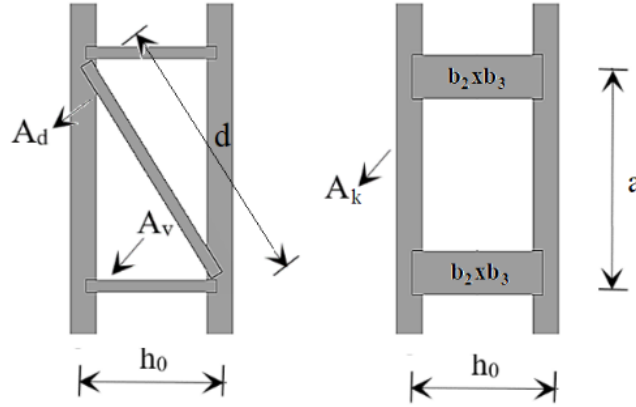
Çok parçalı basınç çubuğunun ağırlığını en aza indirebilmek için kolonların enkesitleri, kolon ağırlık merkezleri arasındaki mesafe h_0 , bağlantı türü kafes örgü elemanı ise kullanılan diyagonal ve yatay elemanların enkesitleri, bağlantı türü bağ levhası ise levhanın boyutları ile bağlantı elemanları için toplam modül sayısı ana değişkenlerdir. Modül sayısı; çok parçalı basınç çubuğunun, kafes elemanlar ya da bağ levhaları vasıtasıyla kaç parçaya ayrılacağıdır. Şekil 6’da kolon enkesitleri ve ÇPBC’nu oluşturan profillerin ağırlık merkezleri arası mesafe değişimi görülmektedir.



Şekil 6:

Kolon enkesitleri ve elemanlar arası mesafe değişimi h_0

Çok parçalı basınç çubuğunun atalet momenti kolon ağırlık merkezleri arasındaki mesafeye bağlı olarak değişecektir. Bununla beraber artan mesafe ile kolon ağırlığının da artacağı göz önünde bulundurulmalıdır



Şekil 7:

İki farklı bağlantı tipine ait modüller

Çalışmada h_0 aralığı 250 ila 2000 mm olarak belirlenmiştir. Kolon elemanları geniş başlıklı H profil olan modellerde HEA100 - HEB1000 aralığında toplam 48 enkesit, U profil olan modellerde ise UPN100 - UPN400 aralığında toplam 15 enkesit olarak belirlenmiştir. Kafes örgü elemanları L20x20x3-L250x250x35 aralığında toplam 76 enkesit, bağ levhaları ise 50x5-500x10 aralığında toplam 60 dikdörtgen plaka olarak belirlenmiştir. Kafes örgü elemanları ve bağ levhaları için yatay mesafe h_0 'dır. Optimizasyonda diğer bir tasarım değişkeni ise n toplam modül sayısıdır. EC3'e göre (2002) bir kolondaki minimum modül sayısı 3 olmalıdır. Bu çalışmada bir kolon için seçilebilecek modül sayısı aralığı 3 – 10 olarak belirlenmiştir. İki farklı bağlantı tipine ait 1'er adet modül Şekil 7'de görülmektedir.

3.2. Amaç Fonksiyonu

Bu çalışmada kullanılan çok parçalı basınç çubukları, kolon elemanları (bir ÇPBC için toplam 2 adet H ya da U profil) ve bağlantı elemanlarından (kafes örgü elemanı ya da bağ levhası) oluşmaktadır. Optimizasyon algoritmasının amacı: kolon ve bağlantı elemanlarının toplam ağırlığını en aza indirebilmektir. Amaç fonksiyonu kafes örgü elemanı ve bağ levhalı birleşimler için sırasıyla Denklem 9 ve Denklem 10'da belirtilmiştir.

$$F(x) = W_{kafes} = [2A_k L + n A_d d + (n + 1) A_v h_0] \gamma_s \quad (9)$$

$$F(x) = W_{bağ} = [2A_k L + (n + 1) h_0 b_2 b_3] \gamma_s \quad (10)$$

Yukarıdaki denklemlerde W çok parçalı basınç çubuğunun toplam ağırlığı, A_k algoritma tarafından seçilen kolonun enkesit alanı, L toplam kolon boyu (10 m), n toplam modül sayısı (3-10 aralığında bir tamsayı), A_d ve A_v sırasıyla seçilen diyagonal ve yatay bağlantı elemanı enkesit alanı, h_0 kolonlar arası mesafe (250 - 2000 mm aralığında), b_2 ve b_3 sırasıyla bağ levhasının eni ve kalınlığı, γ_s çelik malzemenin birim hacim ağırlığıdır (7850 kg/m³).

