mühendislikdergisi
Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi
Cilt: 2, Sayı: 1, 45-56
Haziran 2011

Geometrik bakımdan lineer olmayan yarı-rijit birleşimli çelik çerçevelerin gelişmiş armoni arama yöntemiyle optimum tasarımı

S. Özgür DEĞERTEKİN*, M. Sedat HAYALİOĞLU, Halil GÖRGÜN

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

Özet

Bu çalışmada geometrik bakımdan lineer olmayan yarı-rijit birleşimli çelik çerçevelerin gelişmiş armoni arama yöntemi ile optimum tasarımı için bir algoritma sunulmuştur. Armoni arama; müzisyenlerin en iyi armoniyi bulmak için izledikleri yol ile optimizasyon problemleri arasında benzerlik kuran bir yöntemdir. Gelişmiş armoni arama yöntem ile optimum tasarım esnasında kullanılan arama parametresinin her arama işlemi sonrasında güncellenmesi sağlanarak klasik armoni aramadan daha etkili bir yöntem elde edilmeye çalışılmıştır. Tasarım işleminde amaç gerilme ve deplasman sınırlayıcıları altında minimum ağırlıklı çelik çerçevenin elde edilmesidir. Gerilme sınırlayıcıları olarak çelik yapıların hesap ve yapım kuralları yönetmeliğindeki (TS 648) eksenel kuvvet ve eğilmeye maruz çubukların gerilme tahkiki formülleri kullanılmıştır. Çelik çerçevelerin analizinde hem çerçeve elemanlarının geometrik bakımdan lineer olmama etkileri hem de kiriş-kolon birleşimlerinin yarı-rijit davranışı hesaba katılmıştır. Gelişmiş armoni arama yönteminden elde edilen sonuçları kıyaslamak için daha önce genetik algoritma ve klasik armoni arama yöntemiyle optimum tasarımı yapılmış bir çelik çerçeve kullanılmıştır. Bu kıyaslamalar sonucunda gelişmiş armoni arama ile daha hafif çerçevelerin elde edildiği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: *Çelik çerçeveler, Yarı-rijit birleşimler, Gelişmiş armoni arama, Optimum tasarım*

*Yazışmaların yapılacağı yazar: S. Özgür DEĞERTEKİN. sozgur@dicle.edu.tr; Tel: (412) 248 84 02 (3525)

Optimum design of geometrically nonlinear steel frames with semi-rigid connections using improved harmony search method

Extended abstract

The improved harmony search method based optimum design algorithm is presented for geometrically non-linear steel frames with semi-rigid connections. In the analysis of steel frames the real behaviour of connections are generally idealized either pinned or fully rigid. The rigid connection idealization indicates that relative rotation of the connection does not exist and the end moment of the beam is entirely transferred to the column. In contrast to the rigid connection assumption, the pinned connection idealization indicates that any restraint does exist for rotation of the connection and the connection moment is zero. Although these idealizations simplify the analysis and design process, the predicted response of the frame may be different from its real behaviour. Numerous experimental studies proved that all beam-to-column connections posses some flexural stiffness between these two extreme assumptions. The term semi-rigid is used to express the real connection behaviour.

The moment-rotation relationship is the most important factor for the semi-rigid connection behaviour. The modelling of beam-to-column connections and predicting the real behaviour of them have been demonstrated by a number of experimental and numerical works. Moreover, experimental studies proved that moment-rotation curves of semi-rigid connections are non-linear. The nonlinearity of connection behaviour is due to a number of factors such as material discontinuity of the connection subassemblage, local yielding of some component part and local buckling of a plate element. Several mathematical models are developed to curve fit the experimental data of beam-to-column connections. These models vary from a linear model to polynomial and exponential models. In this study, the semi-rigid connections are modelled with the Frye-Morris polynomial model because of its easy implementation.

