



ISSN:1306-3111

e-Journal of New World Sciences Academy  
2011, Volume: 6, Number: 2, Article Number: 1A0184

**ENGINEERING SCIENCES**

Received: November 2010

Accepted: February 2011

Series : 1A

ISSN : 1308-7231

© 2010 [www.newwsa.com](http://www.newwsa.com)

**S. Özgür Değertekin**

Dicle University

sozgur@dicle.edu.tr

Diyarbakir-Turkey

**ÇELİK ÇERÇEVELERİN ARMONİ ARAMA YÖNTEMİYLE OPTİMUM TASARIMI**

**ÖZET**

Bu çalışmada uzay çelik çerçevelerin optimum tasarımı armoni arama yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Armoni arama; müzisyenlerin en iyi armoniyi bulmak için izledikleri yol ile optimizasyon problemleri arasında benzerlik kuran bir yöntemdir. Optimum tasarımda amaç, minimum ağırlıklı çelik çerçevelerin elde edilmesidir. Tasarım sınırlayıcıları olarak gerilme sınırlayıcıları, deplasman ve kesit boyut sınırlayıcıları göz önüne alınmıştır. Çelik çerçevelerin analizinde geometrik bakımdan lineer olmama etkileri de hesaba katılmıştır. Armoni arama yönteminin etkinliğini test etmek için daha önce tabu arama ve genetik algoritma yöntemleriyle optimum tasarımı yapılan iki uzay çelik çerçeve kullanılmış ve armoni aramadan elde edilen sonuçlar bu yöntemlerden elde edilen sonuçlarla kıyaslanmıştır. Bu kıyaslamalar sonucunda armoni arama yöntemiyle daha hafif çerçeve tasarımların elde edildiği görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Uzay Çelik Çerçeveler, Optimum Tasarım, Geometrik Bakımdan Lineer Olmama, Modern Arama Yöntemleri, Armoni Arama

**OPTIMUM DESIGN OF STEEL SPACE FRAMES VIA HARMONY SEARCH METHOD**

**ABSTRACT**

Harmony search method is used for the optimum design of steel space frames in this study. Harmony search is based on the analogy between finding the best harmony of musicians and optimization problems. The objective of the optimum design is to obtain the minimum-weight steel frames. Strength constraints, displacement and size constraints are used for the design constraints in the optimum design. Geometrically nonlinear effects are also considered in the analysis of steel frames. Two steel space frames, which were optimized previously using genetic algorithms and tabu search, are used to test the efficiency of harmony search method. The results obtained from harmony search method are compared with the results obtained from genetic algorithms and tabu search methods. The comparisons showed that the harmony search method yielded lighter designs.

**Keywords:** Steel Space Frames, Optimum Design, Geometrically Nonlinearity, Modern Search Methods, Harmony Search

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Yapı sistemlerinin optimum tasarımında genetik algoritmalar (GA) ve tabu arama (TA) yöntemleri son yıllarda yaygın şekilde kullanılmıştır. Genetik algoritmalar (GA), mevcut şartlara uyum sağlayan güçlü bireylerin hayatta kalması ilkesini hesaplamalı algoritmalara uygulayan bir yöntemdir. GA birçok mühendislik uygulaması yanında çelik çerçevelerin optimum tasarımında da kullanılmıştır [1 ve 2]. Tabu arama (TA), tasarım uzayında farklı tasarımları araştıran ve sahip olduğu yapay hafıza özelliği ile önceki tasarımları üretmeyerek lokal optimumlardan kurtulmaya çalışan gelişmiş bir arama yöntemidir. TA yöntemi çelik yapıların optimum tasarımında da kullanılmıştır [3 ve 4].

Son yıllarda kullanılan modern optimizasyon yöntemlerinden bir tanesi de armoni arama yöntemidir. Armoni arama (AA), müzisyenlerin en iyi armoniye elde etmek için izledikleri yol ile optimizasyon problemleri arasında benzerlik kuran bir arama yöntemidir [5]. AA farklı mühendislik uygulamalarının yanında yapı sistemlerinin optimizasyonu alanında da kullanılmıştır [6 ve 9].

AA'nın GA'ya göre farklılıkları şu şekilde özetlenebilir: (i) AA yeni bir tasarım üretirken hafızasında bulunan mevcut tüm tasarımları göz önüne almaktadır. Buna karşın GA yeni tasarımı yapay gen alışverişi ile bir çift ebeveynden elde eder. (ii) AA her tasarım değişkenini ayrı değerlendirir. GA böyle bir ayırım yapmadan tasarım değişkenlerini popülasyon havuzundan alır. (iii) GA tasarım değişkenlerinin kendisiyle değil de kodlanmış haliyle çalışır. AA kodlanmış bir yapı kullanmadan direkt olarak tasarım değişkenlerini kendisini kullanır. AA'nın TA'ya kıyasla farklı özellikleri ise şu şekilde özetlenebilir: (i) Yukarıda belirtildiği gibi AA yeni bir tasarım üretirken hafızasında bulunan mevcut tüm tasarımları göz önüne alırken, TA mevcut tasarımın sadece belli bir komşu derinliğinde bulunan tasarımları göz önüne alır. (ii) TA'da lokal optimumlardan kurtulmak için bile olsa arama esnasında belli bir süre bazı kısıtlamalar kullanılır. Buna karşın AA'da bu tip kısıtlamalar bulunmamaktadır. Tüm bu farklılıklar AA'nın, GA ve TA'ya kıyasla daha esnek ve güçlü bir yöntem olmasını sağlamaktadır.