3.3. Tasarım kısıtları

Bu çalışmada tasarım eksenel kuvvet değerinin, tasarım burkulma kuvvetine oranı tasarım kısıtı olarak belirlenmiştir. Kolonlar, kafes örgü elemanındaki diyagonal ve yatay elemanlar ile bağ levhası için bu kısıtlar Denklem 11-14'de verilmektedir.

$$g_{kolon} = \frac{N_{ch,Ed}}{N_{b,Rd}} - 1 \leq 0 \quad (11)$$

$$g_{diyagonal} = \frac{N_{d,Ed}}{N_{d,Rdd}} - 1 \leq 0 \quad (12)$$

$$g_{yatay} = \frac{N_{y,Ed}}{N_{y,Rdy}} - 1 \leq 0 \quad (13)$$

$$g_{bağ} = \frac{N_{b,Ed}}{N_{b,Rdb}} - 1 \leq 0 \quad (14)$$

Denklem 11-14'de $N_{ch,Ed}$ kolon aksenal tasarım kuvveti, $N_{b,Rd}$ kolon burkulma tasarım kuvveti, $N_{d,Ed}$ diyagonal aksenal tasarım kuvveti, $N_{d,Rdd}$ diyagonal burkulma tasarım kuvveti, $N_{y,Ed}$ yatay eleman aksenal tasarım kuvveti, $N_{y,Rdy}$ yatay eleman burkulma tasarım kuvveti, $N_{b,Ed}$ bağ elemanı aksenal tasarım kuvveti, $N_{b,Rdb}$ bağ elemanı burkulma tasarım kuvvetidir.

Algoritma tarafından kısıtlanmamış alanlarda bulunan çözümleri ortadan kaldırmak için ceza fonksiyonları tanımlanmıştır. Bu sayede uygun çözüm aralığının dışında kalan aday çözümleri bu alandan çıkarılır. Mevcut araştırmada cezai ağırlık W_p şu şekilde hesaplanacaktır;

$$W_p = W + C \quad (15)$$

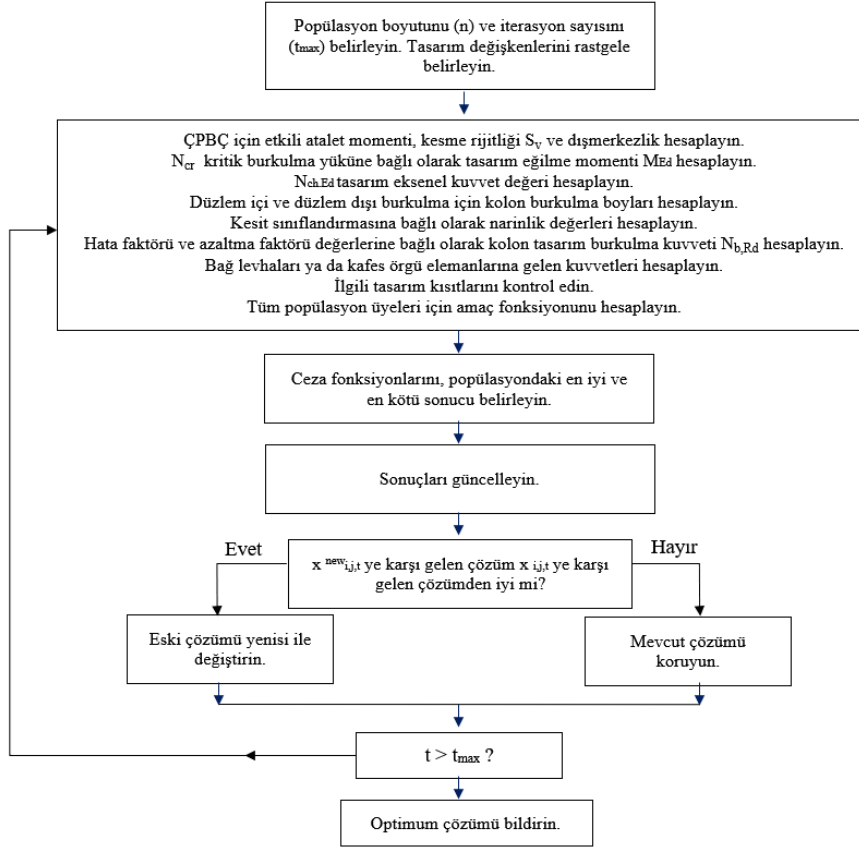
Denklem 15'de W , ÇPBÇ toplam ağırlığı, C ise ceza fonksiyonudur ve;

