



BÜYÜK ÖLÇEKLİ KAFES YAPILARIN JAYA ALGORİTMASIYLA MİNİMUM AĞIRLIKLIL BOYUTLANDIRILMASI

S. Özgür Değertekin¹, İ. Behram Uğur²

¹Dicle Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Diyarbakır

²Şırnak Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Şırnak

ABSTRACT

In this study, the minimum weight design of large scale trusses is aimed under the displacement and stress constraints using Jaya algorithm (JA). Jaya means “Victory” in Sanskrit. The algorithm is based on the concept that the solution obtained for a given optimization problem which should move toward the best solution and must avoid the worst solution. The most important feature of JA is that the JA has not any algorithm-specific parameters. The JA only requires two standard control parameters which are the population size (i.e. number of solutions in the population) and maximum iteration number. The validity of JA is tested on a large scale truss structure. The truss structure is the 942-bar spatial truss structure consisting of 59 design variables. The results obtained from JA is verified the validity of method.

ÖZET

Bu çalışmada büyük ölçekli kafes yapıların deplasman ve gerilme sınırlayıcıları altında Jaya algoritması kullanılarak minimum ağırlıklı boyutlandırılması amaçlanmaktadır. Jaya, Sanskritçe’de “Zafer” anlamına gelmektedir. Jaya algoritması (JA), optimizasyon problemini çözerken en iyi çözüme yaklaşma ve en kötü çözümden uzaklaşma prensibini uygulamaktadır. JA’nın en önemli özelliği kendine özgü parametreler kullanmamasıdır. Yöntem, popülasyon büyüklüğü (popülasyondaki çözüm sayısı) ve maksimum iterasyon sayısı olmak üzere iki temel kontrol parametresi kullanmaktadır. JA’nın geçerliliği büyük ölçekli bir kafes yapı üzerinde test edilmiştir. Bu yapı 942 elemanlı uzay kafes olup 59 tasarım değişkeninden oluşmaktadır. JA’dan elde edilen sonuçlar yöntemin geçerliliğini doğrulamaktadır.

GİRİŞ

Herhangi bir mühendislik sisteminin boyutlandırılması sürecinde önceden belirlenen sınır değerler aşılmadan belli bir amacın elde edilmesi için yapılan işlemler optimizasyon olarak adlandırılabilir. Kafes yapıların minimum ağırlıklı boyutlandırılması en basit şekliyle deplasman ve gerilme sınır değerlerinin aşılmadığı yapı boyutlandırmaları arasında minimum ağırlıklı olanın aranması işlemi olarak ifade edilebilir.

Optimizasyon yöntemleri, en genel biçimde klasik ve sezgisel optimizasyon yöntemleri olarak iki grupta incelenebilir. Klasik optimizasyon yöntemlerine alternatif olarak geliştirilen sezgisel optimizasyon yöntemleri son yıllarda oldukça ilgi çekmektedir. Sezgisel optimizasyon yöntemleri, doğal olaylar ile optimizasyon problemleri arasında analogi kurarak

problemi çözmeyi amaçlamaktadır. Genetik algoritmalar [1], parçacık sürü optimizasyonu [2], karınca koloni optimizasyonu [3], armoni arama [4], öğretim-öğrenme esaslı optimizasyon [5] başlıca sezgisel optimizasyon yöntemleri arasında sayılabilir.

Jaya kelime olarak Sanskrit dilinde “Zafer” anlamına gelmektedir. Jaya algoritması (JA) ilk olarak Rao [6] tarafından sınırlayıcı ve sınırlayıcı olmayan matematiksel optimizasyon problemlerinin çözümünde önerilmiştir. JA'nın optimizasyon sürecinde kullandığı ana felsefe; mevcut en iyi çözüme olabildiğince yaklaşmak ve mevcut en kötü çözümden olabildiğince uzaklaşmaktır. Yöntemin önemli bir avantajı diğer optimizasyon yöntemlerinden farklı olarak kendine özgü optimizasyon parametresi kullanmamasıdır. JA'da popülasyon sayısı (optimizasyonda kullanılan kafes yapı tasarım sayısı) ve maksimum iterasyon sayısı gibi iki genel kontrol parametresi kullanılmaktadır. JA kısa süre içerisinde karmaşık sınırlayıcı tasarım problemlerinde [7] ve mikro kanal ısı emicisinin optimizasyonu probleminde [8] kullanılmıştır.

