

# Öğretme-öğrenme esaslı optimizasyon yöntemi ile uzay kafes kule yapı sisteminin optimum boyutlandırılması

Musa ARTAR\*,<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Bayburt Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Bayburt

Makale Gönderme Tarihi: 17.05.2016

Makale Kabul Tarihi: 29.06.2016

## Öz

*Bu çalışmada, son yıllarda geliştirilmiş öğretme-öğrenme esaslı optimizasyon yönteminin çelik uzay kafes sistemlerinin optimum boyutlandırılmasındaki başarısının araştırılması hedeflenmiştir ve bu bağlamda 942 elemanlı uzay çelik kafes kule problemi sayısal örnek olarak kullanılmıştır. Diğer bir çok stokastik algoritma yönteminde olduğu gibi öğretme-öğrenme esaslı optimizasyon yöntemi de çevremizdeki olayları taklit etmektedir. Bu algoritma yönteminde analiz işlemleri öğretmen ve öğrencilerinden oluşan bir sınıf ile yürütülmektedir. Sınıftaki her bir öğrenci bir yapı modelini temsil etmektedir ve öğretme-öğrenme aşamaları ile her bir öğrencinin bilgi seviyesinin artırılması hedeflenmektedir. Bu sayede belirli bir iterasyon sonunda en iyi sonucu (sınırlayıcıları sağlayan ve minimum yapı ağırlığında olan) veren yapı modeli elde edilebilmektedir.*

*İncelenen 942-elemanlı uzay kafes kule yapı modeli literatürden alınmıştır. Bu örnek literatürde birçok farklı algoritma yöntemi ile çözülmüştür. Sınırlayıcılar olarak AISC-ASD (American Institute of Steel Construction- Allowable Stress Design) standartlarındaki gerilme sınırlayıcıları, yer değiştirme sınırlayıcıları ve düşey elemanlar arasında geometrik sınırlayıcılar kullanılmıştır. Tasarım profilleri SAP2000'de hazırlanmış olan ve AISC'den alınan 128 W profili içeren bir kesit listesinden seçilmiştir.*

*Optimizasyon işlemlerinin bilgisayar ortamında pratik olarak yürütülebilmesi amacıyla MATLAB programında SAP2000 OAPI (Open Application Programming Interface) ile otomatik olarak birlikte çalışabilen bir program kodlanmıştır. 942 elemanlı uzay kafes kule yapı sistemi SAP2000 programında modellenmiştir. Öğretme-öğrenme esaslı optimizasyon işlemleri için MATLAB'da geliştirilen program yardımıyla SAP2000'de hazırlanan yapı modeli sürekli güncellenerek otomatik olarak analiz edilmiştir.*

*Bu çalışmada, 942 elemanlı uzay kafes kule yapı sisteminin öğretme-öğrenme esaslı optimizasyon yöntemi ile elde edilen tasarım sonuçları literatür sonuçları ile oldukça benzerdir. Buna göre bu optimizasyon tekniğinin yapısal optimizasyon için başarılı sonuçlar verebileceği görülmüştür.*

**Anahtar Kelimeler:** Uzay kafes kule; Öğretme-öğrenme esaslı optimizasyon; MATLAB-SAP2000 OAPI; Optimum boyutlandırma.

\*Yazışmaların yapılacağı yazar: Musa ARTAR, martar@bayburt.edu.tr; Tel: (458) 211 11 53-54 (3235)

## Giriş

Son yıllarda çelik yapı sistemlerinin optimum boyutlandırılması konusu inşaat mühendisliği yapı anabilim dalında oldukça araştırılan bir konu olmuştur. Bunun nedeni sürekli gelişen dünyamızda yapılarda kullanılan çelik malzemesinin öneminin her geçen gün artmasıdır. Yapılan çalışmalarda optimum boyutlandırılan yapı sistemlerinin gerilme, yer değiştirme, geometrik vb. gerekli sınırlayıcı kriterleri sağlayarak minimum ağırlıkta olması hedeflenmiştir. 1980'lerden beri bilgisayar teknolojisindeki ilerlemeler çeşitli algoritma tekniklerinin pratik olarak yapı modellerine uygulanabilirliğine imkan sağlamıştır. Bu algoritmalar genelde doğayı taklit eden ve deterministik olmayan yöntemler olup ayrık değişkenli problemlere oldukça kolay bir şekilde uygulanabilmektedir.