$$C = \alpha (g_i)^2 \quad (16)$$

formülü ile hesaplanacaktır. Denklem 16'da α sabit bir değer olup, kısıtların ve sistemin ağırlığının ne derece etkili olacağını belirlemektedir. Bu çalışmada α değeri 1000 olarak seçilmiştir. Seçilen bu değer, kısıtları ihlal eden çözüm adaylarının ortadan kaldırılmasında etkili bir rol oynamıştır. g_i ilgili iterasyonda elde edilen en büyük tasarım kısıtıdır.

4. JAYA ALGORİTMASI

Jaya algoritması belirli bir kontrol parametresi gerektirmeyen basit bir formülasyona sahiptir. Yalnızca popülasyon boyutu ve iterasyon sayısı gibi iki standart denetim parametresi gerektirir (Değertekin ve diğ., 2017). Jaya'nın ana fikri en iyi çözüme yaklaşmak ve en kötü çözümden uzaklaşmaktır. Algoritma, basitliği nedeniyle mühendislik problemlerine kolayca uygulanabilir.



Şekil 8:

Jaya algoritması ile optimum tasarım akış şeması

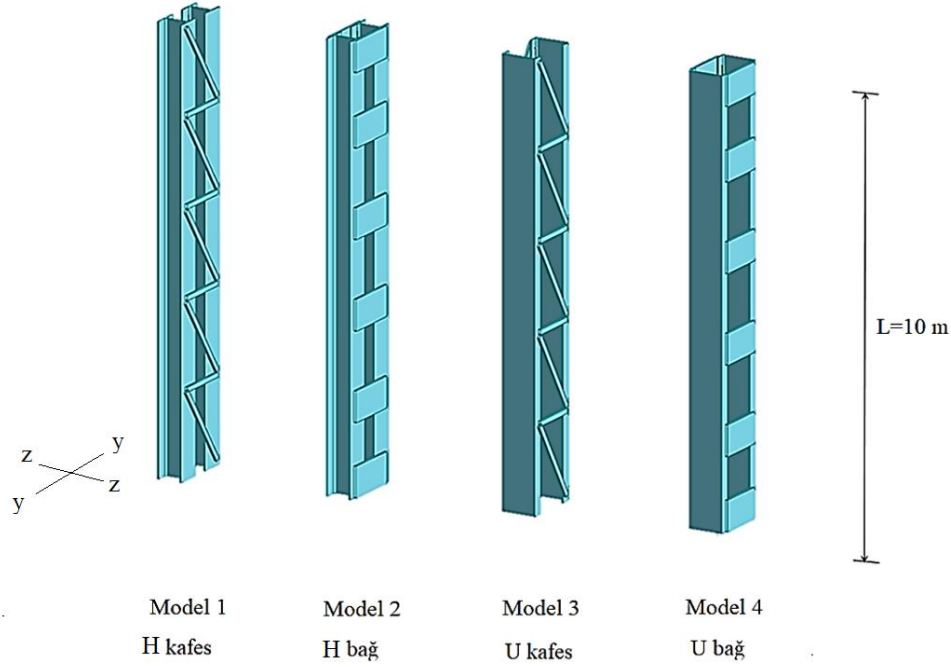
Denklem 17'de t. iterasyonda j. adayın i. değişkeni olan $x_{i,j}$ nin güncellenme prosedürü verilmiştir.

$$x^{new}_{i,j,t} = x_{i,j,t} + r_{1,i,t} (X_{i,best,t} - |x_{i,j,t}|) - r_{2,i,t} (x_{i,worst,t} - |x_{i,j,t}|) \quad i = 1, 2, \dots, n; \quad j = 1, 2, \dots, n_{dv} \quad (17)$$

