

Ayrık tasarım değişkenli kafes yapıların modifiye edilmiş armoni arama algoritması ile optimum tasarımı

S. Özgür DEĞERTEKİN^{*1}, Cemal KARAASLAN²

¹Dicle Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 21280, Diyarbakır

²Karayolları Genel Müdürlüğü, 11. Bölge Müdürlüğü, Üstyapı Başmühendisliği, 65090, Van

Makale Gönderme Tarihi: 24.08.2015

Makale Kabul Tarihi: 16.03.2016

Öz

Bu çalışma ile ayrık tasarım değişkenli kafes yapıların optimizasyonunda modifiye edilmiş armoni arama algoritması (MHS) kullanılmıştır. Armoni arama; müzisyenlerin beste yaparken en iyi armoniyi bulmak için izledikleri yol ile optimizasyon problemlerinin çözümünde izlenen yol arasında benzerlik kuran bir yöntemdir. Optimum tasarımda amaç; gerilme ve deplasman sınırlayıcıları altında minimum ağırlıklı kafes yapıların elde edilmesidir.

Bu çalışmada sunulan modifiye edilmiş armoni arama yöntemiyle, klasik armoni arama yöntemine göre daha güçlü bir yöntem elde edilmesi amaçlanmıştır. Önerilen yöntemin etkinliğini test etmek için literatürde daha önce klasik armoni arama, sezgisel parçacık sürü optimizasyonu, mayın patlatma algoritması, modifiye edilmiş ateş böceği algoritması ve öğretim-öğrenme esaslı optimizasyon yöntemleri kullanılarak optimum tasarımı yapılmış olan 25 elemanlı uzay kafes yapı kullanılmıştır. Modifiye edilmiş armoni arama yönteminin stokastik (olasılığa dayalı) yapısından dolayı tasarım örneği 10 kez icra edilmiş ve bu farklı icralardan elde edilen tasarımlardan en hafif olanı ile literatürden alınan sonuçlarla kıyaslanmıştır. Bu kıyaslamalar sonucunda, modifiye edilmiş armoni arama algoritması ile daha hafif kafes yapı tasarımının elde edildiği tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Modifiye edilmiş armoni arama, Optimum tasarım, Kafes yapılar.

Giriş

Sezgisel araştırma yöntemleri son yirmi yılda optimizasyon problemlerinin çözümünde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yöntemler doğadaki herhangi bir süreç ile optimizasyon problemleri arasında ilişki kurma esasına dayanır. Genetik algoritmalar (GA), karınca koloni optimizasyonu (ACO), parçacık sürü optimizasyonu (PSO), armoni arama (HS), yapay arı koloni optimizasyonu (ABC), öğrenme-öğretme esaslı optimizasyon (TLBO) en önemli sezgisel araştırma yöntemleri arasında sayılabilir.

Genetik algoritmalar, doğada mevcut şartlara en uygun olan bireyin hayatta kalması esasını optimizasyon problemlerine uygular. Karınca koloni optimizasyonu, karıncaların yuvaları ve besin kaynakları arasında en kısa yolu bulmak için uyguladıkları stratejileri taklit eder. Parçacık sürü optimizasyonu, böcek sürüsü, kuş sürüsü ya da balık sürüsü gibi yaşam kolonilerinin davranışıyla optimizasyon problemleri arasında benzerlik kurar. Armoni arama yönteminde müzisyenlerin en iyi armoniyi elde etmek için izledikleri yol ile optimizasyon problemleri arasında benzerlik kurulması esas alınır ve çözüm yöntemleri geliştirir. Yapay arı koloni algoritması; arı kolonilerindeki çalışma mekanizması ve arıların nektar elde etmek için izledikleri stratejilerin taklit edilmesi esasına dayanır. Öğretme-öğrenme esaslı optimizasyon yöntemi, bir öğretmenin öğrenciler üzerindeki etkisini ve öğrencilerin birbirleriyle olan etkileşimlerini modelleyen bir yöntemdir.

Bu çalışmada güçlü bir sezgisel araştırma yöntemi olarak kabul edilen armoni arama (HS) yöntemi kullanılmıştır. Armoni arama yöntemi ilk kez Geem ve ark. (2001) tarafından ileri sürülmüştür. Yöntem yapı sistemlerinin optimizasyonunda da kullanılmış ve oldukça başarılı sonuçlar vermiştir (Lee ve Geem, 2004; Lee ve ark., 2005; Değertekin 2008a-2008b).

Armoni arama yönteminde ortaya çıkan bazı eksikliklerin giderilmesi ve yöntemin daha etkin bir hale getirilmesi amacıyla gelişmiş armoni arama, modifiye edilmiş armoni arama, ileri

armoni arama adı altında farklı armoni arama yöntemleri geliştirilmiştir.