Doğadaki olayları esas alan ve son yıllarda çelik yapı sistemlerine uygulanmış algoritma tekniklerinden bazıları şöyle sıralanabilir: genetik algoritma, armoni arama algoritması, karınca kolonisi algoritması, tabu arama, benzetilmiş tavlama vb. yöntemlerdir. Bu algoritmalar kullanılarak literatürde yer alan bazı yapısal boyutlandırma çalışmaları ise şöyle sıralanabilir: Rajeev ve Krishnamoorthy (1992) biyolojik süreçleri, üreme, çaprazlama ve mutasyon gibi, işlemleri içeren genetik algoritma yöntemini kafes örnekler üzerinde denemişlerdir. Çalışmalarında temel algoritma yöntemlerinden biri olan genetik algoritmanın ayrık değişkenli problemlere kolaylıkla uygulanışının temel aşamaları oldukça detaylı bir şekilde verilmiştir. Bu bakımdan çalışmaları daha sonraki çalışmalara önemli bir referans kaynağı olmuştur. Daloğlu ve Armutcu (1998) genetik algoritma ile düzlem çerçevelerin optimum boyutlandırılması üzerine çalışmışlardır. Daha sonraki yıllarda genetik algoritma ve geliştirilen diğer doğasal algoritma yöntemleri çeşitli yapısal problemlerin optimum boyutlandırılmasında kullanılmıştır. Erbatır vd. (2000) çeşitli düzlem ve uzay çerçeve yapı modellerinin genetik algoritma ile optimum boyutlandırmalarını incelemişlerdir. Kameshki

ve Saka (2001) yüksek katlı çaprazlı çelik çerçevelerin optimum boyutlandırmalarını genetik algoritma yardımı ile araştırmışlardır. Hayalioğlu ve Değertekin (2004) yarı rijit birleşimli lineer olmayan çelik çerçevelerin optimum boyutlandırmalarını araştırmışlardır. Lee ve Geem (2004) yeni yapısal algoritma yöntemi olan armoni arama algoritması üzerine çalışmışlardır. Hayalioğlu ve Değertekin (2005) yarı rijit kiriş-kolon ve yarı rijit kolon-temel birleşimli çelik çerçevelerin optimum boyutlandırmalarını AISC-LRFD kriterlerine göre yapmışlardır. Değertekin (2007) lineer olmayan çelik uzay çerçeve sistemlerin benzetilmiş tavlama ve genetik algoritma yöntemleri ile optimum boyutlandırmalarını yaparak elde edilen sonuçları karşılaştırmıştır. Saka (2009) BS5950 yönetmeliğine göre armoni arama algoritması ile çelik çerçevelerin optimum boyutlandırmasını araştırmıştır. Değertekin vd. (2009) armoni arama algoritması ile geometrik olarak lineer olmayan yarı rijit birleşimli çelik çerçevelerin optimum boyutlandırmalarını TS 648 yönetmeliğine göre yapmışlardır. Hasançebi vd. (2010) benzetilmiş tavlama yöntemi ile AISC-ASD kriterlerine göre düzlem ve uzay çerçeve yapı problemlerin optimum boyutlandırmalarını incelemişlerdir. Değertekin vd. (2011) geliştirilmiş armoni arama yöntemi ile yarı rijit birleşimli çerçevelerin optimum boyutlandırmasını araştırmışlardır. Toğan vd. (2011) armoni arama yöntemini kafes yapıların optimum boyutlandırmasında kullanmışlardır. Aydoğdu ve Saka (2012) karınca kolonisi optimizasyon yöntemini düzenli olmayan çelik çerçevelere uygulamışlardır. Toğan (2012) öğretim-öğrenme esaslı optimizasyon yöntemi ile düzlem çelik çerçevelerin optimum tasarımını incelemiştir. Çalışmasında öğretim-öğrenme esaslı optimizasyon yönteminin aşamalarına ilişkin detaylı bir bilgi sunmuştur. Dede ve Ayvaz (2013) öğretim-öğrenme esaslı optimizasyon yöntemini çeşitli kafes yapı problemlerine uygulamışlardır. Dede (2013) ve Dede (2014) çalışmalarında öğretim-öğrenme esaslı optimizasyon yöntemi ile farklı birçok yapı probleminin optimum boyutlandırılmasını incelemişlerdir. Artar ve Daloğlu (2015)

kompozit kirişli çelik uzay çerçevelerin genetik algoritma ile optimum boyutlandırmalarını incelemişlerdir. Artar ve Daloğlu (2015) kompozit kirişli yarı rijit birleşimli düzlem çerçevelerin optimum boyutlandırmasını çalışmışlardır. Artar (2016) deprem etkisi altındaki çelik uzay çerçevelerin armoni arama algoritması yöntemi ile optimum boyutlandırmasını yapmıştır.

Bu çalışmanın amacı Rao vd. (2011) tarafından geliştirilen öğretme öğrenme esaslı optimizasyon yöntemi ile 942 elemanlı çelik uzay kafes kule yapı modelinin optimum boyutlandırmasını araştırmaktır. Bunun için MATLAB programında SAP2000 ile otomatik olarak birlikte çalışabilen bir program kodlanmıştır. Optimum profiller SAP2000'de hazırlanan ve AISC'den alınan 128 W profili içeren profil listesinden yapılmıştır. Literatürde daha önceden farklı bir çok algoritma ile optimum boyutlandırılan 942 elemanlı uzay çelik kafes kule problemi öğretme-öğrenme esaslı optimizasyon yöntemi ile çözülerek bu çalışmada elde edilen optimum sonuçlar ile literatür sonuçları karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre son dönemde geliştirilen bu yeni algoritma tekniğinin yapısal optimizasyon açısından oldukça elverişli olduğu ve ele alınan uzay kafes kule örneğinin literatürdeki sonuçlardan daha hafif boyutlandırabildiği gözlenmiştir.