Burada $x^{new}_{i,j,t}$ tasarım değişkeninin güncellenmiş değeri, $r_{1,i,t}$ ve $r_{2,i,t}$ i. değişken için t. iterasyon sırasında [0, 1] aralığındaki iki rastgele sayıdır. $x^{new}_{i,j,t}$ daha iyi bir değer ise $x_{i,j,t}$ değeri ile değiştirilir. Bu prosedür tüm aday çözümler için geçerlidir. En iyi değerler korunur ve bir sonraki iterasyonun girdileri olarak kullanılırlar (Rao ve diğ., 2016). Çok parçalı basınç çubuklarının Jaya algoritması ile optimum tasarım akış şeması Şekil 8'de gösterilmiştir.

5. NÜMERİK ÇALIŞMA

Nümerik çalışmada kafes örgülü H profil, bağ levhalı H profil, kafes örgülü U profil ve bağ levhalı U profil olmak üzere toplam 4 adet ÇPBÇ modeli kullanılmıştır. Çözüm algoritması MATLAB (2016) programlama dilinde kodlanmıştır. Kolonlar başlangıç ve bitiş noktalarında düzlem içi ve düzlem dışı olmak üzere mafsallı olarak tanımlanmıştır. Bununla beraber kafes örgü elemanları her iki uçları mafsallı olarak, bağ levhaları ise ankastre olarak tanımlanmıştır. Kafes örgü elemanları ve bağ levhaları her iki yüzde simetrik ve sürekli olarak teşkil edilmiş, kolon başlangıç ve bitiş noktalarında bağ levhası kullanılmıştır. Çok parçalı basınç çubuklarının geometrisi Şekil 9'da görülmektedir.