Bu çalışmanın amacı, AA yöntemini uzay çelik çerçevelerin optimum tasarımında kullanmaktır. AA'dan elde edilen sonuçları kıyaslamak ve yöntemin etkinliğini göstermek için literatürde hazır bulunan iki uzay çelik çerçeve örneği kullanılmıştır.

## 2. ÇALIŞMANIN ÖNEMİ (RESEARCH SIGNIFICANCE)

Çelik çerçevelerin inşaat mühendisliğindeki uygulamalarının giderek yaygınlaşması bu alanda yapılan araştırma faaliyetlerinde de gözle görülür bir artışa neden olmuştur. Çelik taşıyıcı sistemlerin boyutlandırılmasında geçmişte emniyet gerilmeleri yöntemi yaygın olarak kullanılmakla beraber, son yirmi yılda taşıma gücü yöntemini esas alan yönetmeliklerin hazırlanması taşıma gücü yönteminin kullanımı hızla yaygınlaştırmaktadır. Artan hammadde ve işçilik maliyetleri, hammadde bulunmasında yaşanabilen problemler ve çelik fiyatlarındaki ani yükselişler çelik taşıyıcı sistemlerin ekonomik olarak boyutlandırılması zorunluluğunu ortaya çıkarmıştır. Bu amaçla çelik yapıların optimum tasarımı konusunda farklı optimizasyon yöntemlerini kullanan önemli araştırma çalışmaları yapılmıştır. İlk önceleri matematik programlama ve optimumluk kriteri yöntemleri çelik yapıların optimum tasarımında kullanılırken son yıllarda doğadaki olayları taklit eden modern arama yöntemleri geniş bir uygulama alanı bulmuştur. Bu modern arama yöntemlerinden bir tanesi de armoni arama yöntemidir. Bu çalışmada armoni arama yöntemi çelik çerçeve sistemlerin optimum tasarımında kullanılmış ve yöntemin etkinliği

literatürden alınan çerçeve örnekleri ile test edilmiştir. Bu çalışmadaki uygulamalar armoni arama ile daha hafif çelik çerçeve tasarımlarının elde edilebileceğini teyit etmektedir.

### 3. OPTIMUM TASARIM PROBLEMİ (OPTIMUM DESIGN PROBLEM)

Çelik çerçevelerin optimum tasarım problemi aşağıdaki gibi tanımlanabilir.

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

Burada;  $W(x)$  çerçeve ağırlığını,  $A_k$  k'nci gruptaki elemanların kesit alanını,  $mk$  k'nci gruptaki toplam eleman sayısını,  $\rho_i$  ve  $L_i$  i'nci elemanın özgül ağırlığı ve uzunluğunu,  $ng$  ise çerçevedeki toplam grup sayısını gösterir. Optimum tasarımda kullanılan sınırlayıcısız amaç fonksiyonu aşağıdaki biçimde verilebilir.

$$\varphi(x) = W(x)[1 + C\varepsilon] \quad (2)$$

Burada  $\varepsilon$  probleme özgü bir sabit,  $C$  ihlal edilme fonksiyonu olup şu şekilde ifade edilebilir:

$$C = \sum_{i=1}^m C_i^\delta + \sum_{i=1}^{nc} C_i^\Delta + \sum_{i=1}^{nsc} C_i^k + \sum_{i=1}^{nb} C_i^g \quad (3)$$

Burada,  $C_i^\delta$ ,  $C_i^\Delta$ ,  $C_i^k$  ve  $C_i^g$  sırasıyla yanal deplasman, görelî kat ötelenmesi, kesit ve gerilme sınırlayıcılarının ihlal edilme değerleridir.  $m$  çerçevedeki sınırlanmış yanal deplasmanların toplam sayısı,  $nc$  çerçevedeki toplam kolon sayısı,  $nsc$  mesnetler hariç toplam düğüm noktası sayısı ve  $nb$  çerçevedeki toplam eleman sayısıdır.

Ceza fonksiyonu şu şekilde ifade edilebilir:

$$C_i = \begin{cases} 0 & \text{ise } \lambda_i \leq 0 \\ \lambda_i & \text{ise } \lambda_i > 0 \end{cases} \quad (4)$$

Yanal deplasman ve görelî kat ötelenmesi sınırlayıcıları sırasıyla;

$$\lambda_i^\delta = \frac{\delta_i}{\delta_{is}} - 1.0 \quad (5)$$

$$\lambda_i^\Delta = \frac{(\delta_{iu} - \delta_{ia})}{\delta_{ik}} - 1.0 \quad (6)$$

şeklindedir. Burada;  $\delta_i$  i'nci sınırlanmış deplasman değeri,  $\delta_{is}$  sınırlanmış deplasmanın üst sınırını,  $\delta_{iu}$  i'nci kolonun üst ucundaki deplasman değeri,  $\delta_{ia}$  i'nci kolonun alt ucundaki deplasman değeri,  $\delta_{ik}$  i'nci kolonda görelî kat ötelenmesinin sınır değeridir.

Konstrüktif nedenlerle kullanılan kesit boyut sınırlayıcıları aşağıdaki biçimde verilebilir.

$$\lambda_i^k = \frac{b_{fb}}{b_{kfc}} - 1.0 \quad (7a)$$

$$\lambda_i^k = \frac{b_{kfb'}}{(d_{khc} - 2t_{kfb})} - 1.0 \quad (7b)$$

Bu denklemlerde;  $b_{fb}$  i'nci düğüm noktasına yapı X eksenî (Şekil 1) doğrultusunda bağlanan kirişin  $b_f$  başlık genişliği,  $b_{kfc}$  herhangi bir düğüm noktasındaki kolonun  $b_f$  başlık genişliği,  $b_{kfb'}$  her düğümüne bağlanan yapı Y eksenî doğrultusundaki kirişin  $b_f$  başlık genişliği,  $d_{khc}$  k'nci düğüm noktasındaki kolonun  $d$  gövde derinliği,  $t_{kfb}$  k'nci düğümdeki kolonun  $t_f$  başlık kalınlığıdır.