### Optimum tasarım problemi

Uzay kafes kule minimum ağırlık probleminin amaç fonksiyonu aşağıda belirtilmektedir;

$$\min W(x) = \sum_{k=1}^{ng} A_k \sum_{i=1}^{nm} \rho_i L_i \quad (1)$$

Bu denklemde  $W(x)$  kafes sistemin ağırlığını,  $k$  kafes sistemdeki eleman gruplarının sayısını,  $A_k$   $k$  grubuna ait elemanların kesit alanlarını,  $ng$  sistemdeki toplam grup sayısını,  $nm$  sistemdeki toplam eleman sayısını,  $\rho_i$   $L_i$   $i$  inci elemanın yoğunluğunu ve boyunu ifade etmektedir.

Bu çalışmada ele alınan çelik uzay kafes kule sistemi; gerilme, yer değiştirme ve geometrik

(düşey elemanlar için) sınırlayıcılar altında çözülmüştür.

Gerilme sınırlayıcıları AISC-ASD (1989) kriterlerine göre aşağıda belirtildiği üzere uygulanmıştır.

- Çekme çubukları için uygulanan emniyet gerilmesi aşağıdaki gibi hesaplanmıştır,

$$F_a = 0.6F_y \quad (2)$$

Bu denklemde  $F_y$  akma gerilmesini ifade etmektedir.

- Basınç çubukları için uygulanan eksenel basınç emniyet gerilmesi aşağıdaki denklemler ile hesaplanmıştır,

$$\lambda = \frac{K L}{r} \quad (3)$$

$$C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{F_y}} \quad (4)$$

Bu denklemlerde  $\lambda$  elemanın narinlik ifadesini,  $K$  etkili uzunluk çarpanını,  $L$  uzunluğunu,  $r$  atalet yarıçapını,  $C_c$  plastik narinlik değerini göstermektedir.

- Eksenel basınca çalışan elemanların narinliği hesaplanarak plastik narinlik ile kıyaslanmaktadır.

-  $\lambda \leq C_c$  için burkulma plastik bölgede olup basınç emniyeti aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır,

$$F_a = \frac{\left[1 - \frac{\lambda^2}{2C_c^2}\right] F_y}{\frac{5}{3} + \frac{3\lambda}{8C_c} - \frac{(\lambda^3)}{8C_c^3}} \quad (5)$$

-  $\lambda > C_c$  için burkulma elastik bölgede olup basınç emniyeti değeri,

$$F_a = \frac{12\pi^2 E}{23\lambda^2} \quad (6)$$

Kafes elemanlar için etkili uzunluk faktörü  $K=1.00$  dır. Buna göre gerilme sınırlayıcısı aşağıdaki gibi hesaplanmıştır,

$$g_i(x) = \left[ \frac{f_a}{F_a} \right] - 1.0 \leq 0 \quad i = 1, \dots, n \quad (7)$$

Bu denklemde  $f_a$  hesap edilen gerilme ifadesidir.  
- Yer değiştirme sınırlayıcısı aşağıdaki gibi uygulanmıştır.

$$g_j(x) = \frac{\delta_j}{\delta_{ju}} - 1 \leq 0 \quad j = 1, \dots, m \quad (8)$$

Bu denklemde  $\delta_j$  değeri j dđęüm noktasının yer değiştirme değerini,  $\delta_{ju}$  değeri j noktasının yer değiştirme limit değerini gđstermektedir.

- Ele alınan kule őrneęinde dđřey elemanlar arasında aşağıdaki geometrik sınırlayıcılar ayrıca uygulanmıştır.

$$g_m(x) = \frac{A_{u,m}}{A_{l,m}} - 1 \leq 0 \quad (9)$$

$$g_m(x) = \frac{D_{u,m}}{D_{l,m}} - 1 \leq 0 \quad m = 1, \dots, ne \quad (10)$$

Bu denklemlerde  $A_{u,m}$  ve  $A_{l,m}$  üstteki ve alttaki dđřey elemanların kesit alanlarını,  $D_{u,m}$  ve  $D_{l,m}$  üstteki ve alttaki dđřey elemanların kesit yüksekliklerini ifade etmektedir.