Bu çalışmada büyük ölçekli kafes yapıların JA ile deplasman ve gerilme sınırlayıcıları kontrolünde minimum ağırlıklı olarak boyutlandırılması amaçlanmaktadır. JA ile literatürde farklı sezgisel optimizasyon yöntemleri ile boyutlandırılmış olan 942 elemanlı büyük ölçekli bir uzay kafes yapı boyutlandırılacaktır. JA ile elde edilen sonuçlar literatürdeki sonuçlarla kıyaslanarak yöntemin gücü test edilmiştir.

JAYA ALGORİTMASI (JA)

JA'nın uygulanışı oldukça pratik ve basittir. Sadece bir denklem vasıtasıyla tasarım değişkenleri (kafes yapıdaki eleman grupları) modifiye edilmektedir. $A_{k,l,it}$: *it-nci* iterasyondaki *l-nci* tasarım için *k-nci* tasarım değişkenini temsil etmek üzere bu tasarım değişkeni aşağıdaki gibi modifiye edilir:

$$A_{k,l,it}^{new} = A_{k,l,it} + r_{1,k,it} (A_{k,best,it} - |A_{k,l,it}|) - r_{2,k,it} (A_{k,worst,it} - |A_{k,l,it}|) \quad (1)$$

bu denklemde $A_{k,l,it}^{new}$: $A_{k,l,it}$ tasarım değişkeninin modifiye edilmiş halini, $r_{1,k,it}$ ve $r_{2,k,it}$: *it-nci* iterasyondaki *k-nci* tasarım değişkeni için [0,1] aralığında rastgele üretilen reel sayılar, $A_{k,best,it}$ ve $A_{k,worst,it}$ *it-nci* iterasyondaki en iyi ve en kötü tasarımın *k-nci* tasarım değişkenini göstermektedir. Denklemdeki $r_{1,k,it} (A_{k,best,it} - |A_{k,l,it}|)$ terimi mevcut tasarımın en iyi tasarıma yaklaşma eğilimini, $-r_{2,k,it} (A_{k,worst,it} - |A_{k,l,it}|)$ terimi mevcut tasarımın en kötü tasarımdan uzaklaşma eğilimini ifade etmektedir. $r_{1,k,it}$ ve $r_{2,k,it}$ reel sayıları tasarım uzayının daha etkili araştırılmasını sağlarken, $|A_{k,l,it}|$ mutlak değeri arama kabiliyetinin güçlendirilmesini sağlamaktadır [1].

MİNİMUM AĞIRLIKLI BOYUTLANDIRMADA FORMÜLASYON

Kafes yapıların minimum ağırlıklı boyutlandırılması şu şekilde formüle edilebilir:

$$A = [A_1, A_2, \dots, A_{ng}] \quad (2)$$

$$W(A) = \sum_{i=1}^{nm} \gamma_i A_i L_i \quad (3)$$

$$\sigma_i^c \leq \sigma_i \leq \sigma_i^t \quad i=1,2,\dots, nm \quad (4)$$

$$\delta_{\min} \leq \delta_j \leq \delta_{\max} \quad j=1,2,\dots,nd \quad (5)$$

$$A_{\min} \leq A_k \leq A_{\max} \quad k=1,2,\dots,ng \quad (6)$$

burada amaç (3) denklemleriyle hesaplanan kafes yapı ağırlığını (4)-(5) denklemleriyle verilen eleman gerilme ve düğüm deplasman sınırlayıcıları altında minimize etmek ve bu minimum ağırlıklı kafes yapıya ait (2) ile verilen A tasarım değişkenleri vektörünü bulmaktır. Yukarıdaki denklemlerde A : tasarım değişkenleri içeren vektör, ng : kafes yapıdaki tasarım değişkeni sayısı (eleman grup sayısı), $W(A)$: kafes yapı ağırlığı, nm : kafes yapıdaki eleman sayısı, γ_i ve L_i i -nci elemanın özgül ağırlığı ve uzunluğu, σ_i : i -nci eleman için hesaplanan basınç veya çekme gerilmesi, σ_i^c ve σ_i^t : i -nci eleman için müsaade edilen basınç ve çekme gerilmeleri, δ_j : j -nci serbestlik derecesi için hesaplanan deplasman değeri, δ_{\min} ve δ_{\max} : j -nci serbestlik derecesine ait deplasmanın alabileceği minimum ve maksimum değerler, nd : kafes yapıdaki serbestlik derecesi sayısı, A_k : k -nci tasarım değişkenine atanan enkesit alanı, A_{\min} ve A_{\max} : k -nci tasarım değişkenine atanacak enkesit alanının alabileceği minimum ve maksimum değerlerdir.