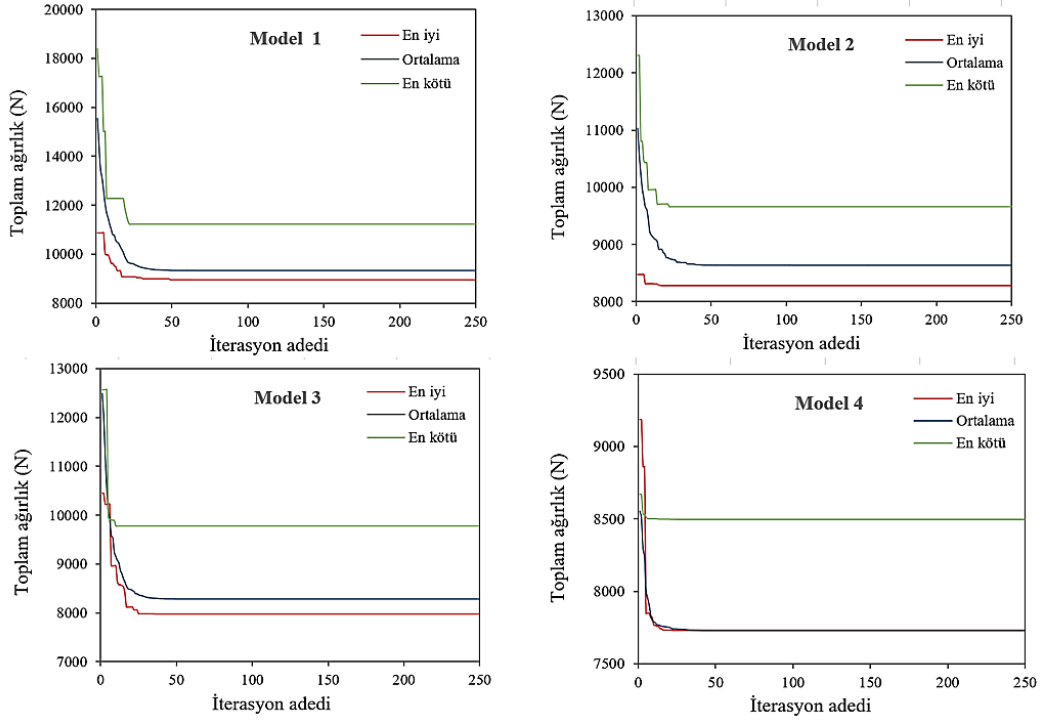
Şekil 9:
ÇPBC'nin geometrisi

Tüm modeller için toplam yükseklik 10 m'dir. Modellerin optimum ağırlığının karşılaştırılabilmesi amacıyla tüm modellere eşit aksenal kuvvet ve eğilme momenti (z-z ekseninde) uygulanmıştır. Bu değerler $N_{Ed}=1000$ kN ve $M_{Ed}^1=600$ kNm olarak tayin edilmiştir. ÇPBC'nde tüm elemanlar için elastisite modülü 200000 Mpa, çelik sınıfı ise S235 olarak seçilmiştir. Yapılan ön çalışma neticesinde 50 üstü popülasyon sayılarının çalışma hızını düşürdüğü bununla beraber 250'den büyük iterasyon sayılarının da daha iyi bir yakınsama sağlamadığı anlaşıldığından, Jaya algoritması çalıştırılırken popülasyon boyutu tüm modeller için 50, en büyük iterasyon sayısı ise 250 olarak belirlenmiştir.

Tablo 4. Optimize edilmiş ağırlıklar için elde edilen değerler

	En iyi	Ortalama	En kötü
Model 1	8952	9334	11229
Model 2	8280	8638	9660
Model 3	7976	8284	9778
Model 4	7730	7731	8497

İlgili sayıyı aşan çözümlerde anlamlı bir fark gözlenmediğinden, her model birbirinden bağımsız olarak 20 kez çalıştırılmıştır. Analizler sonucu elde edilen en iyi, en kötü, ortalama ağırlık ve standart sapma değerleri Tablo 4'te görülmektedir. Her model için 20 çalıştırma sonucu elde edilen en iyi ağırlık değerlerinin, ortalama ağırlık değerlerinden sırasıyla % 4,1, % 4,1, % 3,7 ve % 0,0 daha düşük, benzer şekilde en kötü ağırlık değerlerinin ortalama ağırlık değerlerinden sırasıyla % 20,3, % 11,8, % 18,0 ve % 9,9 daha yüksek olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Bununla birlikte 20 çalıştırma sonucu en iyi değer elde edilme yüzdeleri; Model 1 için % 15, Model 2 için % 25, Model 3 için % 45 ve Model 4 için % 5 şeklindedir. Jaya algoritması kullanılarak gerçekleştirilen optimizasyon neticesinde, tüm modeller için elde edilen yakınsama eğrileri Şekil 10'da sunulmuştur.



Şekil 10:

Tüm modeller için yakınsama eğrileri

Jaya algoritmasının yakınsama hızının tüm modeller için kabul edilebilir mertebede olduğu söylenebilir. Algoritma genel anlamda 40 iterasyondan önce optimum sonuçlara ulaşmıştır. Amaç fonksiyonu olarak optimize edilen toplam ağırlığın hızlı ve istikrarlı bir şekilde azaltılması, Jaya algoritmasının ÇPBC'nin optimum ağırlık tasarımında kullanılabilir olduğu sonucunu ortaya koymaktadır. Tablo 5'de en iyi ağırlık değerlerinin elde edildiği durumlar için sonuç tasarım değişkenleri görülmektedir.

Tablo 5. Sonuç tasarım değişkenleri

Model	Algoritma tarafından seçilen enkesitler				Modül sayısı	h _o (mm)	Optimum ağırlık (N)
	Kolon	Diyagonal	Yatay	Bağ levhası			
Model 1	HEA200	L 30×30×3	L 25×25×4	-	8	848	8952
Model 2	HEA180	-	-	50×7	10	1945	8280
Model 3	UPN260	L 30×30×3	L 20×20×3	-	10	470	7976
Model 4	UPN265	-	-	50×5	6	533	7730

Tablo 5'de 4 farklı ÇPBC modeli için optimum ağırlık değerleri, bu değerleri elde etmek için algoritma tarafından seçilen enkesitler, modül sayıları ve kolon enkesitleri arası mesafeler gösterilmiştir. Amaç fonksiyonu olarak seçilen toplam ağırlığın en düşük değeri, UPN265 kolon enkesitinin, 50×5 mm bağ levhası ile birleştirildiği, kolonlar arası mesafenin 533 mm seçilerek toplam 6 modülün kullanıldığı ve sonuç olarak 7730 N değerine ulaşılan Model 4'te elde edilmiştir. En yüksek değer ise 8952 N ile Model 1'de elde edilmiştir. Optimizasyon sonucu elde edilen en yüksek ve düşük ağırlıklar arasında %15,81 fark dikkat çekicidir. ÇPBC'nin boyutlandırılması aşamasında seçilen tasarım değişkenlerinin, nihai ağırlıklara ve dolayısıyla