Bu çalışmada ayrıık tasarım değişkenli uzay kafes yapıların optimum tasarımı için modifiye edilmiş armoni arama yöntemi geliştirilmiştir. Optimum tasarımda; deplasman ve gerilme sınırlayıcıları altında minimum ağırlıklı kafes yapının elde edilmesi amaçlanmaktadır. Tasarım değişkenleri hazır olarak verilen enkesit listelerinden seçilecektir.

Öne sürülen modifiye edilmiş armoni arama yöntemi (MHS) 25 elemanlı uzay kafes yapı üzerinde test edilmiş ve elde edilen sonuçlar literatürde hazır bulunan standart armoni arama algoritması (HS), hibrid parçacık sürü optimizasyonu (HPSO), mayın patlatma algoritması (MBA), modifiye edilmiş ateşböceği algoritması (AFA), öğretme-öğrenme esaslı optimizasyon (TLBO) yöntemlerinden elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Bu kıyaslamalar sonucunda öne sürülen modifiye edilmiş armoni arama algoritmasının yukarıda adı geçen sezgisel optimizasyon yöntemleri kadar güçlü olduğu tespit edilmiştir.

Optimum tasarım problemi

Bir kafes yapının optimum tasarım problemi şu şekilde ifade edilebilir:

$$W(X) = \sum_{k=1}^{ng} x_k \sum_{i=1}^{mk} \rho_i L_i \quad (1)$$

$$\frac{|\sigma_i|}{|\sigma_{im}|} - 1 \leq 0 \quad i = 1, 2, \dots, nm \quad (2)$$

$$\frac{|\delta_i|}{|\delta_{im}|} - 1 \leq 0 \quad i = 1, 2, \dots, nm \quad (3)$$

bu denklemlerde X tasarım değişkenlerini ihtiva eden bir vektör ($X = \{x_1, x_2, \dots, x_{ng}\}$), $W(X)$ kafes yapının ağırlığı (amaç fonksiyonu), ng yapıdaki toplam eleman grup sayısı (tasarım değişkeni sayısı), x_k k 'nci gruptaki elemanların enkesit alanı olup hazır kesit listelerinden alınacaktır, mk k 'nci gruptaki eleman sayısı, ρ_i i 'nci elemanın özgül ağırlığı, L_i i 'nci eleman uzunluğu, nm kafes yapıdaki eleman sayısı, nm

düğüm noktaları sayısı, σ_i i 'nci elemandaki gerilme, σ_{im} i 'nci eleman için müsaade edilen gerilme değeri, δ_i i 'nci düğümdeki deplasman değeri, δ_{im} i 'nci düğüm için müsaade edilen deplasman değeridir.

Kafes yapıların optimum tasarımı sonucunda elde edilen tasarımların, (2)-(3) denklemlerinde verilen sınırlayıcıları sağlaması gerekmektedir. Bu çalışmada Kaveh ve Talatahari (2009) tarafından sunulan modifiye edilmiş amaç fonksiyonu kullanılmıştır. Bu yöntemin kafes yapıların optimum tasarımındaki geçerliliği daha önce yapılan çalışmalarla test edilmiştir (Kaveh ve Talatahari, 2009; Degertekin, 2012). Modifiye edilmiş amaç fonksiyonunda aşağıda verilen dört kural uygulanmıştır:

- I. Sınırlayıcıları sağlayan tasarım her zaman sınırlayıcıları sağlamayan tasarıma tercih edilir.
- II. Sınırlayıcıları çok küçük değerlerde (ilk armonide 0,01 ve son armonide 0,001) ihlal eden tasarımlar yapılabılır bir tasarım olarak göz önüne alınır.
- III. Sınırlayıcıları sağlayan iki tasarım arasında daha hafif olan tasarım tercih edilir.
- IV. Sınırlayıcıları sağlamayan tasarımlar arasında daha az ihlal eden tasarım tercih edilir.

Burada *I. kural* optimizasyon işleminin sınırlayıcıları sağlayan tasarımlar etrafında kalmasını sağlarken, *III. kural* sınırlayıcıları sağlayan tasarımlardan daha hafif olan tasarımlar etrafında arama işleminin devam etmesini sağlamaktadır. *II. kural* ise optimizasyon işleminde sınırlayıcıları çok az oranda ihlal eden tasarımların yakınında olabilecek optimum tasarımların araştırılmasını sağlar. Ancak bu kurala göre elde edilen tasarımlar arama işlemine dahil edilirken optimum tasarım olarak kabul edilmez (Degertekin ve Hayalioğlu, 2011).