### Őđretme-őđrenme esaslı optimizasyon

Őđrenme-őđretme esaslı optimizasyon yöntemi Rao vd. (2011) tarafından geliştirilmiştir. Çözüm popülasyonu olarak bir sınıf ve bireyleri olarak őđrenciler ile işlemler yürütölmektedir. Optimum çözümü elde etmek için sınıftaki őđrencilerin bilgi düzeylerinin artması hedeflenmiştir. Bu için temel olarak işlemler őđretme ve őđrenme gibi iki aşamada yürütölmektedir. Sınıf ve içindeki őđrencileri ifade eden matris formu aşağıda belirtilmiştir.

$$sınıf = \begin{bmatrix} x_1^1 & x_2^1 & \dots & x_{n-1}^1 & x_n^1 \\ x_1^2 & x_2^2 & \dots & x_{n-1}^2 & x_n^2 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_1^{S-1} & x_2^{S-1} & \dots & x_{n-1}^{S-1} & x_n^{S-1} \\ x_1^S & x_2^S & \dots & x_{n-1}^S & x_n^S \end{bmatrix} \begin{matrix} \rightarrow \text{őđrenci} \rightarrow f(x^1) \\ \rightarrow \text{őđrenci} \rightarrow f(x^2) \\ \dots \\ \rightarrow \text{őđrenci} \rightarrow f(x^{S-1}) \\ \rightarrow \text{őđrenci} \rightarrow f(x^S) \end{matrix} \quad (11)$$

Burada her bir satır bir őđrenciye karşılık gelmekte olup bir tasarım çözöümünü temsil etmektedir. S sınıftaki őđrenci sayısını, n tasarım değişkenlerini,  $f(x^1) \dots f(x^S)$  ise her bir őđrencinin amaç fonksiyonu değerini ifade etmektedir. Analizler önceden hazırlanmış profil listesinden kesitlerin rastgele atanması ile başlamaktadır. Bu çalışmada AISC den alınmış 128W profili kesit kütöphanesi ile çözömler yapılmıştır

*Őđretme aşaması:* Sınıftaki en iyi çözöümü veren őđrenci őđretmen olarak dđřünülmektedir. Buna göre diğer őđrenciler aşağıdaki bağıntıya göre őđretmenin bilgisinden istifade ederek güncellenmektedir. Yeni őđrenci eski őđrenciden daha iyi bir çözöüm veriyorsa eskisinin yerine geçmektedir.

$$x^{yeni,j} = x^j + r(x_{\text{őđretmen}} - T_F x_{\text{ort.}}) \quad (12)$$

Burada  $T_F$  bir çarpan olup 1 veya 2 dir (bu çalışmada  $T_F$  1 olarak kullanılmıştır), r ise [0,1] aralığında rastgele bir sayıdır,  $x^{yeni,j}$  yeni őđrenciyi,  $x^j$  mevcut (eski) őđrenciyi,  $x_{\text{ort.}}$  ise aşağıdaki denklem ile belirtildiği gibi sınıfın ortalamasını ifade etmektedir.

$$x_{\text{ort.}} = [ort.(x_1) \text{ ort.}(x_1) \dots ort.(x_{S-1}) \text{ ort.}(x_S)] \quad (13)$$

*Őđrenme aşaması:* Bu aşamada işlemler bir önceki aşamaya oldukça benzerdir. Bu aşamada sınıftaki őđrenciler arasında bir etkileşim olmaktadır. Daha iyi çözöüm veren, bilgi düzeyi daha yüksek olan őđrenciden diğer őđrenciye bilgi aktarımı aşağıdaki denklemler ile sağlanmaktadır. Yeni őđrenci mevcut őđrenciden daha iyi bir çözöüm verirse yerine geçmektedir.

$$\begin{aligned} \text{Eğer } f(x^i) < f(x^j) &\Rightarrow x^{yeni,j} = x^i + r(x^i - x^j) \\ \text{Eğer } f(x^i) > f(x^j) &\Rightarrow x^{yeni,j} = x^j + r(x^j - x^i) \end{aligned} \quad (14)$$

Öğretme-öğrenme esaslı optimizasyonun MATLAB - SAP2000 OAPI ile uygulanışına ait akış şeması aşağıda gösterilmiştir.