yapının maliyetine olan etkileri büyük önem taşımaktadır. Optimum tasarım, oldukça geniş bir enkesit kütüphanesi, modül sayısı ve h_0 mesafesi ile tasarım kısıtlarını sağlayan tasarım değişkenlerinin seçilebilmesine olanak sağlaması bakımından mühendislik yapılarının tasarımına yeni bir bakış açısı getirmiştir.

Tasarım kısıtı sonuçları irdelendiğinde, dört model için de iyi ağırlık değerlerinin elde edildiği durumlarda g_{kolon} değerlerinin (eksenel kuvvet değerinin, tasarım burkulma kuvvetine oranı) 0,95 ile 0,99 arasında değiştiği tespit edilmiştir. Amaç fonksiyonunun minimize edilmesinde en belirleyici ve baskın olan faktörün kolon kapasitelerinin en iyi şekilde kullanımı olduğu görülmüştür. Bunun için algoritmanın mümkün olduğunca hafif kolon elemanlarına yöneldiği görülmektedir Bununla beraber algoritma, toplam ağırlığı azaltmak için kafes örgü elemanları ve bağ levhaları enkesitlerinin azaltılmasına izin veren çok sayıda modülü seçmeyi tercih etmiştir. Düşük modül sayılarının kolonlarda nispeten yüksek bir burkulma boyuna ve dolayısıyla lokal burkulmaya sebebiyet vereceği de açıktır.

6. SONUÇLAR

Bu çalışma, aksel kuvvet ve eğilme momenti altındaki çok parçalı basınç çubuklarının ağırlık bakımından optimum tasarımında Jaya algoritmasının kullanılabilirliğine odaklanmıştır. Bununla birlikte, farklı tür ve ebatlardaki profil ve ara bağlantı tiplerinin bu tasarım üzerindeki etkileri de incelenmiştir. Nümerik çalışmadan elde edilen sonuçlar, Jaya'nın çok parçalı basınç çubuklarının optimum tasarımında başarıyla kullanılacak verimli ve güçlü bir tasarım algoritması olduğunu göstermiştir. Bu sonuç literatüre sağlayacağı katkı bakımından önemlidir. Bununla beraber, çalışma farklı metasezgisel algoritmalar kullanılarak yapılacak ÇPBC çalışmalarına da yol gösterebilir.

ÇPBC'nin boyutlandırılması aşamasında, kolon enkesitleri ve bunlar arasındaki mesafe, bağlantı türleri ve bu bağlantılarda kullanılan elemanların enkesitleri ve modül sayıları gibi birçok değişken bulunmaktadır. Tasarım değişkenleri seçiminden önce farklı varyasyonların denenmesinin, en iyi sonuca ulaşılmasına büyük ölçüde katkı sağladığı elde edilen önemli bir çıkarımdır.

Nümerik çalışmada en iyi değerler, U profilin bağ levhası ile birleştirilmesi sonucunda elde edilmiştir. Bu sonuç sadece bu çalışmaya özeldir ve farklı yüklemeler ve geometriler altında değişkenlik göstermesi muhtemeldir.

En iyi amaç fonksiyonuna ulaşacak değişkenlere karar vermek, bir uzman algısıyla bile çoğu zaman mümkün değildir. Bununla birlikte tüm ihtimallerin tek tek değerlendirilmesi de hem zaman hem de mantık sınırlarını zorlayacaktır. Metasezgisel algoritmalar her ne kadar en iyi sonuç garantisi vermeseler de, Jaya algoritmasının çok parçalı basınç çubuklarının optimum tasarımında kullanılabilir olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

ÇIKAR ÇATIŞMASI

Yazar, bilinen herhangi bir çıkar çatışması veya herhangi bir kurum/kuruluş ya da kişi ile ortak çıkar bulunmadığını onaylamaktadır.

YAZAR KATKISI

Murat Hiçyılmaz, çalışmanın kavramsal ve/veya tasarım süreçlerinin belirlenmesi ve yönetimi, veri toplama, veri analizi ve yorumlama, makale taslağının oluşturulması, fikrinsel içeriğin eleştirel incelemesi, son onay ve tam sorumluluk.