Kafes yapıların minimum ağırlıklı boyutlandırılması için yapılan arama sürecinde sınırlayıcıları (eleman gerilme ve düğüm deplasman sınırları) sağlayan veya sağlamayan kafes yapıları ayırt edebilmek için cezalandırılmış amaç fonksiyonu kullanılacaktır. Bu fonksiyon vasıtasıyla sınırlayıcıları sağlamayan kafes yapılar sınırlayıcı sağlamama derecelerine göre cezalandırılmaktadır. Dolayısıyla sınırlayıcıları yüksek değerde sağlamayan kafes yapılar daha fazla cezalandırılmaktadır. Cezalandırılmış amaç fonksiyonu, $f_p(A)$, şu şekilde ifade edilebilir:

$$f_p(A) = (1 + \psi(A))^\varepsilon \times W(A) \quad (7)$$

$$\psi(A) = \sum_{i=1}^{nm} g_i(A) + \sum_{j=1}^{nd} d_j(A) \quad (8)$$

$$g_i(A) = \left| \frac{\sigma_i}{\sigma_{ai}} \right| - 1 \leq 0 \quad i=1,2,\dots,nm \quad (9)$$

$$d_j(A) = \left| \frac{\delta_j}{\delta_{aj}} \right| - 1 \leq 0 \quad j=1,2,\dots,nd \quad (10)$$

burada $\psi(A)$ gerilme ve deplasman ceza değerlerinin toplamı, $g_i(A)$ i -nci eleman için gerilme ceza değeri, $d_j(A)$ j -nci serbestlik derecesi için deplasman ceza değeri, σ_i ve σ_{ai} i -nci eleman için gerilme değeri ve bunun alabileceği sınır değer, δ_j ve δ_{aj} j -nci serbestlik derecesinin deplasman değeri ve bunun alabileceği sınır değer, ε ise ceza katsayısı olup bu çalışmada 2 olarak alınmıştır.

Kafes yapıların minimum ağırlıklı boyutlandırılmasında ilk adım popülasyon sayısı (np) kadar kafes yapının rastgele şekilde üretilmesidir. Popülasyondaki her kafes yapı için cezalandırılmış amaç fonksiyonu değeri (2)-(10) denklemleriyle hesaplanır. Cezalandırılmış amaç fonksiyonları arasında minimum değerli olan en iyi tasarım $f_p^{best}(A)$ ve maksimum değerli olan en kötü tasarım $f_p^{worst}(A)$ olarak tanımlanır. Kafes yapı popülasyonundaki her bir kafes yapıya ait tüm tasarım değişkenleri (1) denklemleriyle modifiye edilerek yeni kafes yapı üretilir. (2)-(10) denklemleriyle yeni kafes yapı için cezalandırılmış amaç fonksiyonu değeri ($f_p^{new}(A)$) hesaplanır. Eğer yeni kafes yapının cezalandırılmış amaç fonksiyonu değeri,

önceki kafes yapının cezalandırılmış amaç fonksiyonu değerinden ($f_p^{pre}(A)$) daha iyi ise yani $f_p^{new}(A) < f_p^{pre}(A)$ ise, yeni kafes yapı önceki kafes yapının yerini alır. Aksi halde önceki kafes yapı değiştirilmez. Bu işlemler popülasyondaki diğer kafes yapılar için de tekrarlanarak JA'da bir iterasyon tamamlanır. Maksimum iterasyon sayısı aşılmıyaya kadar aynı işlemler tekrarlanır. Maksimum iterasyon sayısı aşıldığında sınırlayıcıları sağlayan ve minimum değerli cezalandırılmış amaç fonksiyonuna sahip yapı aranan kafes yapı olarak bulunmuş olur.

BÜYÜK ÖLÇEKLİ KAFES YAPILARIN JAYA ALGORİTMASI İLE MİNİMUM AĞIRLIKLI BOYUTLANDIRILMASI İÇİN HESAP ADIMLARI

Büyük ölçekli kafes yapıların JA ile minimum ağırlıklı boyutlandırılması aşağıdaki adımlardan oluşmaktadır:

- I. Popülasyon sayısı np ve maksimum iterasyon sayısı it_{max} değerlerini tanımla. Başlangıç popülasyonu (kafes yapıları) rastgele oluştur. Popülasyondaki her kafes yapı için cezalandırılmış amaç fonksiyonu değerini (2)-(10) denklemleriyle hesapla. İterasyon sayacını başlat, $it=0$.
- II. İterasyon sayacını arttır, $it=it+1$.
- III. Popülasyondaki en iyi ($f_p^{best}(A)$) ve en kötü ($f_p^{worst}(A)$) kafes yapıları belirle. Kafes yapı sayacını başlat $id=0$, ($id=1,2,\dots,np$).
- IV. Kafes yapı sayacını arttır, $id=id+1$.
- V. $id-nci$ kafes yapının tüm tasarım değişkenlerini (1) denklemleriyle modifiye ederek yeni kafes yapıyı üret.
- VI. (2)-(10) denklemleriyle $f_p^{new}(A)$ hesapla. Eğer $f_p^{new}(A) < f_p^{pre}(A)$ ise yeni kafes yapıyı öncekinin yerine ata, değilse önceki kafes yapıyı değiştirme.
- VII. Eğer $id > np$ ise VIII. adıma git, değilse IV. adıma git.
- VIII. Eğer $it > it_{max}$ ise sınırlayıcıları sağlayan minimum değerli cezalandırılmış amaç fonksiyonuna sahip kafes yapı aranan kafes yapı olarak ata ve arama işlemi bitir. Aksi durumda II. adıma git.

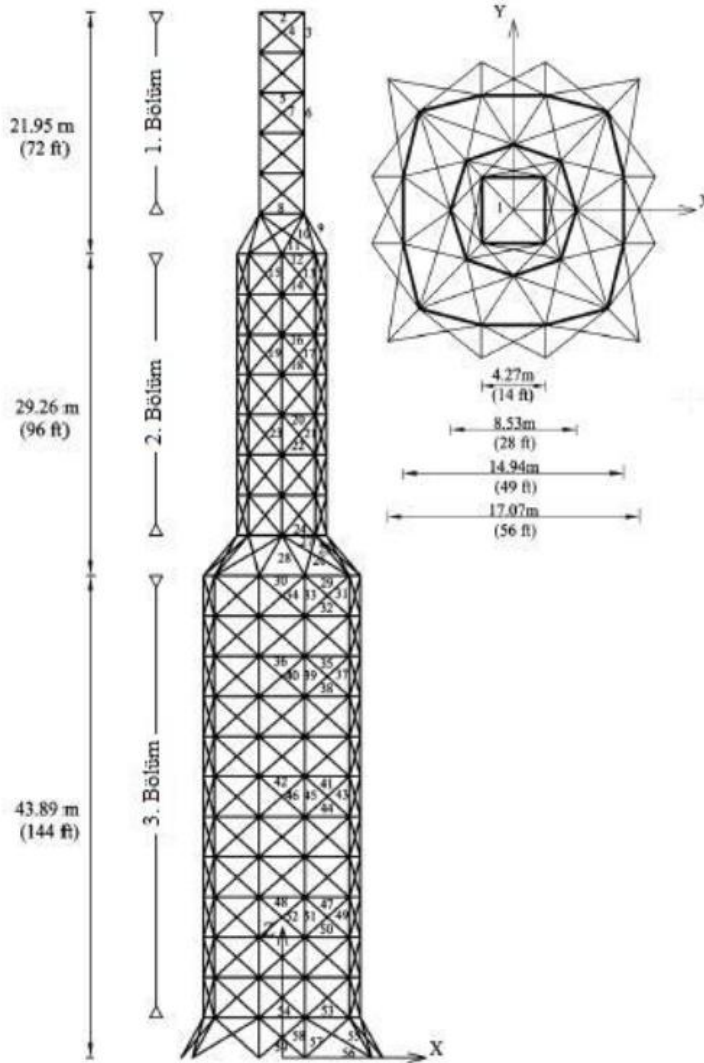
TEST YAPISI

Bir önceki bölümde adım adım açıklanan JA'nın uygulanabilirliği 942 elemanlı 59 tasarım değişkenli uzay kafes yapının minimum ağırlıklı boyutlandırılmasında test edilecektir. Popülasyon büyüklüğü'nün (optimizasyon işlemi için kullanılacak kafes yapı sayısı) farklı değerleri için JA'nın icra edilmesi sonucunda en hafif kafes yapı ağırlığı $np=20$ için elde edildiğinden popülasyon büyüklüğü 20 olarak seçilmiştir. JA'nın farklı başlangıç tasarımları için birbirine yakın sonuçlar elde edemeyeceğini görmek yani yöntemin tutarlılığını test etmek için JA 20 farklı başlangıç popülasyonu için 20 farklı kez icra edilmiştir. Bu farklı icralar sonunda bulunan 20 kafes yapı arasında minimum ağırlıklı kafes yapının ağırlığı ve bu yapıya ait tasarım değişkenleri, maksimum ağırlıklı kafes yapının ağırlığı, ortalama ağırlık ve standart sapma değerleri tabloda sunulmuştur. Ayrıca minimum ağırlıklı kafes yapı için arama süresince yapı ağırlığının yapı analiz sayısı ile değişimi de çizilmiştir.