### Tasarım Örneği:

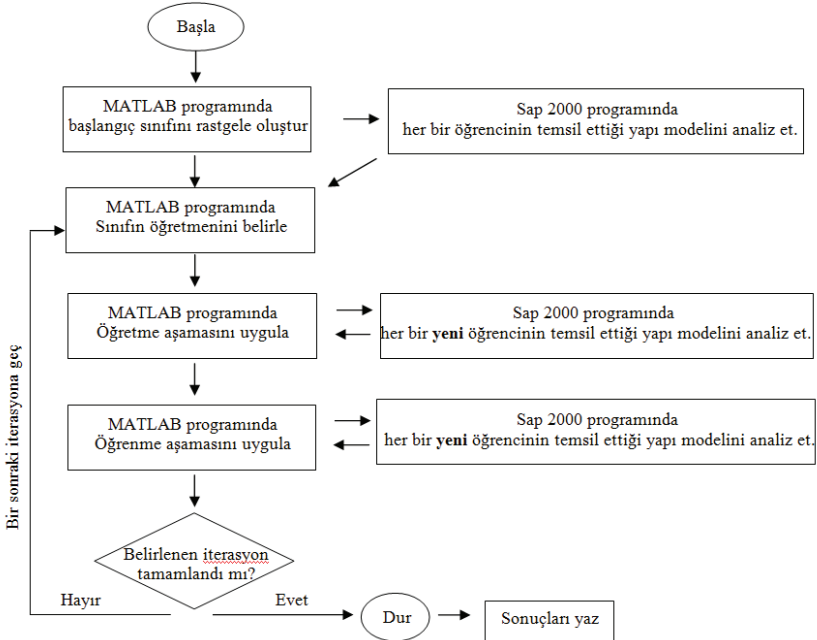
#### 942 elemanlı uzay çelik kule

942 elemanlı uzay çelik kuleye ait üç boyutlu (3d) görünüş, yan görünüş ve üst görünüş Şekil 2 de verilmiştir. Bu şekillerde geometrik ölçüler ve elemanlara ait grup numaraları (59 farklı grup) belirtilmiştir.

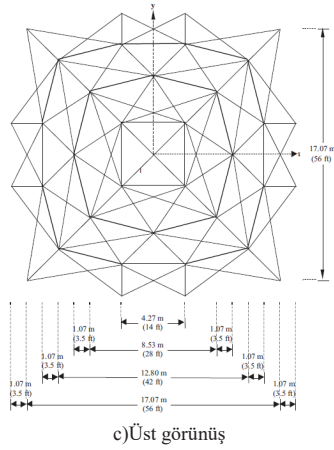
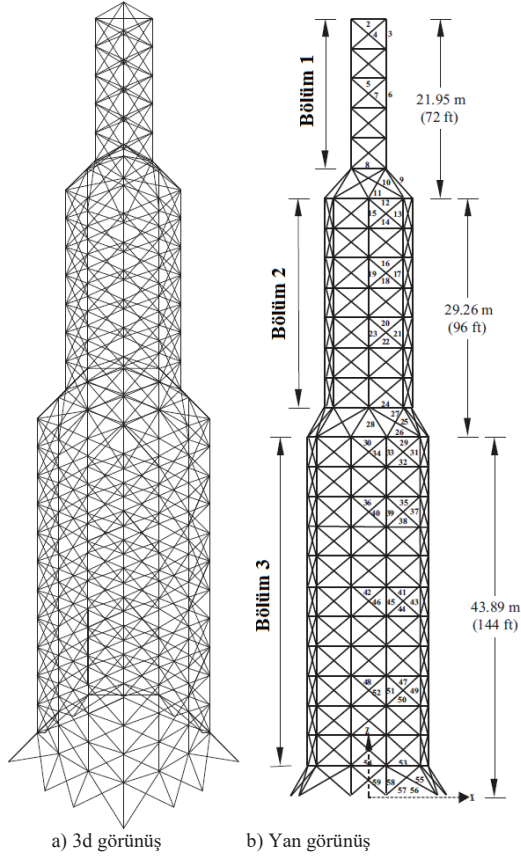
Bu çalışma daha önceden Hasaınçebi ve Erbatur (2002) tarafından benzetilmiş tavlama (SA), Hasaınçebi (2008) tarafından gelişim stratejisi (ESs) ve Hasaınçebi vd. (2013) tarafından yarasa-ilhamlı (BI) algoritma teknikleri ile çözülmüştür. Kullanılan çelik malzemesine ait özellikler elastisite modülü (E) 203,893.6 MPa ve akma gerilmesi ( $f_y$ ) 253.1 MPa dir.

Tek bir yükleme durumuna göre çözüm gerçekleştirilmiştir. Düşey yükleme z yönünde, Bölüm 1, Bölüm 2 ve Bölüm 3 deki her düğüm noktası için sırasıyla -13.344 kN, -26.688 kN ve -40.032 kN; yanal yükleme y yönünde, her düğüm noktası için 4.448 kN; yanal yükleme x yönünde, sol taraftaki her düğüm noktası için 6.672 kN ve sağ taraftaki her düğüm noktası için 4.448 kN dir.

Bu çalışmada öğretme-öğrenme esaslı optimizasyon yöntemi ile elde edilen tasarım sonuçları aşağıdaki Tablo 1 de literatür sonuçları ile birlikte karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. Ayrıca tasarıma ait minimum ağırlığın iterasyon adımları ile değişimi Şekil 3 de verilmiştir. Elde edilen tasarım çözümüne ait profillere göre 942 elemanlı uzay kafes kule yapı modelinin üç boyutlu görünüşü Şekil 4 de verilmiştir.