Eksenel basınç kuvvetinin eğilme momenti ile birlikte etkimesi durumunda çubukta eğilmeli burkulma durumu oluşacaktır. Bu durum için gerilme kontrolleri ile ilgili tüm denklemler ve hesap esasları Çelik yapıların hesap ve yapım kuralları yönetmeliği TS 648 [10]'den alınmıştır. Eksenel basınç ve eğilmeye maruz çubuklar için oluşacak bileşik gerilme durumunun kontrolünde,

$$\lambda_i^g = \frac{\sigma_{eb}}{\sigma_{bem}} + \frac{C_{mx}}{\left(1 - \frac{\sigma_{eb}}{\sigma'_{ex}}\right)} \frac{\sigma_{bx}}{\sigma_{Bx}} + \frac{C_{my}}{\left(1 - \frac{\sigma_{eb}}{\sigma'_{ey}}\right)} \frac{\sigma_{by}}{\sigma_{By}} - 1.0 \quad (8)$$

$$\lambda_i^g = \frac{\sigma_{eb}}{0.6\sigma_a} + \frac{\sigma_{bx}}{\sigma_{Bx}} + \frac{\sigma_{by}}{\sigma_{By}} - 1.0 \quad (9)$$

şeklinde dir. Eğer  $\sigma_{eb}/\sigma_{bem} \leq 0.15$  ise (8) ve (9) denklemleri yerine sadece,

$$\lambda_i^g = \frac{\sigma_{eb}}{\sigma_{bem}} + \frac{\sigma_{bx}}{\sigma_{Bx}} + \frac{\sigma_{by}}{\sigma_{By}} - 1.0 \quad (10)$$

denkle mi kullanılabilir.

Yukarıdaki bağıntılarda;  $\sigma_{eb}$  yalnız eksenel basınç kuvveti etkimesi halinde hesaplanan gerilme,  $\sigma_{bem}$  yalnız eksenel basınç kuvveti etkimesi halinde müsaade edilen gerilme,  $\sigma_{bx}$  yalnız  $M_x$  eğilme momenti etkisi altında hesaplanan basınç-eğilme başlığı gerilmesi,  $\sigma_{by}$  yalnız  $M_y$  eğilme momenti etkisi altında hesaplanan basınç-eğilme başlığı gerilmesi,  $\sigma_{Bx}$  yalnız  $M_x$  eğilme momenti etkimesi halinde müsaade edilen basınç-eğilme başlığı gerilmesi,  $\sigma_{By}$  yalnız  $M_y$  eğilme momenti etkimesi halinde müsaade edilen basınç-eğilme başlığı gerilmesi,  $\sigma'_{ex}$  x-x asal eksenini etrafındaki burkulmalar için hesaplanan gerilme,  $\sigma'_{ey}$  y-y asal eksenleri etrafındaki burkulmalar için hesaplanan gerilme,  $C_{mx}$  ve  $C_{my}$  sırasıyla  $M_x$  ve  $M_y$  moment diyagramlarına ve hesap yapılan düzleme dik doğrultudaki çubuğun tutulma düzenini göz önüne alan katsayılar olup yanal deplasmanın mümkün olduğu çerçevelerde 0.85 alınır,  $\sigma_a$  ise çeliğin akma dayanımıdır. Eksenel çekme ve eğilmeye maruz çubuklar için (9) denkleminin sağlanması gerekmektedir. Bu durumda  $\sigma_{eb}$  yalnız eksenel çekme kuvveti etkimesi halinde hesaplanan gerilme gerilme,  $\sigma_{bx}$  ve  $\sigma_{by}$  sırasıyla  $M_x$  ve  $M_y$  eğilme momentlerinin etkimesi halinde hesaplanan eğilme-çekme gerilmeleri olur.

Çubukların burkulma boyunun hesabında çubuğun gerçek boyu K etkili kolon uzunluk faktörü ile çarpılır. Bu faktör yanal deplasmanın mümkün olduğu uzay çerçevelerde x-x ve y-y eksenleri için (Şekil 1) aşağıdaki denklemle hesaplanır [11]:

$$K = \sqrt{\frac{1.6G_A G_B + 4(G_A + G_B) + 7.5}{G_A + G_B + 7.5}} \quad (11)$$

Kolonların üst ucu A, alt ucu B ile gösterilmek üzere  $G_A$ ,  $G_B$  sırasıyla kolonların üst ve alt uçları için x-x ve y-y eksenindeki rijitlik dağıtım faktörleri olup aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$G_A = \left( \frac{\sum I_c / s_c}{\sum I_g / s_g} \right) ; \quad G_B = \left( \frac{\sum I'_c / s'_c}{\sum I'_g / s'_g} \right) \quad (12)$$

Burada,  $I_c$  ve  $I'_c$  gözönüne alınan kolonun sırasıyla üst ve alt ucuna rijit olarak bağlanan kolonların atalet momentlerini,  $I_g$  ve  $I'_g$  gözönüne alınan kolonun üst ve alt ucuna rijit bağlı kirişlerin atalet momentlerini,  $s_c$  ve  $s'_c$  gözönüne alınan kolonun üst ve alt ucuna rijit

bağlı kolonların boyunu,  $s_g$  ve  $s'_g$  gözönüne alınan kolonun alt ve üst ucuna rijit bağlı kirişlerin boyunu göstermektedir. Ankastre mesnetler için  $G=1.0$  değeri alınır.