942 Elemanlı Uzay Kafes Yapı

942 elemanlı kafes yapı Şekil 1’de verilmiştir. Yapı, x ve y doğrultularında simetrik olup 59 farklı tasarım değişkeninden (eleman grubundan) oluşmaktadır ve üç farklı bölgeye ayrılmıştır. Bu yapı daha önce genetik algoritmalar (GAs) [9], tavlama benzeşimi yöntemi (SA) [10], adaptif evrim stratejisi (ESs) [11], hibrit genetik algoritma ve tek yönlü arama metodu (GNMS) [12], guguk kuşu algoritması (CS) [13] ve ateşböceği algoritması (FA) [14] kullanılarak minimum ağırlıklı boyutlandırılmıştır. Malzeme için elastisite modülü ve birim hacim ağırlığı sırasıyla 68948 MPa ve 2.77 gr/cm^3 ’tür. Gerilme değeri $\pm 172.37 \text{ MPa}$ ile ve en üstteki dört düğüm noktasının x , y , ve z doğrultularındaki deplasman değeri $\pm 38.1 \text{ cm}$ ile sınırlandırılmıştır. Tasarım değişkenlerine 0.645 cm^2 ve 1290.32 cm^2 aralığında enkesit alanı atanabilecektir. Yapıya etki eden yükleme durumu şu şekildedir:

- z yönünde kulenin 1. bölümündeki düğüm noktalarına -13.345 kN , 2. bölümündeki düğüm noktalarına -26.90 kN , 3. bölümündeki düğüm noktalarına -40.034 kN ,
- y yönünde kulenin tüm serbest düğüm noktalarına 4.448 kN ,
- x yönünde kulenin sol tarafındaki her düğüm noktasına 6.672 kN , sağ tarafındaki her düğüm noktasına 4.448 kN etki ettirilmiştir.



Şekil 1. 942 elemanlı uzay kafes yapı

Çizelge 1’de JA ile literatürdeki diğer yöntemlerden elde edilen minimum ağırlıklar karşılaştırılmıştır. JA’nın 62456.8 kg’lık ağırlık değeri ile diğer yöntemlerden daha iyi bir kafes yapı elde ettiği görülmektedir. CS [13] ile edilen 60835.49 kg’lık kafes yapı daha hafif olmakla birlikte boyutlandırma sınırlayıcılarını %18.44 oranında ihlal ettiği tespit edilmiştir.

JA ile minimum ağırlıklı kafes yapı 72728 analiz sonunda elde edilirken SA [10], ESs [11] ve FA [14] ile sırasıyla 39834, 150000 ve 50000 analiz sonunda minimum ağırlıklı kafes yapılar elde edilmiştir. Bununla birlikte JA, SA’ya [10] ait 65061.14 kg’lık kafes yapıyı 13413 analiz sonunda, ESs’ye [11] ait 64065.51 kg’lık kafes yapıyı ise 14652 analiz sonunda ve FA’ya [14] ait 62993.67 kg’lık kafes yapıyı 20364 analiz sonunda elde etmiştir. Dolayısıyla aynı yapı ağırlığı gözönüne alındığında JA’nın SA [10], ESs [11] ve FA [14]’dan çok daha hızlı bir şekilde minimum boyutlandırmaya ulaşabildiği görülmektedir.

JA ve diğer yöntemler için istatistiksel değerler ve sınırlayıcı ihlal yüzdeleri’de Çizelge 1’de verilmiştir. JA’nın 20 farklı icrası sonunda bulunan 20 nihai kafes yapı ağırlığı için hesaplanan standart sapma değeri 227.1034 kg olup ortalama ağırlık değeri olan 62714.17 kg’m yaklaşık %0.36’sıdır. Oldukça küçük olan bu değer yöntemin minimum ağırlıklı kafes yapıyı bulmadaki tutarlılığını kanıtlamaktadır.