KAYNAKLAR

1. Abhishek, K., Kumar, V.R., Datta, S. ve Mahapatra, S.S. (2016) Application of jaya algorithm for the optimization of machining performance characteristics during the turning of cfrp (epoxy) composites: comparison with tlbo, ga, and ica, *Engineering with Computers* DOI: 10.1007/s00366-016-0484-8
2. Aslani, F. ve Goel, S.C. (1991) Stitch spacing and local buckling in seismicresistant double-angle braces, *J Struct Eng ASCE* 117 2442–63. DOI: 10.1061/(ASCE)0733-9445(1991)117:8(2442)
3. Beyer, H.G. ve Schwefel, H.P. (2002) Evolution strategies a comprehensive introduction, *Nat Comput*, 1 3–52. DOI: 10.1023/A:1015059928466
4. Bleich, F. (1952) Buckling strength of metal structures, *2nd ed. New York: McGraw-Hill Book Company*.
5. Bredenkamp, P.J., Berg, G.J. ve Johannesburg, P.M. (1998) The behaviour of hot-rolled and built-up stainless steel structural members, *J. Construct. Steel Res.* 46.
6. Dede, T. (2018) Jaya algorithm to solve single objective size optimization problem for steel grillage structures, *Steel and Composite Structures*, 26, 163-170. DOI: 10.12989/scs.2018.26.2.163
7. Değertekin, S.O., Lamberti, L. ve Uğur, İ.B. (2018) Sizing, layout and topology design optimization of truss structures using the Jaya algorithm, *Applied Soft Computing*, 70 903–928. DOI: 10.1016/j.asoc.2017.10.001
8. Değertekin, S.O., Lamberti, L. ve Uğur, İ.B. (2018) Discrete and continuous design optimization of tower structures using the jaya algorithm, *Technological Applied Sciences (NWSATAS)*, 13(2) 134-144. DOI: 10.12739/NWSA.2018.13.2.2A0143
9. Dorigo, M., Birattari, M. ve Stutzle, T. (2006) Ant colony optimization—artificial ants as a computational intelligence technique, *IEEE Comput Intell Mag*, 28–39. DOI: 10.1109/MCI.2006.329691
10. Du, D.C., Vinh, H.H., Trung, V.D., Quyen, N.T. ve Trung, N.T. (2018) Efficiency of Jaya algorithm for solving the optimization-based structural damage identification problem based on a hybrid objective function, *Engineering Optimization*, 50:81233-1251. DOI: 10.1080/0305215X.2017.1367392
11. Duan, L., Reno, M. ve Uang, C.M. (2002) Effect of compound buckling on compression, *Strength of Built-up Members Engineering Journal*, 39, 30-37.
12. Erol, O.K. ve Eksin, I. (2006) A new optimization method: Big bang– big crunch, *Adv. Eng. Soft*, 37106–111. DOI: 10.1016/j.advengsoft.2005.04.005
13. Eurocode 3: (2002) Design of steel structures. Part 1.1: general structural rules. *CEN-European Committee for Standardisation, Brussels*, EN1993-1-1.
14. Gandomi, A.H., Yang, X.S. ve Alavi, A.H. (2013) Cuckoo search algorithm: a metaheuristic approach to solve structural optimization problems, *Engineering with Computers*, 29 17–35. DOI: 10.1007/s00366-011-0241-y
15. Grzywiński, M., Dede, T. ve Özdemir, Y.I. (2019) Optimization of the braced dome structures by using Jaya algorithm with frequency constraints, *Steel and Composite Structures*, 3047–55. DOI: 10.12989/scs.2019.30.1.047