AA'da her tasarımın sınırlayıcıların ihlal edilip edilmediğinin tespiti için çerçevedeki deplasman ve gerilme değerlerinin bilinmesi gerekmektedir. Bunun için uzay çelik çerçevelerin geometrik bakımdan lineer olmayan analizinin yapılması gerekmektedir.

#### 4. ARMONİ ARAMA (HARMONY SEARCH)

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. AA 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. Birbiriyle 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 bulunduğu kanaat getirilinceye kadar bu işlemler tekrarlar. AA yönteminin esasını armoni hafıza (AHF) oluşturur.

AHF'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 bir çelik çerçeve tasarımı düşünelim. Bu tasarım üç gruptan (tasarım değişkeninden) oluşsun. Birinci, ikinci ve üçüncü gruplar sırasıyla [IPG240, IPG300, IPG400], [IPG260, IPG500, IPG600] ve [IPOG330, IPOG450, IPOG600] kesit listelerinden seçilsin. Bu listelerden IPG300, IPG500, IPOG600 çelik kesitleri birinci, ikinci ve üçüncü tasarım değişkeni olarak rasgele seçilsin. Bu durumda [IPG300, IPG500, IPOG600] oluşan bir çelik çerçeve tasarımı elde edilir. Bu tasarım için çerçeve analizi yapılarak amaç fonksiyonu bulunur. Eğer bu çerçevenin amaç fonksiyonu, daha önce mevcut olan çerçeveler içindeki en büyük amaç fonksiyonu değerinden daha küçükse bu çelik tasarımı tasarım işlemine dahil edilirken en büyük amaç fonksiyonuna sahip tasarım elenir. Bu işlemler kabul edilen bir durdurma kriteri sağlanıncaya kadar tekrarlanır.

AA ve çelik tasarımı arasındaki ilişki şu şekilde kurulabilir: AA'daki armoni çelik tasarımındaki amaç fonksiyonunu, farklı armoniler farklı çerçeve tasarımlarını gösterir. Her enstrüman bir tasarım değişkenini, her nota ise kesit listesindeki bir çelik kesit ile gösterilir. Daha iyi armoniler lokal optimumları, en iyi armoni ise global optimuma karşı gelir.

## 5. ARMONİ ARAMA ALGORİTMASI (HARMONY SEARCH ALGORITHM)

Bu çalışmada Değertekin [8]'de açıklanan AA algoritması esas alınmıştır. Buna göre AA algoritması şu adımlardan oluşmaktadır:

### 5.1. Armoni Arama Parametrelerinin Atanması (Assignment of Harmony Search Parameters)

İlk adımda AA'da kullanılacak parametreler atanır. Bunlar; AHF kapasitesi ( $\kappa$ ), armoni hafıza kullanma oranı ( $\eta$ ), ses düzeltme oranı ( $\xi$ ) ve durdurma kriteridir. Bu parametreler probleme bağlı olarak seçilmektedir.

### 5.2. Armoni Hafızanın Çalıştırılması (Execution of Harmony Memory)

AHF,  $\kappa$  kadar rasgele üretilen tasarımdan meydana gelen bir matris olarak (13)'deki gibi verilebilir. Bu matriste her satır bir tasarımı, her sütun ise bir tasarım değişkenini gösterir.  $x^1, x^2, \dots, x^{\kappa-1}, x^\kappa$  tasarımları,  $\varphi(x^1), \varphi(x^2), \dots, \varphi(x^{\kappa-1}), \varphi(x^\kappa)$  bu tasarımlara ait amaç fonksiyonlarının değerleridir. AHF'deki tasarımlar amaç fonksiyonlarına göre sıralanmıştır. Buna göre amaç fonksiyonu değeri en küçük olan tasarım AHF'nin ilk satırında, amaç fonksiyonu değeri en büyük olan tasarım AHF'nin son sırasında yer alır ( $\varphi(x^1) < \varphi(x^2) < \dots < \varphi(x^\kappa)$ ). AHF'nin amacı, arama esnasında elde edilen iyi tasarımları koruma altına almak ve bu tasarımlardan faydalanarak daha iyi tasarımları bulmaktır.

$$AHF = \begin{bmatrix} x_1^1 & x_2^1 & \dots & x_{ng-1}^1 & x_{ng}^1 \\ x_1^2 & x_2^2 & \dots & x_{ng-1}^2 & x_{ng}^2 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ x_1^{\kappa-1} & x_2^{\kappa-1} & \dots & x_{ng-1}^{\kappa-1} & x_{ng}^{\kappa-1} \\ x_1^\kappa & x_2^\kappa & \dots & x_{ng-1}^\kappa & x_{ng}^\kappa \end{bmatrix} \begin{matrix} \rightarrow \varphi(x^1) \\ \rightarrow \varphi(x^2) \\ \rightarrow : \\ \rightarrow : \\ \rightarrow \varphi(x^{\kappa-1}) \\ \rightarrow \varphi(x^\kappa) \end{matrix} \quad (13)$$