Çizelge 1. 942 elemanlı uzay kafes yapı için minimum ağırlıklı boyutlandırılması sonuçları

Tasarım değişkeni A _i (cm ²)	GAs [9]	SA [10]	Adaptive ESs [11]	GNMS [12]	CS [13]	FA [14]	JA Bu çalışma
1	N/A	6.4516	6.580632	17.97351	6.4516	N/A	7.670417
2	N/A	6.4516	6.690309	8.756112	6.4516	N/A	6.818128
3	N/A	19.3548	18.98706	32.49155	19.41932	N/A	20.44058
4	N/A	6.4516	12.38707	14.45029	11.2903	N/A	12.12025
5	N/A	6.4516	6.61289	7.887726	6.4516	N/A	6.592322
6	N/A	109.6772	96.52239	96.49981	92.06433	N/A	93.89672
7	N/A	19.3548	19.83222	19.07609	18.90319	N/A	19.77517
8	N/A	45.1612	43.74185	70.34696	6.4516	N/A	46.97879
9	N/A	129.032	119.8707	93.01723	6.4516	N/A	110.6341
10	N/A	6.4516	15.58061	23.92898	60.51601	N/A	6.451613
11	N/A	51.6128	42.47733	36.82315	28.58059	N/A	52.51519
12	N/A	45.1612	40.58702	31.78316	29.29026	N/A	39.06632
13	N/A	122.5804	99.24496	91.45208	105.8708	N/A	96.28194
14	N/A	12.9032	13.54836	12.28578	15.03223	N/A	14.81879
15	N/A	32.258	38.84508	18.12964	48.45152	N/A	27.65163
16	N/A	6.4516	6.593535	6.4516	6.4516	N/A	6.4516
17	N/A	141.9352	149.0255	121.3352	144.9675	N/A	139.7931
18	N/A	19.3548	18.63867	16.87158	17.41932	N/A	17.3456
19	N/A	58.0644	51.35474	80.85661	87.61273	N/A	56.45215
20	N/A	6.4516	6.503213	7.29934	6.4516	N/A	7.075237
21	N/A	219.3544	184.1803	196.8525	186.6448	N/A	190.5748
22	N/A	19.3548	21.60641	21.58705	20.83867	N/A	21.20154
23	N/A	122.5804	104.1546	109.9675	153.9997	N/A	106.8356
24	N/A	174.1932	160.1416	116.6353	268.8382	N/A	161.5219

Değertekin¹, Uğur²

25	N/A	270.9672	247.7479	253.3653	232.3866	N/A	244.3211
26	N/A	6.4516	24.43221	16.81416	41.35476	N/A	6.482071
27	N/A	77.4192	79.48371	63.42116	153.4836	N/A	81.72409
28	N/A	103.2256	109.9095	84.59725	183.1609	N/A	111.2037
29	N/A	122.5804	95.05142	88.32047	125.032	N/A	93.69343
30	N/A	90.3224	96.974	109.5327	131.032	N/A	101.4632
31	N/A	270.9672	249.0124	242.584	202.6448	N/A	248.4229
32	N/A	25.8064	22.65157	19.74319	16.58061	N/A	22.1329
33	N/A	25.8064	19.33545	35.55219	26.96769	N/A	20.62324
34	N/A	25.8064	19.7419	11.62191	21.48383	N/A	16.40026
35	N/A	6.4516	7.006438	7.463211	6.4516	N/A	6.51009
36	N/A	6.4516	9.432239	8.014823	6.4516	N/A	6.457439
37	N/A	399.9992	383.4379	404.9934	303.9349	N/A	365.4841
38	N/A	19.3548	23.43221	21.46834	15.16126	N/A	21.63961
39	N/A	12.9032	12.17417	27.33478	24.45156	N/A	12.8426
40	N/A	25.8064	26.27092	11.09804	21.29028	N/A	19.84744
41	N/A	6.4516	10.2903	6.547084	6.4516	N/A	6.501232
42	N/A	12.9032	23.68382	35.2438	6.4516	N/A	9.98698
43	N/A	496.7732	512.9732	503.2854	408.5798	N/A	518.5458
44	N/A	19.3548	21.89673	20.77802	20.70964	N/A	21.88236
45	N/A	12.9032	10.19998	23.18318	31.35478	N/A	11.77146
46	N/A	19.3548	27.12253	30.75349	14.32255	N/A	24.37227
47	N/A	12.9032	8.574176	7.43934	6.4516	N/A	6.591148
48	N/A	19.3548	14.46449	13.99868	6.4516	N/A	6.559148
49	N/A	645.16	625.0697	642.8413	496.3216	N/A	618.0482
50	N/A	25.8064	23.93544	26.75414	22.83866	N/A	22.29694
51	N/A	6.4516	6.806438	13.93546	25.22576	N/A	10.18412
52	N/A	25.8064	29.45801	26.77349	14.5161	N/A	23.95981
53	N/A	38.7096	61.97407	72.30308	73.8063	N/A	60.40935
54	N/A	19.3548	19.25157	71.55082	75.09662	N/A	40.72534
55	N/A	316.1284	296.2381	231.9344	238.3221	N/A	264.5802
56	N/A	6.4516	6.4516	14.15287	6.4516	N/A	6.511987
57	N/A	399.9992	402.7476	426.9056	310.322	N/A	417.0564
58	N/A	6.4516	19.20641	21.54963	37.93541	N/A	20.27837
59	N/A	19.3548	6.4516	26.14511	6.4516	N/A	9.320394
Minimum ağırlık (kg)	77110.3	65061.14	64065.51	64543.93	60835.49	62993.67	62456.8 [65061.14] ¹ [64065.51] ² [62993.67] ³
Ortalama ağırlık (kg)	*	*	*	*	61345.64	63358.36	62714.17
Maksimum ağırlık (kg)	*	*	*	*	62621.41	64529.98	63005.28
Standard sapma (kg)	*	*	*	*	679.0514	498.0418	227.1034