Şekil 1. Akış şeması

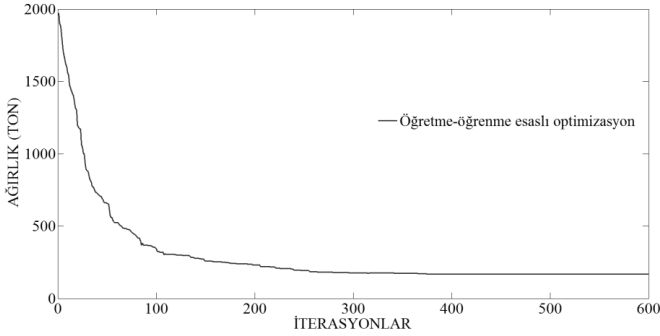


Şekil 2. 942 elemanlı uzay çelik kule

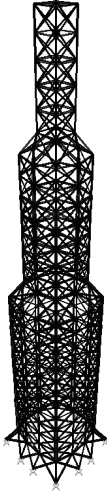
Öğretme-öğrenme esaslı optimizasyon yöntemi ile uzay kafes kule yapı sisteminin optimum boyutlandırılması

**Tablo 1.** Tasarım sonuçları ve minimum ağırlıklar (ton)

Gruplar	Hasançebi ve Erbatur (2002), SA	Hasançebi (2008), ESs	Hasançebi vd. (2013), B1	Bu çalışma Öğretme-öğrenme esaslı opt.
1	W6X9	W6X9	W6X9	W12X14
2	W6X9	W8X10	W6X9	W6X9
3	W6X9	W6X9	W6X9	W8X15
4	W6X15	W6X15	W6X15	W6X9
5	W6X9	W6X9	W6X9	W12X14
6	W6X15	W6X15	W6X15	W8X15
7	W6X15	W6X15	W6X15	W6X9
8	W6X9	W6X9	W6X9	W6X9
9	W6X20	W6X20	W6X20	W8X15
10	W8X24	W6X25	W8X24	W5X16
11	W6X15	W6X15	W6X15	W14X22
12	W6X9	W6X9	W6X9	W10X15
13	W6X20	W6X20	W6X20	W8X21
14	W6X15	W6X15	W6X15	W6X9
15	W4X13	W4X13	W4X13	W12X14
16	W6X9	W6X9	W6X9	W10X30
17	W8X28	W8X28	W8X28	W12X30
18	W6X15	W6X15	W6X15	W12X14
19	W6X15	W6X15	W5X16	W12X14
20	W6X9	W6X9	W6X9	W14X26
21	W8X35	W8X35	W8X35	W14X38
22	W6X20	W6X20	W6X20	W8X15
23	W6X25	W8X24	W8X24	W12X14
24	W8X35	W10X45	W8X35	W12X30
25	W10X49	W8X58	W10X49	W18X55
26	W8X31	W8X31	W8X31	W8X35
27	W6X15	W6X15	W6X15	W8X21
28	W8X24	W8X24	W8X24	W12X14
29	W14X26	W6X25	W8X24	W12X45
30	W8X21	W10X22	W8X21	W10X30
31	W12X87	W14X90	W27X84	W18X86
32	W6X20	W6X20	W6X20	W8X21
33	W6X20	W6X15	W5X19	W12X14
34	W6X15	W6X15	W6X15	W4X13
35	W6X9	W6X9	W6X9	W6X9
36	W6X9	W6X9	W6X9	W6X9
37	W14X99	W14X99	W14X99	W21X101
38	W8X24	W8X24	W8X24	W12X14
39	W6X15	W6X15	W6X15	W12X19
40	W6X20	W6X20	W6X20	W6X9
41	W6X9	W6X9	W6X9	W6X9
42	W6X9	W8X10	W6X9	W6X9
43	W24X131	W24X131	W24X131	W21X132
44	W8X31	W8X31	W8X31	W10X22
45	W6X15	W6X15	W6X15	W12X26
46	W8X24	W8X24	W8X24	W12X14
47	W4X13	W4X13	W4X13	W6X15
48	W6X9	W6X9	W6X9	W12X14
49	W14X145	W14X145	W14X145	W30X148
50	W8X31	W8X31	W8X31	W8X24
51	W8X28	W12X30	W8X28	W12X30
52	W8X24	W8X24	W8X24	W12X14
53	W10X60	W12X65	W12X65	W10X100
54	W24X68	W21X73	W21X73	W14X145
55	W14X132	W14X132	W14X132	W40X183
56	W8X35	W8X31	W8X31	W12X65
57	W12X79	W12X72	W12X72	W12X53
58	W8X24	W8X28	W8X28	W14X22
59	W8X35	W8X31	W8X31	W16X45
Ağırlık (TON)	172.214	171.437	171.261	169.8686



Şekil 3. Minimum ağırlığın iterasyon adımları ile değişimi



Şekil 4. Tasarım çözümünün 3d görünüşü

Analiz 20 öğrencili bir sınıf ile Şekil 3 de görüldüğü gibi 600 iterasyon boyunca yürütülmüştür. Diğer bir ifade ile  $20 \times 600 = 12000$  yapı modeli incelenmiş ve en uygun olan (sınırlayıcıları sağlayan ve minimum ağırlıkta olan) yapı modeli Tablo 1 de belirtilmiştir. Analizler, Intel (R) Core (TM) i3:3.60GHz işlemcili bir bilgisayarda yaklaşık 800 dakika sürmüştür. Bu çalışmada literatür çalışmalarında kullanılan gerilme ve yer değiştirme sınırlayıcılarının yanı sıra düşey elemanlar arasında geometrik sınırlayıcılar (kesit alanı ve yüksekliği; bağıntı 9 ve 10)

ayrıca kullanılmıştır. Tablo 1 de ayrıca çeşitli literatür çalışmaları gösterilmiştir. Bu çalışmada elde edilen tasarım profilleri literatür çalışmalarında ki sonuçlar ile oldukça benzerdir. Bununla birlikte bu çalışmada diğerler çalışmalardan %1 civarında daha hafif yapı boyutlandırılabilmiştir.