### 5.3. Yeni Armoninin Geliştirilmesi (Development of New Harmony)

AA'da yeni armoni (tasarım); AHF'nin değerlendirilmesi, ses ayarı ve rasgele üretim ile geliştirilir. AHF'nin değerlendirilmesinde; yeni tasarımdaki  $\{x_1^{ya}, x_2^{ya}, x_3^{ya}, \dots, x_{ng-1}^{ya}, x_{ng}^{ya}\}$  ilk tasarım değişkeni  $\{x_1^{ya}\}$ ,  $\eta$  armoni hafıza kullanma oranı değerine bağlı olarak ya AHF'de mevcut olan ilk tasarım değişkenlerinden  $\{x_1^1, x_1^2, \dots, x_1^{\kappa-1}, x_1^\kappa\}$  ya da çelik profil kesit listesinden ( $X_{ks}$ ) seçilir. Yeni armoninin diğer tasarım değişkenleri de aynı şekilde belirlenir.  $\eta$  şu şekilde uygulanır:

$$\begin{cases} x_i^{ya} \in \{x_i^1, x_i^2, \dots, x_i^{\kappa-1}, x_i^\kappa\} & \text{ise } rn \leq \eta \\ x_i^{ya} \in X_{ks} & \text{ise } rn > \eta \end{cases} \quad (14)$$

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

Yeni tasarımda AHF'den seçilen her tasarım değişkenine  $\xi$  ses düzeltme oranı kullanılarak ses ayarının yapılıp yapılmayacağına karar verilir.  $\xi$  mevcut tasarıma komşu olan daha iyi tasarımları araştırmak için kullanılan bir parametre olup şu şekilde uygulanır:

$$x_i^{ya} \text{ için ses ayarı} \leftarrow \begin{cases} Yap & \text{ise } rna \leq \xi \\ Yapma & \text{ise } rna > \xi \end{cases} \quad (15)$$

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 profil listesinde kendisine komşu olan bir profil kesitle değiştirilir, aksi halde tasarım değişkeni aynı kalır.  $\xi=0.4$  değeri AA 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  $x_i^{ya}$  kesit profil listesindeki IPG400 profil, komşu derinlik indeksi  $\pm 2$  ve kesit listesi  $[..., IPG340, IPG360, IPG400, IPG450, IPG500, ...]$  olsun.  $[+2, -2]$  aralığında rasgele olarak  $+2$  sayısı üretildiğini kabul edelim. Bu durumda algoritma  $0.4 \times \eta$  olasılığıyla IPG500 profil kesiti IPG400 yerine atar veya  $(1-0.4 \times \eta)$  olasılığıyla IPG400 değişmeden kalır.

#### 5.4. Armoni Hafızanın Güncellenmesi (Updating of Harmony Memory)

Eğer yeni geliştirilen tasarımın  $\{x_1^{ya}, x_2^{ya}, x_3^{ya}, \dots, x_{ng-1}^{ya}, x_{ng}^{ya}\}$  amaç fonksiyonu değeri  $\phi(x^{ya})$  AHF'deki en büyük amaç fonksiyonuna sahip olan ve son sırada yer alan tasarımın amaç fonksiyonu değerinden  $\phi(x^k)$  daha küçükse ( $\phi(x^{ya}) < \phi(x^k)$ ), yeni tasarım AHF'ye dahil edilirken son sıradaki tasarım AHF'den çıkartılır. Bu işlem sonrasında amaç fonksiyonları değerine göre AHF'deki tasarımlar tekrar sıralanır.

#### 5.5. Arama İşleminin Bitirilmesi (Terminating the Search Process)

AA yönteminde 4.3 ve 4.4'de açıklanan işlemler kabul edilen durdurma kriterleri sağlanıncaya kadar tekrarlanır.

Bu çalışmada geliştirilen AA algoritmasında, önceden belirlenen sayıda armoni (tasarım) geliştirilmesi veya optimum değer belli sayıda armoni geliştirilmesine karşın değişmemesi durumunda arama işlemi bitirilmiştir.

### 6. UZAY ÇELİK ÇERÇEVELERİN ARMONİ ARAMA YÖNTEMİYLE OPTİMUM TASARIM ALGORİTMASI (OPTIMUM DESIGN ALGORITHM OF STEEL SPACE FRAMES VIA HARMONY SEARCH METHOD)

Uzay çelik çerçevelerin AA yöntemiyle optimum tasarım algoritması şu adımlardan oluşmaktadır.

- AA'da kullanılan  $\kappa, \eta, \xi$  parametreleri ile ve durdurma kriteri değerlerini ata.
- Rasgele bir çelik çerçeve üret. Bu çerçevenin analizini yaparak gerekli deplasman ve kesit tesirleri değerlerini belirle. (1)-(12) denklemlerinden gerekli olan sınırlayıcıları kullanarak  $\phi(x)$  amaç fonksiyonunu hesapla. Eğer tasarım tüm sınırlayıcıları sağlıyorsa bu tasarımı mevcut optimum tasarım olarak ata ( $\phi(x_{opt}) = \phi(x)$ ). Bu adımda yapılan işlemleri armoni hafıza kapasitesi ( $\kappa$ ) kadar tekrarla. Bu tekrarlar esnasında mevcut optimum tasarımdan daha hafif bir tasarım bulunursa bu tasarım

mevcut optimum tasarımın yerine ata. Tasarımları amaç fonksiyonu değerlerine göre sırala. En küçük amaç fonksiyonuna sahip tasarım AHF'nin ilk satırında  $\phi(x^1)$ , en büyük amaç fonksiyonu değerine sahip tasarım  $\phi(x^k)$  ise son satırda olacaktır.