Armoni arama

İki veya daha fazla sesin aynı anda kulağa hoş gelecek biçimde uyumlu olması armoni olarak adlandırılmaktadır. Günlük hayatta armoni,

uyum ve ahenk kelimelerine karşı gelmektedir. *HS* müzisyenlerin en iyi armoniyi bulmak için izledikleri yolu taklit eden gelişmiş bir arama yöntemidir. Çeşitli sesleri belirtmek ve bunların birbirine karışmasını engellemek için sesleri temsil eden notalara *Do, Re, Mi, Fa, Sol, La, Si* gibi özel isimler verilmiştir. Bir enstrüman çalındığında istenen notayı vermesi için enstrümanın ayarlanması işlemine ise akort denir. Birbirine uyumlu notaların bir araya gelmesi ile beste oluşur. Müzisyenler beste yaparken kullandıkları enstrümanlar vasıtasıyla farklı armoniler elde ederler. Bu armoniler içinde tecrübelerine göre beğenmediklerini veya uygun olmayanları elerken, iyi olanları daha iyi armoniler elde etmek için kullanırlar. Bu esnada akort ayarları tekrar yapılarak mevcut armoniden daha iyi bir armoni elde edilmeye çalışılır. En iyi armoninin bulunduğuna kanaat getirilinceye kadar bu işlemler tekrarlanır. *HS* yönteminin esasını armoni hafıza (*IHMS*) oluşturur.

IHMS'yi açıklayabilmek için verilebilecek en iyi örnek bir caz grubudur. Herhangi bir caz grubu genel olarak gitarist, piyanist ve baterist olmak üzere üç müzisyenden oluşmaktadır. Başlangıçta üç müzisyeninde aklında farklı notalar olacaktır. Örneğin gitarist [Fa, Mi, Sol, Re, Si]; piyanist [Si, La, Re, Sol, Do]; baterist [Do, Fa, Sol, Re, Mi] notalarını rasgele olarak düşünsün. Bu notalar içinde Gitarist Sol, piyanist Si ve baterist Re notalarını kullansın. Böylece üç müzisyen [Sol, Si, Re] şeklinde müzikte *G-akordu* adı verilen bir armoni oluşturur. Bu şekilde oluşturdukları armoni, hafızalarında mevcut olan en kötü armoniden daha iyi ise mevcut en kötü armoni'yi eleyip onun yerine yeni armoniyi kaydederler. Bu işlemleri en iyi armoniyi elde ettiklerine kanaat getirinceye kadar tekrarlarlar.

Benzer şekilde üç eleman grubuna (tasarım değişkenine) sahip bir kafes yapı tasarımı göz önüne alalım. Bu tasarım [0.64, 1.29, 1.93, 2.58, 3.22, 3.87, 4.52, 5.16, 5.80](cm^2) enkesit listesinden seçilsin. Bu listeden; [1.29, 2.58, 4.52](cm^2) enkesit alanlı kesitler birinci, ikinci ve üçüncü tasarım değişkeni olarak rasgele seçilsin. Bu durumda [1.29, 2.58, 4.52](cm^2)

enkesitlerinden oluşan bir kafes yapı tasarımı elde edilir. Bu tasarım için kafes yapı analizi yapılarak amaç fonksiyonu bulunur. Eğer bu kafes yapının amaç fonksiyonu, daha önce armoni hafızada mevcut olan kafes yapılar içindeki en büyük amaç fonksiyonu değerinden daha küçükse bu kafes yapı tasarımı tasarım işlemine dahil edilirken en büyük amaç fonksiyonuna sahip tasarım elenir. Bu işlemler kabul edilen bir durdurma kriteri sağlanıncaya kadar tekrarlanır.

HS ve kafes yapı tasarımı arasındaki ilişki şu şekilde kurulabilir: *HS*'deki armoni kafes yapı tasarımındaki amaç fonksiyonunu, farklı armoniler farklı kafes yapı tasarımlarını gösterir. Her enstrüman bir tasarım değişkenini, her nota ise enkesit listesindeki bir enkesiti ile gösterilir. Daha iyi armoniler lokal optimumları, en iyi armoni ise global optimuma karşı gelir (Değertekin, 2010).

Armoni arama algoritması

Bu çalışmada Değertekin (2008a)'da açıklanan *HS* algoritması esas alınmıştır. Buna göre *HS* algoritması şu adımlardan oluşmaktadır:

Armoni arama parametrelerinin atanması

İlk adımda *HS*'de kullanılacak parametreler atanır. Bunlar; *IHMS* kapasitesi (κ), armoni hafıza kullanma oranı (η), ses düzeltme oranı (ζ) ve durdurma kriteridir. Bu parametreler probleme bağlı olarak seçilmektedir.