The non-linear analysis of steel frames with semi-rigid connections includes both the geometrical non-linearity of beam-column members and non-linearity due to end connection flexibility of beam members. The columns of frames are continuous and do not have any internal flexible connections. However, the beams possess semi-rigid end connections, but have small axial forces with a geometric non-linearity of little importance. Based on these considerations, two types of members are defined to design of steel frames with semi-rigid connections. These are beam-column member and beam member with semi-rigid end connections.

Classical harmony search method is recently developed metaheuristic algorithm which simulates the process of producing a musical performance. The harmony search is quite sensitive to the tuning parameters which are harmony memory size, harmony memory consideration rate and pitch adjusting rate. The constant values are used for the tuning parameters in the pure harmony search algorithm. Since the values of these parameters are selected depending on the problem, the efficiency of the harmony search algorithm is directly affected by the tuning parameter values. In order to eliminate the parameter dependent character of the pure harmony search algorithm, pitch adjusting rate is updated in each search step. Therefore, the effectiveness of the classical harmony search algorithm is increased.

The optimum design algorithm aims at obtaining minimum-weight steel frames by selecting from standard set of steel sections such as European wide flange beams (HE sections). Strength constraints of Turkish Building Code for Steel Structures (TS648) specification and displacement constraints are used in the optimum design formulation. The robustness of improved harmony search algorithm, in comparison with classical harmony search and genetic algorithms, is verified with a benchmark example. The comparisons revealed that the improved harmony search algorithm yielded lighter frames for the presented example.

Keywords: *Steel frames, Semi-rigid connections, Improved harmony search, Optimum design*

Giriş

Yapı sistemlerinin optimum tasarımında genetik algoritmalar (GA) son yıllarda oldukça geniş bir şekilde kullanılmıştır. Genetik algoritmalar (GA), mevcut şartlara uyum sağlayan güçlü bireylerin hayatta kalması, şartlara uyum sağlayamayan zayıf bireylerin elenmesi ilkesini hesaplamalı algoritmalara uygulayan bir optimizasyon yöntemidir. Farklı mühendislik uygulamalarının yanında rijit ve yarı-rijit birleşimli çelik çerçevelerin optimum tasarımında da kullanılmıştır (Pezeshk, vd., 2000; Kameshki ve Saka, 2003; Hayalioglu ve Degertekin, 2004-2005).

Son yıllarda kullanılan modern optimizasyon yöntemlerinden bir tanesi de armoni arama yöntemidir. Armoni arama (AA), müzisyenlerin en iyi armoniyi elde etmek için izledikleri yolu taklit eden bir arama yöntemidir (Geem, 2001). AA sürekli ve ayrık tasarım değişkenli kafes sistemlerin, rijit ve yarı-rijit birleşimli çelik çerçevelerin optimum tasarımında da kullanılmıştır (Lee ve Geem, 2004; Lee vd., 2005; Degertekin 2008; Degertekin vd., 2009). AA yöntemi etkili bir yöntem olmakla beraber tüm arama işlemi boyunca sabit arama parametrelerini kullanması bu parametrelerin arama boyunca değişen şartlara uyum sağlayamamasına sebep olmaktadır. Bu amaçla AA yönteminin gücünü arttırmak için gelişmiş armoni arama (GAA) yöntemleri ileri sürülmüştür (Mahdavi vd.,2007; Kaveh ve Abadi, 2010).

Bu çalışmanın amacı, klasik AA algoritmasından daha güçlü bir GAA yöntemi ile geometrik bakımdan lineer olmayan yarı-rijit birleşimli çelik çerçevelerin optimum tasarımını yapmaktır. GAA'dan elde edilen sonuçları kıyaslamak ve yöntemin gücünü teyit etmek için literatürde AA ve GA yöntemleriyle optimum tasarımı yapılmış yarı-rijit birleşimli bir çelik çerçeve örneği kullanılmıştır.