- Üretilen yeni tasarım için ilk tasarım değişkenini (14) denklemini kullanarak ya AHF'nin ilk sütunundaki profil kesitlerden ya da çelik profil listesindeki kesitlerden seç. Eğer tasarım değişkeni AHF'den seçilmişse tasarım değişkenine ses ayarının yapıp yapılmayacağına (15) denklemlerle karar ver. Diğer tasarım değişkenleri için aynı işlemi tekrarla. Tüm tasarım değişkenleri için bu işlemler yapıldıktan sonra elde edilen yeni tasarımın ( $x^{ya}$ ) analizini yap. Deplasman ve kesit tesirlerini elde et. (1)-(12) denklemleriyle amaç fonksiyonunu hesapla  $\phi(x^{ya})$ .
- Eğer  $\phi(x^{ya}) \leq \phi(x^k)$  ise yeni tasarımı AHF'ye dahil et,  $\phi(x^k)$ 'ya ait tasarımı AHF'den çıkar. AHF'deki tasarımları amaç fonksiyonları değerlerine göre yeniden sırala. Eğer yeni tasarım tüm sınırlayıcıları sağlıyor ve mevcut optimum tasarımdan daha hafifse aynı zamanda mevcut optimum tasarımın yerine ata ( $\phi(x_{opt}) = \phi(x^{ya})$ ).
- 3-4 adımlarını 5.5'de açıklanan durdurma kriterlerinden birisi sağlanıncaya kadar tekrarla. Durdurma kriterlerinden birisinin sağlanması halinde arama işlemini bitir. Son elde edilen mevcut optimum tasarım nihai optimum tasarım bu tasarıma ait çerçeve ağırlığı ise optimum çerçeve ağırlığı olarak elde edilir.

#### 7. SAYISAL UYGULAMALAR (NUMERICAL EXAMPLES)

Yukarıda açıklanan armoni arama algoritmasının Fortran bilgisayar programlama dilinde kodlanmış ve icra edilmiştir. AA'dan elde edilen sonuçları kıyaslayabilmek verilen örnekler literatürden alınmıştır. Bu amaçla daha önce Değertekin vd [3] tarafından genetik algoritma ve tabu arama yöntemleriyle optimum tasarımı yapılan iki uzay çelik çerçeve kullanılmıştır. Örneklerde çeliğin elastisite modülü  $E=21000 \text{ kN/cm}^2$ , akma dayanımı  $\sigma_a=24.82 \text{ kN/cm}^2$  ve özgül ağırlığı  $\rho=76.8 \text{ kN/m}^3$  alınmıştır.

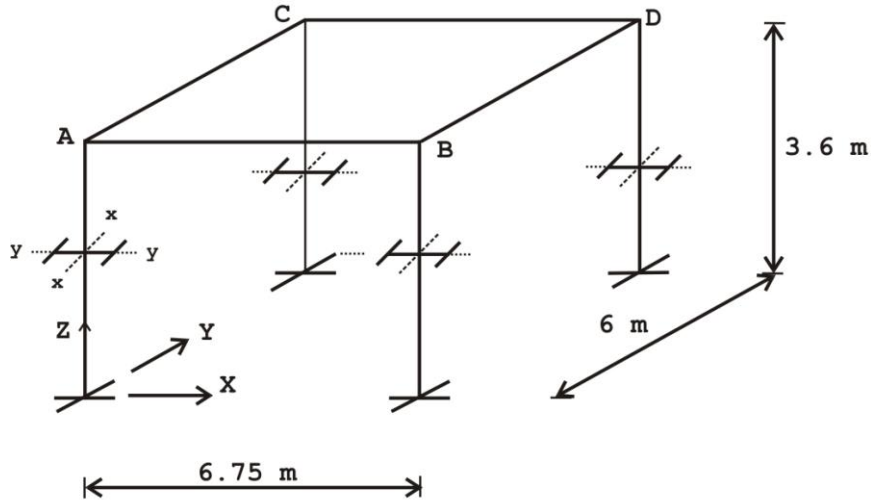
AA'da kullanılan parametrelerin farklı değerleri için algoritma defalarca icra edilmiş ve bu icraların sonucunda kullanılan parametrelere ait en uygun değerler seçilmiştir. Buna göre AHF kapasitesi ( $\kappa$ ), AHF kullanma oranı olup ( $\eta$ ) ve ses düzeltme oranı ( $\xi$ ) sırasıyla 20, 0.8 ve 0.4 seçilmiştir. AA'da ceza sabiti 1.0 alınmıştır. AA'da mevcut optimum tasarımın maksimum arama sayısının %20'si kadar arama sayısınca değişmemesi durumunda aramanın optimum çözüme yakınsadığı ve arama işleminin devam etmesi halinde daha hafif tasarımların bulunamadığı görülmüştür.

##### 7.1. Sekiz Elemanlı Uzay Çerçeve (Eight Member Space Frame)

Sekiz elemanlı uzay çelik çerçeve Şekil 1'deki gibidir. Bu çerçeve üç gruba ayrılmıştır; 1'nci grup; X eksenine doğrultusundaki kirişler, 2'nci grup; Y eksenine doğrultusundaki kirişler, 3'ncü grup ise kolon elemanlarından oluşmaktadır.

Çerçevede üst düğüm noktalarının yanal deplasmanları 0.9 cm ile sınırlandırılmıştır. Uzay çerçevelerin lineer olmayan analiz algoritması Değertekin vd [3]'dekinin aynısı olup yük adımları eşit ve yük adımı sayısı beş seçilmiştir. Optimum tasarımda Amerikan çelik yapılar şartnamesi American Institute of Steel Construction: allowable stress design [12]'de mevcut olan 128 adet geniş başlıklı I profili (W kesitler) kullanılmıştır. Ölü yük  $3.36 \text{ kN/m}^2$ , hareketli yük  $2.40 \text{ kN/m}^2$  ve hareketli çatı yükü için  $2.40 \text{ kN/m}^2$  olarak alınmıştır.