Armoni hafızanın çalıştırılması

Armoni hafıza (*IHMS*), κ kadar rasgele üretilen tasarımdan meydana gelen bir matris olarak aşağıdaki gibi verilebilir. Bu matriste her satır bir tasarımı, her sütun ise bir tasarım değişkenini gösterir. $x^1, x^2, \dots, x^{K-1}, x^K$ tasarımları, $W(x^1), W(x^2), \dots, W(x^{K-1}), W(x^K)$ bu tasarımlara ait amaç fonksiyonlarının değerleridir. *IHMS*'deki tasarımlar amaç fonksiyonlarına göre sıralanmıştır. Buna göre amaç fonksiyonu değeri en küçük olan tasarım *IHMS*'nin ilk satırında, amaç fonksiyonu değeri en büyük olan tasarım *IHMS*'nin son sırasında yer alır ($W(x^1) < W(x^2) < \dots < W(x^K)$). *IHMS*'nin amacı, arama esnasında elde edilen

iyi tasarımları koruma altına almak ve bu tasarımlardan faydalanarak daha iyi tasarımları bulmaktır.

$$IHMS = \begin{bmatrix} x_1^1 & x_2^1 & \dots & x_{ng-1}^1 & x_{ng}^1 \\ x_1^2 & x_2^2 & \dots & x_{ng-1}^2 & x_{ng}^2 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ x_1^{K-1} & x_2^{K-1} & \dots & x_{ng-1}^{K-1} & x_{ng}^{K-1} \\ x_1^K & x_2^K & \dots & x_{ng-1}^K & x_{ng}^K \end{bmatrix} \begin{bmatrix} W(x^1) \\ W(x^2) \\ \vdots \\ W(x^{K-1}) \\ W(x^K) \end{bmatrix} \quad (4)$$

Yeni Armoninin Geliştirilmesi

HS'de yeni tasarım (yeni armoni); *IHMS*'nin değerlendirilmesi, ses ayarı ve rasgele üretim ile geliştirilir. *IHMS*'nin değerlendirilmesinde; yeni tasarımdaki $\{x_1^{ya}, x_2^{ya}, x_3^{ya}, \dots, x_{ng-1}^{ya}, x_{ng}^{ya}\}$ ilk tasarım değişkeni $\{x_i^{ya}\}$, η armoni hafıza kullanma oranı değerine bağlı olarak ya *IHMS*'de mevcut olan ilk tasarım değişkenlerinden $\{x^1, x^2, \dots, x^{K-1}, x^K\}$ ya da kafes yapı enkesit listesinden (X_{ks}) seçilir. Yeni armoninin diğer tasarım değişkenleri de aynı şekilde belirlenir. η şu şekilde uygulanır:

$$\begin{cases} x_1^{ya} \in \{x_1^1, x_1^2, \dots, x_1^{K-1}, x_1^K\} & \text{ise } rn \leq \eta \\ x_1^{ya} \in X_{ks} & \text{ise } rn > \eta \end{cases} \quad (5)$$

İlk olarak, $[0,1]$ aralığında rasgele bir sayı (rn) üretilir. Eğer $rn \leq \eta$ ise yeni tasarımdaki i 'nci tasarım değişkeni x_i^{ya} *IHMS*'nin i 'nci sütunundan seçilir. Aksi halde i 'nci tasarım değişkeni kesit listesinden seçilir. Örneğin $\eta=0.9$ değeri, *HS*'da i 'nci tasarım değişkeninin %90 olasılıkla *IHMS*'nin i 'nci kolonundaki kesitlerden, %10 olasılıkla kafes yapı enkesit listesinden seçileceğini gösterir. *HS*'da, *IHMS*'de olmayan kesitlerin kullanılmasıyla daha iyi tasarımların elde edilebileceği olasılığı göz önüne alınarak η için 1.0 değeri kullanılmaz. η 'nin kullanılmasının amacı, aramanın lokal optimumlara yakınsamasına engel olmaktadır.