Optimum tasarım problemi

Çelik çerçevelerin optimum tasarım problemi şu şekilde tanımlanabilir:

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

burada; $W(x)$ çerçeve ağırlığını, $x=[x_1, x_2,\ldots,x_{ng}]$ ($x \in IPRO$) çelik profil kesit listesinden seçilen çerçeve eleman gruplarını, $IPRO$ çelik profil kesit listesini, A_k k'ncı gruptaki elemanların kesit alanını, mk k'ncı gruptaki toplam eleman sayısını, ρ_i ve L_i i'nci elemanın özgül ağırlığı ve uzunluğunu, ng ise çerçevedeki toplam grup sayısını gösterir. Bu çalışmada sunulan çerçeve örneği yazarların önceki çalışmasından alındığından (Hayalioglu ve Degertekin, 2004) gerçekçi bir kıyaslama yapılabilmesi için optimum tasarımda kullanılan tüm denklemler kıyaslanan çalışmadan alınmıştır. Buna göre sınırlayıcısız amaç fonksiyonu aşağıdaki biçimde verilebilir:

$$\varphi(x) = W(x)\left(1 + c \times \mathrm{K}\right) \tag{2}$$

burada c probleme özgü bir sabit, K ihlal edilme fonksiyonu olup şu şekilde tanımlanabilir:

$$\mathrm{K} = \sum_{i=1}^{N_s} \mathrm{K}_i^d + \sum_{i=1}^{N_c} \mathrm{K}_i^s \tag{3}$$

burada K_i^d ve K_i^s sırasıyla deplasman ve gerilme sınırlayıcılarının ihlal edilme edilme değerleridir. N_s çerçevedeki sınırlanmış deplasmanların toplam sayısı, N_c çerçevedeki toplam eleman sayısıdır.

Ceza fonksiyonu şu şekilde ifade edilebilir:

$$K_i = \begin{cases} 0 & ise \quad g_i \le 0 \\ \lambda_i & ise \quad g_i > 0 \end{cases} \tag{4}$$

Deplasman sınırlayıcısı;

$$g_i^d = \frac{\delta_i}{\delta_{iu}} - 1.0 \tag{5}$$

şeklindedir. Burada; δ_i i'nci sınırlanmış deplasman değeri, δ_{iu} sınırlanmış deplasmanın üst sınır değeridir.

Eksenel basınç kuvvetinin eğilme momenti ile birlikte etkimesi durumunda gerilme kontrolleri ile ilgili tüm denklemler ve hesap esasları Çelik yapıların hesap ve yapım kuralları yönetmeliğinden (TS 648, 1980) alınmıştır. Eksenel basınç ve eğilmeye maruz çubuklar için oluşacak bileşik gerilme durumunun kontrolü

$$g_i^s = \left[\frac{\sigma_{eb}}{\sigma_{bem}} + \frac{C_m \sigma_{bx}}{\left(1 - \frac{\sigma_{eb}}{\sigma'_{ex}}\right)\sigma_{Bx}} \right]_i - 1.0 \qquad (6)$$

$$g_i^s = \left[\frac{\sigma_{eb}}{0.6\sigma_a} + \frac{\sigma_{bx}}{\sigma_{Bx}} \right]_i - 1.0 \qquad (7)$$

şeklindedir. Eğer $\sigma_{eb}/\sigma_{bem} \leq 0.15$ ise (6) ve (7) denklemleri yerine sadece,

$$g_i^s = \left[\frac{\sigma_{eb}}{\sigma_{bem}} + \frac{\sigma_{bx}}{\sigma_{Bx}} \right]_i - 1.0 \qquad (8)$$

denklemi kullanılabilir.