### Sonuçlar ve Tartışma

Bu çalışmada Rao vd. (2011) tarafından geliştirilmiş olan öğretme-öğrenme esaslı optimizasyon yöntemi uzay kafes yapı kule modeli üzerinde denenmiştir. Kullanılan sınırlayıcılar olarak gerilme sınırlayıcıları (AISC-ASD), yer değiştirme sınırlayıcıları ve düşey elemanlar arasında geometrik sınırlayıcılar kullanılmıştır. Analizlerin sağlıklı yürütülebilmesi için MATLAB da SAP2000 OAPI ile birlikte çalışabilen bir program kodlanmıştır. Kullanılan kesitler AISC den alınan 128W profil arasında gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar literatür sonuçları ile oldukça paralel olmakla birlikte toplam ağırlık bakımından %1 kadar daha hafiftir. Buna göre bu yöntemin yapısal optimizasyon açısından oldukça elverişli olduğu görülmüştür.

### Kaynaklar

- AISC – ASD (1989). *Manual of Steel Construction: Allowable Stress Design*, American Institute of Steel Construction, Chicago.
- Artar, M. ve Daloğlu, A.T. (2015). Optimum design of steel space frames with composite beams using genetic algorithm, *Steel and Composite Structures*, **19**, 2, 503-519.



- Artar, M. ve Daloğlu, A.T. (2015). Optimum design of composite steel frames with semi-rigid connections and column bases via genetic algorithm, *Steel and Composite Structures*, **19**, 4,1035-1053.
- Artar, M. (2016). Optimum design of steel space frames under earthquake effect using harmony search, *Structural Engineering and Mechanics*, **58**, 3, 597-612.
- Aydoğdu, İ. ve Saka, M.P. (2012). Ant colony optimization of irregular steel frames including elemental warping effect, *Advances in Engineering Software*, **44**, 1, 150-169.
- Daloglu, A. ve Armutcu, M. (1998). Optimum design of plane steel frames using genetic algorithm, *Teknik Dergi*, **116**, 1601-1615.
- Dede, T. ve Ayvaz, Y. (2013). Structural optimization with teaching-learning-based optimization algorithm, *Structural Engineering and Mechanics*, **47**, 4, 495-511.
- Dede, T. (2013), "Optimum design of grillage structures to LRFD-AISC with teaching-learning based optimization", *Structural and Multidisciplinary Optimization*, **48**,5, 955-964.
- Dede, T. (2014). Application of teaching-learning-based-optimization algorithm for the discrete optimization of truss structures, *Ksce Journal of Civil Engineering*, **18**, 6, 1759-1767.
- Değertekin, S.O. (2007). A comparison of simulated annealing and genetic algorithm for optimum design of nonlinear steel space frames, *Structural and Multidisciplinary Optimization*, **34**, 4, 347-359.
- Değertekin, S.O., Hayalioğlu, M.S. ve Gorgun, H. (2009). Optimum design of geometrically nonlinear steel frames with semi-rigid connections using a harmony search algorithm, *Steel and Composite Structures*, **9**, 6, 535-555.
- Değertekin, S.O., Hayalioğlu, M.S. ve Gorgun, H. (2011). Optimum design of geometrically nonlinear steel frames with semi-rigid connections using improved harmony search method, *Mühendislik Dergisi, Dicle University, Department of Engineering*, **2**, 1, 45-56.
- Erbatur, F., Hasancebi, O., Tutuncu, I. ve Kılıç, H. (2000). Optimal design of planar and space structures with genetic algorithms", *Computers and Structures*, **75**, 2, 209-224.
- Hasancebi, O ve Erbatur F. (2002). "On efficient use of simulated annealing in complex structural optimization problems", *Acta Mechanica*, **157**, 27-50.
- Hasancebi, O., Çarbas, S. ve Saka, M.P. (2010). Improving the performance of simulated annealing in structural optimization, *Structural and Multidisciplinary Optimization*, **41**,189-203.
- Hasancebi O. (2008). Adaptive evolution strategies in structural optimization: enhancing their computational performance with applications to large-scale structures. *Computers and Structures*, **86**, 119-32.
- Hasancebi, O., Teke, T. ve Pekcan, O.(2013). A bat-inspired algorithm for structural optimization, *Computers and Structures*, **128**, 77-90.
- Hayalioğlu, M.S. ve Degertekin, S.O. (2005). Minimum cost design of steel frames with semi-rigid connections and column bases via genetic optimization", *Computers and Structures*, **83**, 21-22, 1849-1863.
- Hayalioğlu, M.S. ve Değertekin, S.O. (2004). Genetic algorithm based optimum design of nonlinear steel frames with semi-rigid connections, *Steel and Composite Structures*, **4**, 6, 453-469.
- Kameshki, E.S. ve Saka, M.P. (2001). Genetic algorithm based optimum bracing design of non-swaying tall plane frames, *Journal of Constructional Steel Research*, **57**, 10, 1081-1097.
- Lee, K.S. ve Geem, Z.W. (2004). A new structural optimization method based on the harmony search algorithm, *Computers and Structures*, **82**,781-798.
- MATLAB (2009). *The Language of Technical Computing*; The Mathworks, Natick, MA, USA.
- Rajeev, S. ve Krishnamoorthy, C.S. (1992). Discrete optimization of structures using genetic algorithms, *Journal of Structural Engineering ASCE*, **118**, 5, 1233-1250.
- Rao, R.V., Savsani, V.J. ve Vakharia, D.P. (2011). Teaching-learning-based optimization: A novel method for constrained mechanical design optimization problems, *Computer-Aided Design*, **43**, 3,303-315.
- Saka, M.P. (2009), Optimum design of steel sway frames to BS5950 using harmony search algorithm, *Journal of Constructional Steel Research*, **65**, 1, 36-43.
- SAP2000 (2008). *Integrated Finite Elements Analysis and Design of Structures*, Computers and Structures, Inc, Berkeley, CA.
- Toğan, V., Daloğlu, A.T. ve Karadeniz, H. (2011). Optimization of trusses under uncertainties with harmony search, *Structural Engineering and Mechanics*, **37**, 5, 543-560.
- Toğan, V. (2012). Design of planar steel frames using Teaching-Learning Based Optimization, *Engineering Structures*, **34**, 225-232.