Yeni tasarımda *IHMS*'den seçilen her tasarım değişkenine ζ ses düzeltme oranı kullanılarak ses ayarının yapıp yapılmayacağına karar verilir. ζ mevcut tasarıma komşu olan daha iyi

tasarımları araştırmak için kullanılan bir parametre olup şu şekilde uygulanır:

$$x_a^{ya} \text{ için ses ayarı} \begin{cases} \text{Yap} & \text{ise } rna \leq \xi \\ \text{Yapma} & \text{ise } rna > \xi \end{cases} \quad (6)$$

Öncelikle yeni tasarımda ses ayarı yapılacak tasarım değişkeni (x_i^{ya}) için [0,1] aralığında rasgele bir sayı (rna) üretilir. Eğer $rna \leq \xi$ ise bu tasarım değişkeni kesit listesinde kendisine komşu olan bir kesitle değiştirilir, aksi halde tasarım değişkeni aynı kalır. Örnek olarak $\xi = 0.4$ değeri HS algoritmasının $0.4 \times \eta$ olasılığıyla x_i^{ya} yerine kesit listesinde kendisine komşu olan profil kesitin atayacağını gösterir. Tasarım değişkeninin kesit listesinde kendisine komşu olan profil kesitle değiştirilmesi komşu derinlik indeksi kullanılarak yapılır. Örneğin x_i^{ya} tasarım değişkeni 1.61 cm^2 enkesit alanına sahip olsun. Komşu derinlik indeksi ± 2 için bu enkesite komşu enkesitlerin [0.91, 1.26, 1.61, 1.98, 2.52](cm^2) olduğu kabul edilsin. [+2, -2] aralığında rasgele olarak +2 sayısının üretilmesi durumunda $0.4 \times \eta$ olasılığıyla 2.52 cm^2 , 1.61 cm^2 'nin yerine atanır veya $(1 - 0.4 \times \eta)$ olasılığıyla 1.61 cm^2 değişmeden kalır.

Armoni hafızanın güncellenmesi

Eğer yeni geliştirilen tasarımın amaç fonksiyonu değeri $W(x^{ya})$ $IHMS$ 'deki en büyük amaç fonksiyonuna sahip olan ve son sırada yer alan tasarımın amaç fonksiyonu değerinden $W(x^K)$ daha küçükse ($W(x^{ya}) < W(x^K)$), yeni tasarım $IHMS$ 'ye dahil edilirken son sıradaki tasarım $IHMS$ 'den çıkartılır. Bu işlem sonrasında amaç fonksiyonu değerlerine göre $IHMS$ 'deki tasarımlar tekrar sıralanır.

Arama İşleminin Bitirilmesi

Yeni armoninin geliştirilmesi ve armoni hafızanın güncellenmesi kısımlarında açıklanan işlemler kabul edilen durdurma kriterleri sağlanıncaya kadar tekrarlanır.

Bu çalışmada geliştirilen HS algoritmasında önceden belirlenen sayıda tasarım üretilmesi durumunda arama işlemi bitirilmiştir (Değertekin, 2010).

Modifiye edilmiş armoni arama algoritması (MHS)

Klasik armoni arama yönteminde başlangıçta verilen PAR ve bw değerleri optimizasyon boyunca sabit kalmaktadır. Ancak bu değerlerin optimizasyon boyunca değişen şartları göz önüne alacak şekilde güncellenmesi HS yönteminin etkinliğini artırabilir. Optimizasyon işleminin başlangıcında araştırılacak bölge oldukça geniştir. Bununla birlikte, zamanla optimum çözümlerin elde edilmesiyle araştırma bölgesi gittikçe daralmakta ve belli çözümlerin etrafında kümelenmeye başlamaktadır. Bu gerçeği göz önünde bulundurarak başlangıçta 1'e yakın alınan ses düzeltme (PAR) oranının zamanla azaltılması ve başlangıçta nispeten büyük bir değer seçilen komşu derinlik indeksinin (bw) ilerleyen adımlarda küçültülmesi gerçekçi bir yaklaşım olacaktır. Bu durumun ifade edilmesi için klasik armoni arama yöntemindeki PAR ve bw değerleri şu şekilde güncellenmelidir (Mahdavi ve ark., 2007):

$$PAR(n) = PAR_{maks} - \frac{(PAR_{maks} - PAR_{min})}{n_{maks}} \times n \quad (7)$$

$$bw(n) = bw_{maks} \exp(c \times n) \quad (8)$$

$$c = \frac{\ln\left(\frac{bw_{min}}{bw_{maks}}\right)}{n_{maks}} \quad (9)$$

burada $PAR(n)$, n 'nci armoni arama için ses düzeltme oranı, PAR_{maks} ve PAR_{min} maksimum ve minimum ses düzeltme oranları, bw_{min} ve bw_{maks} minimum ve maksimum komşu derinlik indeksleri ve n_{maks} maksimum armoni arama sayısıdır (Değertekin ve Hayalioğlu, 2011).

PAR ve bw değerlerinin bu şekilde her adımda güncellenmesiyle modifiye edilmiş armoni arama yöntemi (MHS) elde edilmiş olur.