16. Hatamlou, A. (2013) Black hole: A new heuristic optimization approach for data clustering, *Inf. Sci.* 222, 175–184. DOI: 10.1016/j.ins.2012.08.023
17. Holland, J.H. (1975) Adaptation in natural and artificial systems, *University of Michigan Press, Ann Arbor*. DOI: 10.1137/1018105
18. Kalochairetis, K.E., Gantes, C.J. ve Lignos, X.A. (2014) Experimental and numerical investigation of eccentrically loaded laced built-up steel columns, *Journal of Constructional Steel Research*, 101 66-81. DOI: 10.1016/j.jcsr.2014.04.032
19. Karaboğa, D. Ve Basturk, B. (2007) A powerful and efficient algorithm for numerical function optimization: artificial bee colony (ABC) algorithm, *J Glob Optim.* 39-3, 459–471. DOI: 10.1007/s10898-007-9149-x
20. Kaveh, A. ve Khayatazad, M. (2012) A new meta-heuristic method: Ray optimization, *Comput. Struct.*, 112, 283–294. DOI: 10.1016/j.compstruc.2012.09.003
21. Kennedy, J. ve Eberhart, R.C. (1995) Particle swarm optimization, *Proceedings of IEEE international conference on neural networks*, 1942–1948. DOI: 10.1109/ICNN.1995.488968
22. Kirkpatrick, S., Gelatt, C.D. ve Vecchi, M.P. (1983) Optimization by simulated annealing, *Science*, 220 671–680. DOI: 10.1126/science.220.4598.671
23. Konstantinos, E., Kalochairetis, C. ve Gantes, J. (2011) Numerical and analytical investigation of collapse loads of laced built-up columns, *Computers & Structures*, 891166-1176. DOI: 10.1016/j.compstruc.2010.10.018
24. Koza, J.R. (1992) Genetic programming II, automatic discovery of reusable subprograms, *MIT Press, Cambridge*.
25. Liu, J.L., Lue, D.M. ve Lin, C.H. (2009) Investigation on slenderness ratios of built-up compression members, *Journal of Constructional Steel Research*, 65-1237-248 DOI: 10.1016/j.jcsr.2008.02.012
26. MatLab Release (2016) *The MathWorks Inc., Natick, MA, USA*
27. Orbán, F. ve Farkas, J. (2013) Optimum design of steel built-up compression members, *Design, Fabrication and Economy of Metal Structures International Conference Proceedings* DOI: 10.1007/978-3-642-36691-8_10
28. Qing, (2009) A. Differential evolution, *Fundamentals and applications in electrical engineering*, Wiley.
29. Rao, R.V. (2016) Jaya: A simple and new optimization algorithm for solving constrained and unconstrained optimization problems, *Int. J. Ind. Eng. Comput.*, 719–34. DOI: 10.5267/j.ijiec.2015.8.004
30. Rao, R.V. ve More, K.C. (2017) Design optimization and analysis of selected thermal devices using self-adaptive jaya algorithm, *Energy Conversion and Management* 14024–35. DOI: 10.1016/j.enconman.2017.02.068
31. Rao, R.V., Rai, D.P., Ramkumar, J. ve Balic, J. (2016) A new multi-objective jaya algorithm for optimization of modern machining processes, *Advances in Production Engineering & Management*, 11 (4) 271–286. DOI:10.14743/apem2016.4.226.
32. Šapalas, V., Daniūnas, A. ve Urbonasc, K. (2013) Built-up axial loaded column fe modelling and design according to STR and EC3, *Procedia Engineering*, 57, 1131 – 1137. DOI: 10.1016/j.proeng.2013.04.142

33. Shu, T.G. ve Fan, C.S. (1989) An interactive buckling theory for built-up beam-columns and its application to centrally compressed built-up members, *Journal of Constructional Steel Research*, 14221-241. DOI:10.1016/0143-974X(89)90074-6
34. Storn, R., ve Price, K. (1995) Differential evolution—a simple and efficient adaptive scheme for global optimization over continuous spaces, *Technical Report TR-ICSI*, 95-012.
35. Timoshenko, S.P. ve Gere, J.M. (1961) Theory of elastic stability, *Second Edition McGraw-Hill Book Company New York*.
36. Waheed, A., Vafaei, M., Alih, S.C. ve Ullah, R. (2020) Experimental and numerical investigations on the seismic response of built-up battened columns, *Journal of Constructional Steel Research*, 174 DOI: 10.1016/j.jcsr.2020.106296
37. Yang, X.S. (2010) Nature-inspired metaheuristic algorithms, *Second Edition Luniver Press*
38. Yildiz, A.R., Abderazek, H. ve Mirjalili, S. (2020) A comparative study of recent non-traditional methods for mechanical design, *Optimization Archives of Computational Methods in Engineering*, 27, 1031–1048. DOI: 10.1007/s11831-019-09343-x