Eksenel çekme ve eğilmeye maruz çubuklar için gerilme kontrolü şu denklemle yapılmaktadır:

$$g_i^s = \left[\frac{\sigma_{eç}}{0.60\sigma_a} + \frac{\sigma_{çx}}{\sigma_{çem}} \right]_i - 1.0 \qquad (9)$$

(6)-(8) denklemlerinde σ_{eb} yalnız eksenel basınç kuvveti etkimesi halinde hesaplanan gerilme, σ_{bem} yalnız eksenel basınç kuvveti etkimesi halinde müsaade edilen gerilme, σ_{bx} yalnız M_x eğilme momenti etkisi altında hesaplanan basınç-eğilme başlığı gerilmesi, σ_{Bx} yalnız M_x eğilme momenti etkimesi halinde müsaade edilen basınç-eğilme başlığı gerilmesi, σ'_{ex} *x-x* asal ekseni etrafındaki burkulmalar için hesaplanan gerilme, C_{mx} M_x moment diyagramına ve hesap yapılan düzleme dik doğrultudaki çubuğun tutulma düzenini göz önüne alan katsayı olup yanal deplasmanın mümkün olduğu çerçevelerde 0.85 alınır, σ_a ise çeliğin akma dayanımıdır. (9) denkleminde $\sigma_{eç}$ yalnız eksenel çekme kuvveti etkimesi halinde hesaplanan gerilme, $\sigma_{çx}$ yalnız M_x eğilme momentinin etkimesi halinde hesaplanan eğilme çekme gerilmeleri ve $\sigma_{çem}$ yalnız M_x eğilme momentinin etkimesi halinde müsaade edilen eğilme gerilmesi olup $0.6\sigma_a$ alınır.

Çubukların burkulma boyunun hesabında çubuğun gerçek boyu K etkili kolon uzunluk faktörü ile çarpılır. Bu faktör yanal deplasmanın mümkün olduğu çerçevelerde şu şekilde hesaplanır (Kishi vd., 1997):

$$\frac{G_A G_B (\pi / K)^2 - 36}{6(G_A + G_B)} = \frac{\pi / K}{\tan(\pi / K)} \qquad (10)$$

Kolonların üst ucu A, alt ucu B ile gösterilmek üzere G_A, G_B sırasıyla kolonların üst ve alt uçları için rijitlik dağıtım faktörleri olup aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$G = \frac{\sum I_c / L_c}{\sum I_g / L_g} \qquad (11)$$

burada; I_c kolonun üst ve alt ucuna rijit olarak bağlanan kolonların atalet momentlerini, I_g kolonun üst ve alt ucuna rijit olarak bağlanan kirişlerin atalet momentlerini, L_c kolonun üst ve alt ucuna rijit bağlı kolonların boyunu, L_g kolonun alt ve üst ucuna rijit bağlı kirişlerin boyunu göstermektedir.

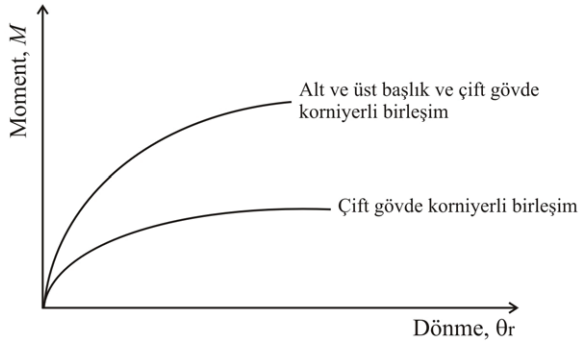
Yukarıda verilen (10) denklemi kirişlerin kolonlara rijit bağlı olduğu kabulüne göre elde edilmiştir. Bundan dolayı (11)'de verilen I_g / L_g kiriş rijitliği yarı-rijit birleşimi hesaba katmak için $1/(1 + 6EI/Lk)$ katsayısı ile çarpılacaktır (Dhillon ve O'Malley, 1999). Burada k göz önüne alınan uca ait dönme yay rijitliğidir.

AA'da her tasarımın sınırlayıcıları ihlal edip etmediği çerçevedeki deplasman ve gerilme değerlerinin tespiti ile mümkündür. Bunun için yarı-rijit çelik çerçevelerin geometrik bakımdan lineer olmayan analizinin yapılması gerekmektedir.