Sayısal uygulama

25 elemanlı uzay kafes yapı Şekil 1'deki gibidir. Bu yapının optimum tasarımı daha önce HS (Lee ve ark. 2005), HPSO (Li ve ark., 2009), MBA (Sadollah ve ark., 2012), AFA (Baghlani ve ark., 2014) ve TLBO (Dede, 2014)

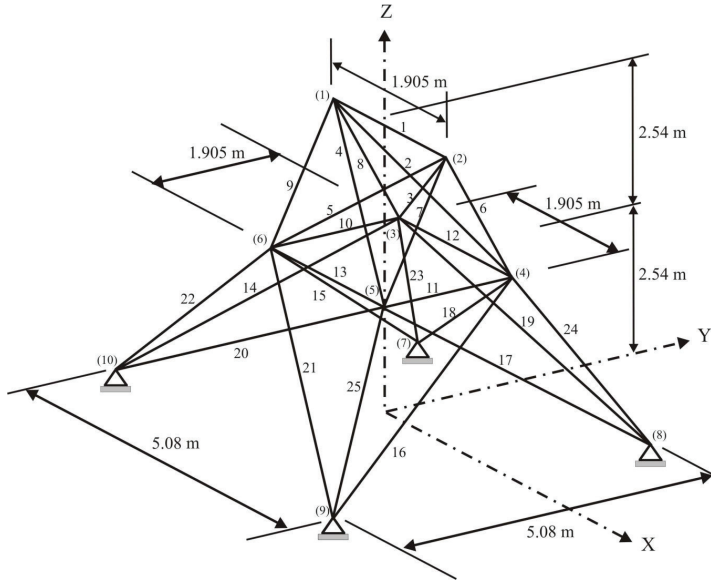
yöntemleriyle yapılmıştır. Doğru bir kıyaslama için kafes yapı ile ilgili tüm değerler önceki çalışmalarda alınan değerlerin aynıdır. Buna göre; malzemenin özgül ağırlık ve elastisite modülü sırasıyla 0.027144 N/cm^3 ve 68947.57 MPa 'dır. Gerilme sınır değeri çekme elemanları için $+275.79 \text{ MPa}$, basınç elemanları için -275.79 MPa 'dır. Tüm düğüm noktalarındaki (mesnet düğüm noktaları hariç) deplasman değerleri her doğrultuda (X , Y ve Z) $\pm 0.889 \text{ cm}$ olarak sınırlanmıştır. Kafes yapıya ait 8 eleman grubu: (1) A_1 , (2) A_2 - A_5 , (3) A_6 - A_9 , (4) A_{10} - A_{11} , (5) A_{12} - A_{13} , (6) A_{14} - A_{17} , (7) A_{18} - A_{21} , (8) A_{22} - A_{25} şeklindedir. Bu eleman gruplarına enkesit ataması için $\{0.64516, 1.29032, 1.93548, 2.58064, 3.2258, 3.87096, 4.51612, 5.16128, 5.80644, 6.4516, 7.09676, 7.74192, 8.38708, 9.03224, 9.6774, 10.32256, 10.96772, 11.61288, 12.25804, 12.9032, 13.54836, 14.19352, 14.83868, 15.48384, 16.129, 16.77416, 18.06448, 19.3548, 20.64512, 21.93544\}(\text{cm}^2)$ 'den oluşan enkesit listesi kullanılacaktır. 25 elemanlı uzay kafes yapıya ait yük durumu Tablo 1'de gösterilmiştir.

Bu örneğe ait optimum değer ve 10 farklı icradan elde edilen değerlerin ortalama ağırlık ve standart sapma değerleri literatürde mevcut bulunan çalışmalarla kıyaslamalı olarak Tablo 2'de sunulmuştur.

Tablo 1. 25 elemanlı uzay kafes yapının yük durumu

Düğüm no.	F_x (kg)	F_y (kg)	F_z (kg)
1	453.4	-4534.0	-4534.0
2	0.0	-4534.0	-4534.0
3	226.7	0.0	0.0
6	272.0	0.0	0.0

Tablo 2'nin incelenmesiyle MHS ile 18077 yapı analizi sonunda 219.69 kg ağırlığında bir kafes yapı tasarımı elde edildiği görülmektedir. MHS ile; HS (Lee ve ark., 2005), HPSO (Li ve ark., 2009), MBA (Sadollah ve ark., 2012), AFA (Baghlani ve ark., 2014) ve TLBO (Dede, 2014) ile elde edilen tasarımlardan daha hafif bir tasarım elde edilmiştir.