Sınırlayıcı ihlali (%)	*	0	3.05	4.35	18.44	*	0
Yapı analiz sayısı	*	39834	150000	*	75000	50000	72728

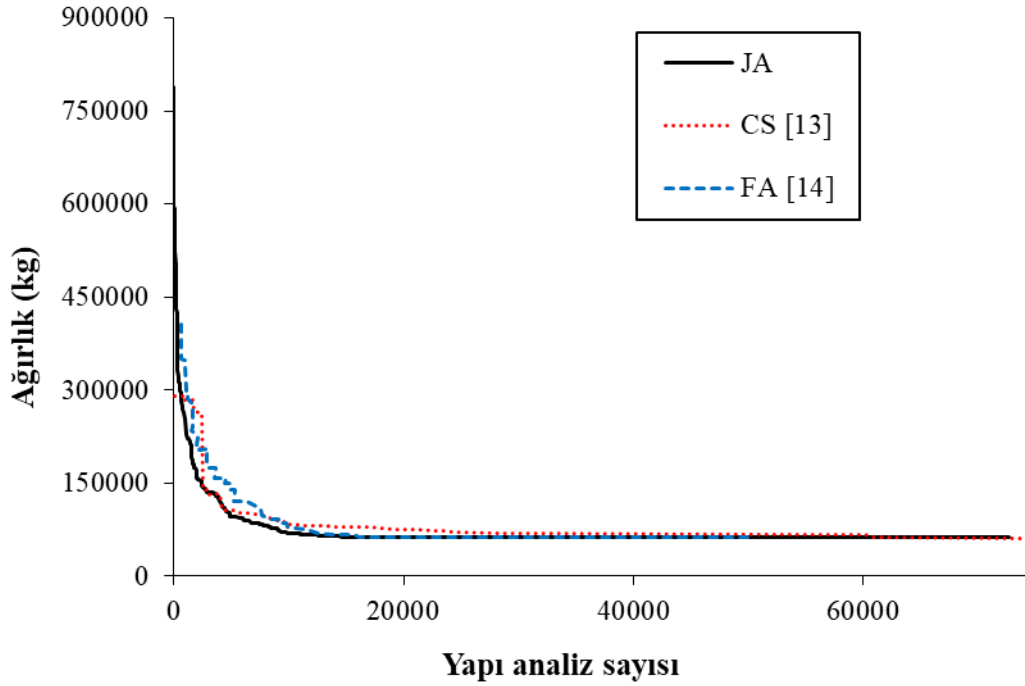
*Mevcut değil

¹JA 65061.14 kg'lık kafes yapısı (SA'ya [10] ait sonuç) 13413 analiz sonunda buldu.

²JA 64065.51 kg'lık kafes yapısı (ESs'ye [11] ait sonuç) 14652 analiz sonunda buldu.

³JA 62993.67 kg'lık kafes yapısı (FA'ya [14] ait sonuç) 20364 analiz sonunda buldu.