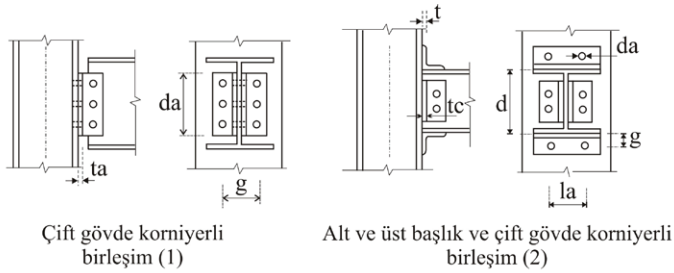
Yarı-rijit birleşimli çelik çerçevelerin analizi ve birleşim modellemesi

Kiriş-kolon birleşimlerinin modellenmesi ve gerçek davranışlarının tahmini konusunda çok sayıda deneysel ve sayısal çalışma yapılmıştır (Lui and Chen 1986, Chen and Kishi 1989, Abdalla and Chen 1995, Lee and Moon 2002). Bu çalışmalar yarı-rijit birleşimlerin moment-dönme eğrilerinin Şekil 1'de gösterilen lineer olmayan bir davranış gösterdiğini doğrulamaktadır. Şekil 1'de verilen yarı-rijit birleşim tiplerinin geometrisi ve kesit parametreleri Şekil 2'deki gibidir.

Kiriş-kolon birleşimleri için deneylerden elde edilen sonuçlar eğri uydurma teknikleri ile değerlendirilerek bazı matematik modeller elde edilmiştir.



Şekil 1. Yarı-rijit birleşim tipleri için moment-dönme eğrileri



Şekil 2. Birleşim tipleri ve kesit parametreleri

Bu modeller elde edilen eğrilerin karakterlerine göre lineer model, polinom model, üstel model olarak adlandırılmaktadır Frye and Morris 1975, Lui and Chen 1986, Wu and Chen 1990, Kishi and Chen 1990). Bu çalışmada uygulama kolaylığından dolayı Frye-Morris polinom model kullanılmıştır. Bu modele göre moment-dönme ilişkisi şu şekilde ifade edilmektedir (Frye and Morris, 1975):

$$\theta_r = c_1(\kappa M)^1 + c_2(\kappa M)^3 + c_3(\kappa M)^5 \qquad (12)$$

burada θ_r birleşim dönme değeri, c_1, c_2 ve c_3 eğri uydurma sabitleri, M birleşime etki eden moment, κ birleşim tipi ve geometrisine bağlı standartlaştırma sabitidir. Bu çalışmada Chen vd. (1996)'da elde edilen standartlaştırma sabitleri kullanılmıştır.

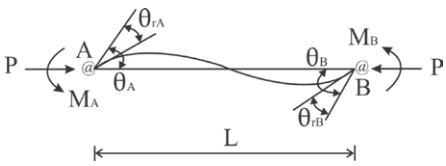
Yarı-rijit birleşimli çelik çerçevelerin lineer olmayan analizi, kiriş-kolon elemanlarının lineer olmayan etkilerini ve kiriş elemanlarının uç birleşimlerindeki lineer olmayan davranışı hesaba katmaktadır. Çerçeve sistemlerde kolon elemanlar süreklidir ve herhangi bir yarı-rijit birleşime sahip değildir, buna karşın kiriş elemanlarda küçük eksenel kuvvetlerden dolayı geometrik bakımdan lineer olmama etkileri düşük seviyede olmakta ancak yarı-rijit birleşim elemanları kiriş elemanların ucuna bağlanmaktadır. Buna göre yarı-rijit birleşimli çelik çerçevelerde, kiriş-kolon elemanı ve yarı-rijit uç birleşimli kiriş elemanı olmak üzere iki tip eleman tanımlanacaktır. Bu çalışmada kullanılan birleşim modellemesi ve geometrik bakımdan lineer olmayan analiz algoritması yazarların önceki çalışmasından (Hayalioğlu ve Değertekin, 2004) alındığından burada tekrarlardan olabildiğince kaçınılacaktır.