Şekil 1. 25 Elemanlı uzay kafes yapı

Tablo 2. 25 Elemanlı uzay kafes yapının optimum tasarımlarının karşılaştırılması

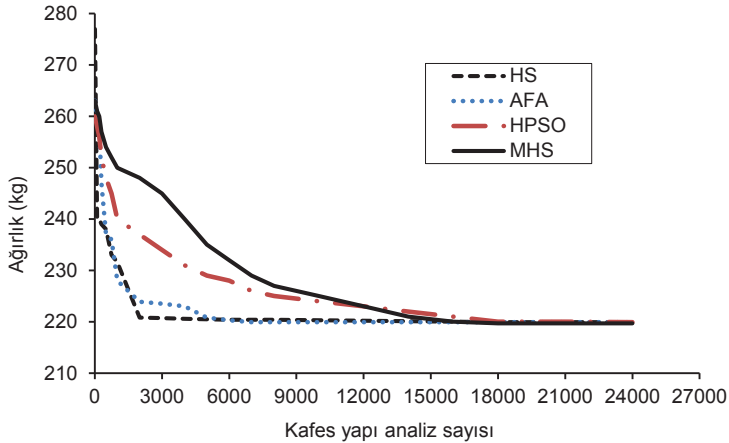
Tasarım değişkenleri A_i (cm ²)	HS (Lee ve ark., 2005)	HPSO (Li ve ark.,2009)	MBA (Sadollah ve ark., 2012)	AFA (Baghlani ve ark., 2014)	TLBO (Dede, 2014)	MHS (Bu çalışma)
A_1	0.64516	0.64516	0.64516	0.64516	0.64516	0.64516
A_2 - A_5	1.93548	1.93548	1.93548	1.93548	1.93548	2.58064
A_6 - A_9	21.93544	21.93544	21.93544	21.93544	21.93544	21.93544
A_{10} - A_{11}	0.64516	0.64516	0.64516	0.64516	0.64516	0.64516
A_{12} - A_{13}	13.54836	13.54836	13.54836	13.54836	13.54836	14.19352
A_{14} - A_{17}	6.4516	6.4516	6.4516	6.4516	6.4516	6.4516
A_{18} - A_{21}	3.2258	3.2258	3.2258	3.2258	3.2258	2.58064
A_{22} - A_{25}	21.93544	21.93544	21.93544	21.93544	21.93544	21.93544
Ağırlık (kg)	219.92	219.92	219.92	219.92	219.92	219.69
Ortalama ağırlık (kg)	*	*	*	*	*	220.17
Standart sapma (kg)	*	*	*	*	*	0.22
Sınırlayıcı ihlal (%)	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok
Yapı analizi sayısı	13523	25000	2150	7100	4000	18077

*Mevcut değil

MHS yöntemi başlangıç tasarımları farklı olacak şekilde 10 kere icra edilmiş ve 10 icra sonucunda elde edilen 10 tasarım için ortalama ağırlık ve standart sapma değerleri Tablo 2’de sunulmuştur. Tablo 2’de görüleceği üzere standart sapma değerinin ortalama ağırlığa göre oldukça küçük olması farklı başlangıç

tasarımları için MHS’nin birbirine yakın sonuçları elde ettiğini göstermektedir.

MHS ve literatürdeki diğer yöntemlerin optimum değere yakınsama eğrileri Şekil 2’deki gibidir.



Şekil 2. 25 Elemanlı uzay kafes yapının yakınsama eğrisi

Sonuçlar

Bu çalışmada gerilme ve deplasman sınırlayıcıları altında kafes yapıların optimum ağırlık tasarımını yapan bir algoritma ve algoritmaya ait bilgisayar programı geliştirilmiştir.

Optimum tasarımda modifiye edilmiş armoni arama metodu kullanılarak literatürde hazır bulunan 25 elemanlı uzay kafes yapının optimum tasarımı yapılmış ve sonuçlar diğer sezgisel optimizasyon yöntemleriyle kıyaslanmıştır. Bu kıyaslamalar sonucunda MHS yönteminin hem elde edilen kafes yapı ağırlığı hem de optimum tasarım için gerekli analiz sayısı bakımından literatürde mevcut olan diğer sezgisel optimizasyon yöntemleri kadar güçlü olduğu tespit edilmiştir.