## Optimum design of space truss tower using teaching-learning based optimization

### Extended abstract

Minimum weight design of steel structures is an important research subject in structural engineering. Main purpose in this subject is to reduce steel consumption. Steel structures include discrete design variables and meta-heuristic algorithm methods are very suitable for optimum design of them.

In this study, optimum design of 942-bar steel space truss tower is investigated by using teaching learning based optimization which has been developed in recent years. As in the other stochastic algorithm techniques such as genetic algorithm, harmony search algorithm, ant colony optimization, artificial bee algorithm, simulated annealing, tabu search algorithm, particle swarm optimization etc.; teaching-learning based optimization mimics environmental events. Analyses in this method are conducted by a class including students. Each student in class represents a structural model and information level of each student is tried to increase by teaching and learning phases. So, the best solution obeying the constraints and having minimum weight can be obtained after a specific number of iterations.

This novel algorithm technique was developed by Rao et al. (2011) and comprised of two main phases such as teaching phase and learning phase. The number of students in class presents population size. Initial class is randomly created and the best solution in class is selected as teacher. In teaching phase, other students in class are updated to take information from teacher. If new student provides a better design solution, it is replaced with old student. In the learning phase, students in class are updated to get information among them. This phase is very similar to teaching phase. If new student produces a better solution, it is replaced with old students.

942-bar space truss tower investigated in this study is taken from literature. This example was designed by different algorithm methods in literature. The stress constraints according to AISC-ASD (American Institute of Steel Construction- Allowable Stress Design), displacement constraints and

geometric size constraints for vertical members are imposed. Design profiles are selected from a specified list which is prepared in SAP2000 software and includes 128W profiles taken from AISC. A program was coded in MATLAB software which is automatically incorporated with SAP2000 OAPI (Open Application Programming Interface) to conduct practically optimization processes. 942-bar space truss tower is modeled in SAP2000 software. The structural model is continuously updated to analyze by this program.

942-bar space truss tower is an example in large scale because its members are collected into 59 different size variables. In this study, population size is selected as 20. Therefore, analyses are conducted with a class determined as 20x59 matrix. Analyses are performed along 600 iterations. Figure 3 shows the variation of the minimum steel weight with iteration steps. As seen in this figure, while steel weight in first iterations is 2000 ton, minimum steel weight is reduced to 169.868 ton after 600 iterations.

The solution results obtained in this study are very close to the previous ones in literatures obtained by different algorithms. The minimum weights 172.214 ton, 171.437 ton, 171.261 ton are calculated by Hasançebi and Erbatur (2002, simulated annealing: SA), Hasançebi (2008, evolution strategies: ESs), Hasançebi et al.(2013, bat-inspired algorithm: BI), respectively. In this study, although additional constraints such as geometric size (area and dept of cross sections) for vertical members are used, the minimum weight is calculated as 169.868 ton. This weight is nearly 1% lighter than other results.

These successful results show that teaching-learning based optimization is an efficient method for optimum designs of steel structures with discrete design variables. Moreover, this new method is practically applied by using MATLAB-SAP2000 OAPI. So, various structural optimization problems can be carried out by using teaching-learning based optimization.

**Keywords:** Space truss tower, Teaching-learning based optimization, MATLAB-SAP2000 OAPI, Optimum design.