Kiriş-kolon elemanı
Geometrik bakımdan lineer olmama (P-Δ) etkilerini içeren bir kiriş-kolon elemanı için rijitlik matrisi

$$[k]_i = [k_e]_i + [k_g]_i \tag{13}$$

şeklindedir. Burada $[k_e]_i$ lineer elastik rijitlik matrisi, $[k_g]_i$ geometrik rijitlik matrisidir (Dhillon and O'Malley, 1999).

Yarı-rijit uç birleşimli kiriş elemanı
Her iki ucundaki dönel yaylarla modellenen yarı-rijit uç birleşimli bir kiriş elemanı şu şekilde gösterilebilir.



Şekil 3. Yarı-rijit uç birleşimli kiriş elemanı

Bu elemandaki θ_{rA} ve θ_{rB} rölatif yay dönmeleri k_A ve k_B bu yay dönmelerine ait yay rijitlikleri olup şu şekilde ifade edilirler:

$$k_A = \frac{M_A}{\theta_{rA}} \tag{14}$$

$$k_B = \frac{M_B}{\theta_{rB}} \tag{15}$$

Yarı-rijit birleşimli çelik çerçevelerin armoni arama yöntemiyle optimum tasarımı

AA yöntemiyle optimum tasarım işlemi aşağıdaki adımlardan oluşmaktadır.

Armoni arama parametrelerinin atanması
İlk adımda AA'da kullanılacak parametreler atanır. Bunlar; *AHF* kapasitesi (κ), armoni hafıza kullanma oranı (η), ses düzeltme oranı (ξ) ve durdurma kriteridir.

Armoni hafızanın çalıştırılması
AHF, κ kadar rasgele üretilen tasarımdan meydana gelen bir matris olarak (16)'daki gibi verilebilir. Bu matriste her satır bir tasarımı, her sütun ise bir tasarım değişkenini gösterir. x^1, x^2,….., $x^{\kappa-1}$, x^{κ} tasarımları, $\varphi(x^1),\varphi(x^2),...,\varphi(x^{\kappa-1})$, $\varphi(x^{\kappa})$ bu tasarımlara ait amaç fonksiyonlarının değerleridir. *AHF*'deki tasarımlar amaç fonksiyonlarına göre sıralanmıştır. Buna göre amaç fonksiyonu değeri en küçük olan en iyi tasarım *AHF*'nin ilk satırında, amaç fonksiyonu değeri en büyük olan en kötü tasarım *AHF*'nin son sırasında yer alır $(\varphi(x^1) < \varphi(x^2) < ... < \varphi(x^{\kappa}))$. *AHF*'nin amacı arama esnasında elde edilen iyi tasarımları koruma altına almak ve bu tasarımlardan faydalanarak daha iyi tasarımları elde etmektir.

$$AHF = \begin{bmatrix} x_1^1 & x_2^1 & .... & x_{ng-1}^1 & x_{ng}^1 \\ x_1^2 & x_2^2 & .... & x_{ng-1}^2 & x_{ng}^2 \\ : & : & :::: & : & : \\ : & : & :::: & : & : \\ x_1^{\kappa-1} & x_2^{\kappa-1} & .... & x_{ng-1}^{\kappa-1} & x_{ng}^{\kappa} \\ x_1^{\kappa} & x_2^{\kappa} & .... & x_{ng-1}^{\kappa} & x_{ng}^{\kappa} \end{bmatrix} \begin{matrix} \rightarrow \varphi(x^1) \\ \rightarrow \varphi(x^2) \\ \rightarrow : \\ \rightarrow : \\ \rightarrow \varphi(x^{\kappa-1}) \\ \rightarrow \varphi(x^{\kappa}) \end{matrix} \tag{16}$$