Kaynaklar

- Baghlani, A., Makiabadi, M.H. ve Sarcheshmehpour, M., (2014). Discrete optimum design of truss structures by an improved firefly algorithm. *Advances in Structural Engineering*, **17**, 10: 1517-1530.
- 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.
- Degertekin, S.O., (2008a). Harmony search algorithm for optimum design of steel frame structures: A comparative study with other optimization methods. *Structural Engineering and Mechanics*, **29**, 4: 391-410.
- Degertekin, S.O., (2008b). Optimum design of steel frames using harmony search algorithm. *Structural and Multidisciplinary Optimization*, **36**, 4: 393-401.
- Değertekin, S.Ö., (2010). Uzay çelik çerçevelerin armoni arama yöntemiyle optimum tasarımı, *Bilimde Modern Yöntemler Sempozyumu*, 1094-1109, Diyarbakır.
- Degertekin, S.O., (2012). Improved harmony search algorithms for sizing optimization of truss structures. *Computers and Structures*, **92-93**: 229-241.
- Değertekin, S.Ö., Hayalioğlu, M.S., (2011). Geometrik bakımdan lineer olmayan yarı-rijit birleşimli çelik çerçevelerin modifiye edilmiş armoni arama yöntemiyle optimum tasarımı. *IV. Ulusal Çelik Yapılar Sempozyumu*, 231-241, İstanbul.
- Geem, Z.W., Kim, J.H. ve Loganathan, G.V., (2001). A new heuristic optimization algorithm: harmony search algorithm. *Simulation*, **76**, 2: 60-68.
- Kaveh, A., Talatahari, S., (2009). A particle swarm ant colony optimization for truss structures with discrete variables. *Journal of Constructional Steel Research*, **65**, 8-9: 1558-1568.
- Lee, K.S., Geem, Z.W., (2004). A new structural optimization method based on the harmony search algorithm. *Computers and Structures*, **82**, 781-798.
- Lee, K.S., Geem, Z.W., Lee, S.H. ve Bae, K.W., (2005). The harmony search heuristic algorithm for discrete structural optimization. *Engineering Optimization*, **37**, 7: 663-684.
- Li, L.J., Huang, Z.B. ve Liu, F., (2009). A heuristic particle swarm optimization method for truss structures with discrete variables. *Computers and Structures*, **87**, 7-8: 435-443.
- Mahdavi, M., Fesanghary, M. ve Damangir, E., (2007). An improved harmony search algorithm for solving optimization problems. *Applied Mathematics and Computation*, **188**, 2: 1567-1579.
- Sadollah, A., Bahreininejad, A. Eskandar, H. ve Hamdi, M., (2012). Mine blast algorithm for optimization truss structures with discrete variables. *Computers and Structures*, **102**, 49-63.

Optimum design of truss structures with discrete variables using modified harmony search algorithm

Extended abstract

In this study, modified harmony search algorithm (MHS) was used for the optimization of truss structures with discrete variables. The objective of optimum design is to obtain the minimum weight truss structures under the stress and displacement constraints. The modified harmony search method was developed to increase the classical harmony search method. In recent years, a number of metaheuristic optimization methods were proposed for solving different problems. The metaheuristic optimization called as genetic algorithms, simulated annealing, harmony search (HS), particle swarm optimization, artificial bee colony algorithm and teaching-learning based optimization were used for solving optimization problems. The main philosophy of metaheuristic optimization methods is to make an analogy between the optimization problems and a process in the nature. The harmony search makes an analogy between the path musicians follow to find the best harmonies while composing and the path followed in solving optimization problems.

Design variables used in optimization can be divided into two groups such as discrete and constant variables. The discrete variables can take only a certain value within a specified range whereas the constant variables can receive any values. In this study, the discrete design variable will be used. The modified objective function is used in this study. HS algorithm in this study consists of following steps: assignment of harmony search parameters, executing the harmony memory and obtaining of the new harmony, updating of the harmony memory and termination of the search process. The tuning parameters, pitch adjusting ratio (PAR) ratio and neighbouring index (bw), used in classical HS remain constant throughout the search process. However, the parameters should be modified during the search in order to increase the efficiency of standard HS method. The search space at the beginning of the optimization is quite extensive while it is gradually shrunk at the end of the search and approximately same designs are obtained. Based on this rationale, pitch adjusting ratio (PAR) and neighbouring index (bw) were decreased during the search.

In this study, modified harmony search algorithm was developed for optimum design of truss structures. The proposed algorithm was coded in FORTRAN programming language and executed on the computer with 2.20GHz microprocessor. The efficiency of the proposed method was tested on the 25-member space truss structure. The computer program was executed ten times for 25-member space truss structure because of stochastic nature of the algorithm. Moreover, average weight and standard deviation of 10 different designs and constraint violation tolerance was presented. The results obtained by modified harmony search method were compared to the other optimization methods like harmony search algorithm, heuristic particle swarm optimization, mine blast algorithm, the enhanced accelerated firefly algorithm and teaching-learning based optimization. The comparisons showed that modified harmony search algorithm could obtain lighter truss structure design than the other methods.

The average weight derived from 10 different designs is too close the optimum design and standard deviation for these designs are quite little value comparing to average weight. These results proved that the modified harmony search algorithm could converge to global or near global optimum designs.

Keywords: Modified harmony search, Optimum design, Truss structures.

mühendislik dergisi