Şekil 2'de JA, CS [13] ve FA [14] yöntemleri ile minimum ağırlıklı kafes yapının araştırılması sürecinde yapı ağırlığı ile analiz sayılarının değişimi çizilmiştir. JA, yaklaşık olarak 15000 analizden sonra nihai boyutlandırmaya yakın değerler elde etmiştir. Şekilden görüleceği üzere JA diğer iki yöntemden daha hızlı bir şekilde minimum ağırlık değerine yakın değerler bulabilmektedir.



Şekil 2. Kafes yapı ağırlığının analiz sayısı ile değişimi

SONUÇLAR

Bu çalışma ile JA ilk kez büyük ölçekli kafes yapıların minimum ağırlıklı boyutlandırılmasında kullanılmıştır. Literatürdeki sonuçlarla yapılan kıyaslamalar JA'nın diğer tüm yöntemlerden daha iyi ve uygulanabilir bir kafes yapı elde edebildiğini göstermektedir. Ayrıca JA minimum ağırlıklı boyutlandırmaya daha hızlı bir şekilde ulaşabilmiştir. Yöntemin farklı icraları sonucunda bulunan kafes yapılar için hesaplanan standart sapma değerinin ortalama ağırlığa göre oldukça küçük olması (%0.36 mertebesinde) JA'nın minimum ağırlıklı boyutlandırmada tutarlı sonuçlar verdiğinin göstergesi olmaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] J.H. Holland, *Adaptation in Natural and Artificial Systems*. Ann Arbor The University of Michigan Press, 1975.
- [2] R.C. Eberhart, J. Kennedy, A new optimizer using particle swarm theory: *Proceedings of The Sixth International Symposium on Micro Machine and Human Science*, Nagoya, Japan, 1995: s. 1942-1948.
- [3] M. Dorigo, V. Maniezzo, A. Coloni, The ant system: optimization by a colony of cooperating agents: *IEEE Trans. Syst. Man. Cybern. B*, 1996 29–41.
- [4] Z.W. Geem, J.H. Kim, G.V. Loganathan, A new heuristic optimization algorithm: harmony search. *Simulation* 76(2001) 60-68. doi: 10.1177/003754970107600201
- [5] R.V. Rao, V.J. Savsani, D.P. Vakharia, Teaching-learning-based optimization: a novel method for constrained mechanical design optimization problems. *Computer-Aided Design*. 43 (2011) 303-315. doi: 10.1016/j.cad.2010.12.015
- [6] R.V. Rao, Jaya: A simple and new optimization algorithm for solving constrained and unconstrained optimization problems, *International Journal of Industrial Engineering Computations*. 7 (2016) 19–34. doi: 10.5267/j.ijiec.2015.8.004
- [7] R.V. Rao, G.G. Waghmare, A new optimization algorithm for solving complex constrained design optimization problems, *Engineering Optimization*. 49 (2017) 60-83. doi:10.1080/0305215X.2016.1164855
- [8] R.V. Rao, K.C. More, J. Taler, P. Oclon, Dimensional optimization of a micro-channel heat sink using Jaya algorithm, *Applied Thermal Engineering*. 103 (2016) 572-582. doi: 10.1016/j.applthermaleng.2016.04.135
- [9] H. Adeli, N.T. Cheng, Concurrent genetic algorithms for optimization of large structures. *Journal of Aerospace Engineering*. 7 (1994) 276-296. doi:10.1061/(ASCE)0893-1321(1994)7:3(276)
- [10] O. Hasançebi, F. Erbatur, On efficient use of simulated annealing in complex structural optimization problems, *Acta Mechanica*. 157 (2002) 27-50. doi:10.1007/BF01182153
- [11] O. Hasançebi, Adaptive evolution strategies in structural optimization: Enhancing their computational performance with applications to large-scale structures. *Computers & Structures*. 86 (2008) 119-132. doi:10.1016/j.compstruc.2007.05.012
- [12] H. Rahami, A. Kaveh, M. Aslani, R. Najjan-Asl. A hybrid modified genetic-Nelder Mead simplex algorithm for large-scale truss optimization. *International Journal of Optimization in Civil Engineering*. 1 (2011) 29-46. <http://ijoce.iust.ac.ir/article-1-6-en.html>
- [13] A.H. Gandomi, S. Talatahari, X.S. Yang, S. Deb, Design optimization of truss structures using cuckoo search algorithm. *Structural Design of Tall and Special Buildings*. 22 (2013) 1330-1349. doi:10.1002/tal.1033
- [14] S. Talatahari, A.H. Gandomi, G.J. Yun, Optimum design of tower structures using firefly algorithm. *Structural Design of Tall and Special Buildings*. 23 (2014) 350-361. doi:10.1002/tal.1043