Şekil 1. Sekiz elemanlı uzay çerçeve  
(Figure 1. Eight member space frame)

Çerçevelere etki eden rüzgarın pozitif yapı Y doğrultusunda etki ettiği kabul edilmiştir. Rüzgar yükü; Yapı elemanlarının boyutlandırılmasında alınacak yüklerin hesap değerleri şartnamesi TS498 [13]'e göre  $W=C \times q$  bağıntısıyla hesaplanmıştır. Bu bağıntıda; W rüzgar yükü, C yapı cinsine göre verilen bir katsayı olup basınç yüzünde +0.8, emme yüzünde ise -0.4 alınmıştır, q hız basıncı değeri olup çerçevenin zeminden yüksekliğine göre belirlenir. Hesaplanan rüzgar yükü yapı Y doğrultusunda mesnetler haricindeki dış kiriş-kolon düğümlerine etki ettirilmiştir. Şekil 1'de AB ile gösterilen taraf rüzgarın basınç kuvveti olarak etkidiği, CD ile gösterilen taraf rüzgarın emme olarak etki ettiği yüzdür.

AA ile elde edilen optimum tasarım sonuçları Değertekin vd [3]'deki sonuçlarla karşılaştırmalı olarak Tablo 1'de verilmiştir. Çerçeve için yapılan beş farklı tasarım için optimum tasarımların ortalama olarak 3000 çerçeve analizi sonunda elde edildiği tespit edilerek AA'da birinci ve ikinci durdurma kriterleri 5000 ve 1000 alınmıştır.

Tablo 1. Sekiz elemanlı uzay çerçevede optimum tasarım sonuçları  
(Table 1. Optimum design results for eight member space member)

Grup no.	Değertekin vd [3]		Bu çalışma
	GA	TA	AA
1	W 12×35	W 18×35	W 18×40
2	W 8×31	W 18×35	W 16×31
3	W 14×48	W 12×35	W 10×30
Ağırlık(kg)	2285.24	2081.12	2005.76

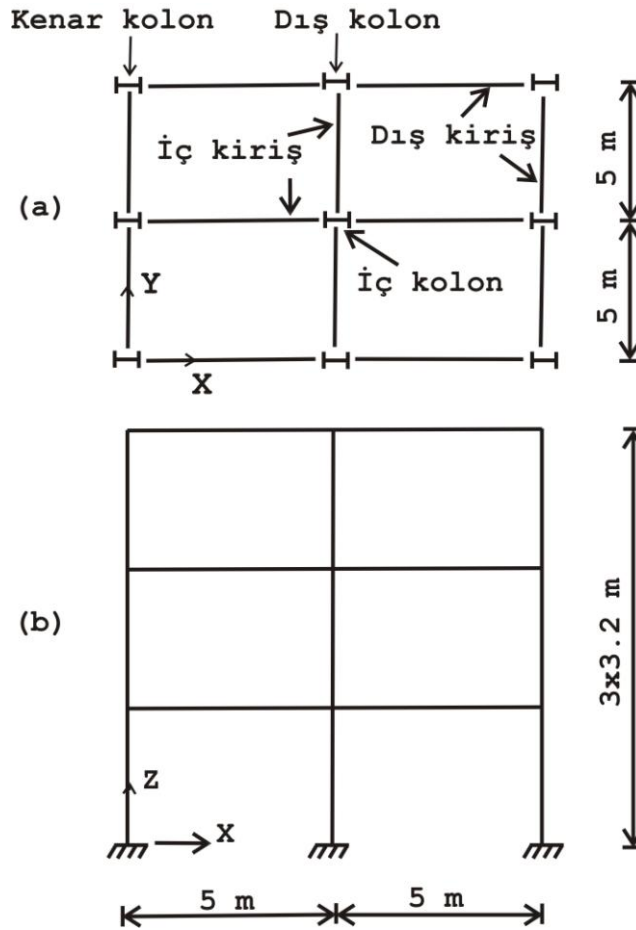
AA ile 2005.76 kg ağırlığında, yanal deplasman değeri 0.76 cm olan, TA ve GA kıyasla sırasıyla %3.6 ve %12.2 daha hafif olan bir çerçeve tasarımı elde edilmiştir. Optimum tasarımda gerilme sınırlayıcıları sınır değere (1) yakın değerler almıştır. Bu durum optimum tasarımın elde edilmesinde gerilme sınırlayıcılarının belirleyici olduğunu göstermektedir. TA ve GA ile elde edilen optimum tasarımlar 7200 ve 1476 çerçeve analizi gerektirirken, AA optimum tasarımı 2655 analiz sonucunda bulunmuştur. Bu durum AA'nın optimum tasarımı 1655 çerçeve analizi sonunda elde ettiğini sonraki 1000 analizde daha hafif bir tasarım bulamadığı için 2655 analiz sonunda arama işlemini bitirdiğini göstermektedir. Buna göre; AA metodu ile

elde edilen optimum tasarım TA'ya göre çok daha az, GA'ya kıyasla ise daha fazla sayıda çerçeve analizi sonunda elde edilmiştir.

### 7.2. Altmışüç Elemanlı Uzay Çerçeve (Sixty-Three Member Space Frame)

Altmışüç elemanlı uzay çerçeve Şekil 2'de verilmiştir. Çerçeve beş gruba ayrılmıştır. 1'nci grup; dış kirişler, 2'nci grup; iç kirişler, 3'ncü grup; kenar kolonlar, 4'ncü grup; dış kolonlar, 5'nci grup; iç kolonlardır.

Çerçevede en üst kat düğüm noktalarının yanal deplasmanları 2.4 cm, katlar arası görece ötelenme ise 1.07 cm ile sınırlandırılmıştır. AA'dan elde edilen optimum tasarım sonuçları Değertekin vd [3]'deki tabu arama ve genetik algoritma sonuçları ile karşılaştırmalı olarak Tablo 2'de verilmiştir. Çerçeve için yapılan beş farklı tasarımdan optimum tasarımın yaklaşık 6000-6500 çerçeve analizi sonunda elde edildiği tespit edilmiştir. Bu durum göz önüne alınarak AA'da birinci ve ikinci durdurma kriterleri sırasıyla 10000 ve 2000 seçilmiş diğer parametreler ilk örnekteki değerlerin aynısı alınmıştır.



Şekil 2. Altmışüç elemanlı uzay çerçeve (a)plan (b) önden görünüm  
(Figure 2. Sixty-three member space frame (a)plan (b) front view)

Tablo 2. Altmışüç elemanlı uzay çerçevede optimum tasarım sonuçları  
(Table 2. Optimum design results for sixty-three member space frame)

Grup no.	Değertekin vd [3]		Bu çalışma
	GA	TA	AA
1	W 14×38	W 14×34	W 12×30
2	W 21×50	W 16×36	W 14×34
3	W 16×40	W 14×38	W 14×43
4	W 8×40	W 12×50	W 14×38
5	W 8×40	W 14×48	W 14×61
Ağırlık (kg)	16413.06	15021.42	13879.65

AA ile 7096 analiz sonunda en üst kat en büyük yanal deplasman değeri 1.52 cm, katlar arası görelî ötelenmenin en büyük değeri 0.85 cm olarak hesaplanan 13879.65 kg ağırlığında bir tasarım elde edilmiştir. Bir önceki uygulamada olduğu gibi gerilme sınırlayıcıları optimum tasarımda belirleyici olmuştur. AA ile bulunan çerçeve tasarımı TA'ya kıyasla % 7.6 ve GA'ya göre %15.4 daha hafif olmuştur. Bunun yanında TA ile elde edilen optimum tasarım 12000 çerçeve analizi ve GA ile bulunan optimum tasarım 7850 çerçeve analiz gerektirmiştir. Bu sonuçlara göre AA ile daha hafif bir tasarım daha az çerçeve analizi ile elde edilmiştir.

#### 8. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışmada sunulan uygulamalardan elde edilen sonuçlara göre AA ile GA'ya kıyasla %12.2-%15.4, TA'ya kıyasla %3.6-%7.6 daha hafif çerçeve tasarımları elde edilmiştir. Optimum tasarımların elde edilmesi için gerekli çerçeve analiz sayıları karşılaştırıldığında AA'nın daha hafif tasarımları TA'ya kıyasla daha az, GA'ya göre ise yaklaşık aynı veya daha az sayıda çerçeve analizi sonunda bulunduğu gözlenmiştir. Elde edilen bu sonuçlar AA metodunun yapı sistemlerinin optimizasyonunda kullanılabilecek oldukça etkili bir yöntem olduğunu kanıtlamaktadır.

#### NOT (NOTICE)

Bu çalışma, 14-16 Ekim 2010 tarihinde Dicle Üniversitesinde tamamlanan Bilimde Modern Yöntemler Sempozyumunda (BUMAT2010) sözlü sunumu yapılmış ve NWSA yazım esaslarına göre yeniden düzenlenmiştir.

#### KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Camp, C., Pezeshk, S., and Cao, G., (1998). Optimized Design of Two-Dimensional Structures Using a Genetic Algorithm, Journal of Structural Engineering, ASCE, 124(5), pp:551-559.
2. Pezeshk, S., Camp, C.V., and Chen D., (2000). Design of nonlinear framed structures using genetic optimization, Journal of Structural Engineering, ASCE, 126(3), pp:382-388.
3. Değertekin, S.Ö., Ülker, M. ve Hayalioğlu, M.S., (2006). Uzay Çelik Çerçevelerin Tabu Arama ve Genetik Algoritma Yöntemleriyle Optimum Tasarımı, İMO Teknik Dergi, 17(3), ss:3917-3937.
4. Değertekin, S.O., Saka, M.P., and Hayalioglu, M.S., (2008). Optimal load and resistance factor design of geometrically nonlinear steel frames using tabu search and genetic algorithm, Engineering Structures, 30(1), pp:197-205.
5. Geem, Z.W., Kim, J.H., and Loganathan, G.V., (2001). A new heuristic optimization algorithm: harmony search, Simulation, 76(2), pp:60-68.
6. Lee, K.S. and Geem Z.W., (2004). A new structural optimization method based on the harmony search algorithm. Computers and Structures 82(9-10), pp:781-798.

7. Lee, K.S., Geem, Z.W., Lee, S.H., and Bae, K.W., (2005). The harmony search heuristic algorithm for discrete structural optimization, *Engineering Optimization*, 37(7), pp:663-684.
8. Degertekin, S.O., (2008). Harmony search algorithm for optimum design of steel frame structures, *Structural Engineering Mechanics*, 29(4), pp:391-410.
9. Degertekin, S.O., (2008). Optimum design of steel frames using harmony search algorithm, *Structural and Multidisciplinary Optimization*, 36(4), pp:393-401.
10. Çelik Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları, (1980). TS 648, Ankara.
11. Dumonteil, P., (1992). Simple Equations for Effective Length Factors, *Engineering Journal*, AISC, 29(3), pp:111-115.
12. American Institute of Steel Construction, (1989). *Manual Of Steel Construction- Allowable Stress Design*, Chicago.
13. Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri, (1997). TS 498, Ankara.