Yeni armoninin geliştirilmesi
AA'da yeni armoni (tasarım); *AHF*'nin değerlendirilmesi, ses ayarı ve rasgele üretim ile geliştirilir. *AHF*'nin değerlendirilmesinde; yeni tasarımın $\{x_1^{ya}, x_2^{ya}, x_3^{ya}, ..., x_{ng-1}^{ya}, x_{ng}^{ya}\}$ ilk tasarım değişkeni $\{x_1^{ya}\}$, η armoni hafıza kullanma oranı değerine bağlı olarak ya *AHF*'de mevcut olan ilk tasarım değişkenlerinden $\{x_1^1, x_1^2, ..., x_1^{\kappa-1}, x_1^{\kappa}\}$ ya da çelik profil kesit listesinden (X_{ks}) seçilir. AA'da, *AHF*'de olmayan kesitlerin kullanılmasıyla daha iyi tasarımların elde edilebileceği olasılığı göz önüne alınarak η için 1.0 değeri kullanılmaz. Yeni armoninin diğer tasarım değişkenleri de aynı şekilde belirlenir. η şu şekilde uygulanır:

$$\begin{cases} x_i^{ya} \in \{x_i^1, x_i^2, ..., x_i^{\kappa-1}, x_i^{\kappa}\} & ise \quad rn \le \eta \\ x_i^{ya} \in X_{ks} & ise \quad rn > \eta \end{cases} \tag{17}$$

İlk olarak, [0,1] aralığında rasgele bir reel sayı (rn) üretilir. Eğer $rn \le \eta$ ise yeni tasarımdaki

i'nci tasarım değişkeni $\left(x_i^{ya}\right)$ *AHF*'nin i'nci sütunundan seçilir. Aksi halde i'nci tasarım değişkeni kesit listesinden seçilir. Örneğin η=0.9 değeri, AA'da i'nci tasarım değişkeninin %90 olasılıkla *AHF*'nın i'nci kolonundaki kesitlerden, %10 olasılıkla çelik profil kesit listesinden seçileceğini gösterir.

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

$$x_i^{ya} \text{ için ses ayarı} \leftarrow \begin{cases} Yap & ise \quad rna \le \xi \\ Yapma & ise \quad rna > \xi \end{cases} \tag{18}$$

Öncelikle yeni tasarımda ses ayarı yapılacak tasarım değişkeni $\left(x_i^{ya}\right)$ için [0,1] aralığında rasgele bir reel sayı (*rna*) üretilir. Eğer $rna \le \xi$ ise bu tasarım değişkeni kesit profil listesinde kendisine komşu olan bir profil kesitle değiştirilir, aksi halde tasarım değişkeni aynı kalır. Tasarım değişkeninin kesit listesinde kendisine komşu olan profil kesitle değiştirilmesi komşu derinlik indeksi kullanılarak yapılır. Örneğin x_i^{ya} kesit profil listesindeki HE 450AA profil, komşu derinlik indeksi ±1 ve kesit listesi [….HE 320AA, *HE450AA*, HE 280B….] ise algoritma 0.4×η olasılığıyla HE 450AA profil kesiti yerine komşu kesitlerden birini (HE 320AA veya HE 280B) atar ya da (1-0.4×η) olasılığıyla HE 450AA değişmeden kalır.

Armoni hafızanın güncellenmesi

Eğer yeni geliştirilen tasarım $\{x_1^{ya}, x_2^{ya}, x_3^{ya}, ..., x_{ng-1}^{ya}, x_{ng}^{ya}\}$, *AHF*'de mevcut olan en kötü tasarımdan daha iyi ise, yani yeni tasarımın amaç fonksiyonu değeri $\varphi\left(x^{ya}\right)$ *AHF*'deki en büyük amaç fonksiyonuna sahip olan ve son sırada yer alan en kötü tasarımın amaç fonksiyonu değerinden $\varphi\left(x^{\kappa}\right)$ daha küçükse ($\varphi\left(x^{ya}\right) < \varphi\left(x^{\kappa}\right)$), yeni tasarım *AHF*'ye dahil edilirken son sıradaki tasarım *AHF*'den çıkartılır. Bu işlem sonrasında amaç fonksiyonları değerine göre *AHF*'deki tasarımlar tekrar sıralanır.

Arama işleminin bitirilmesi

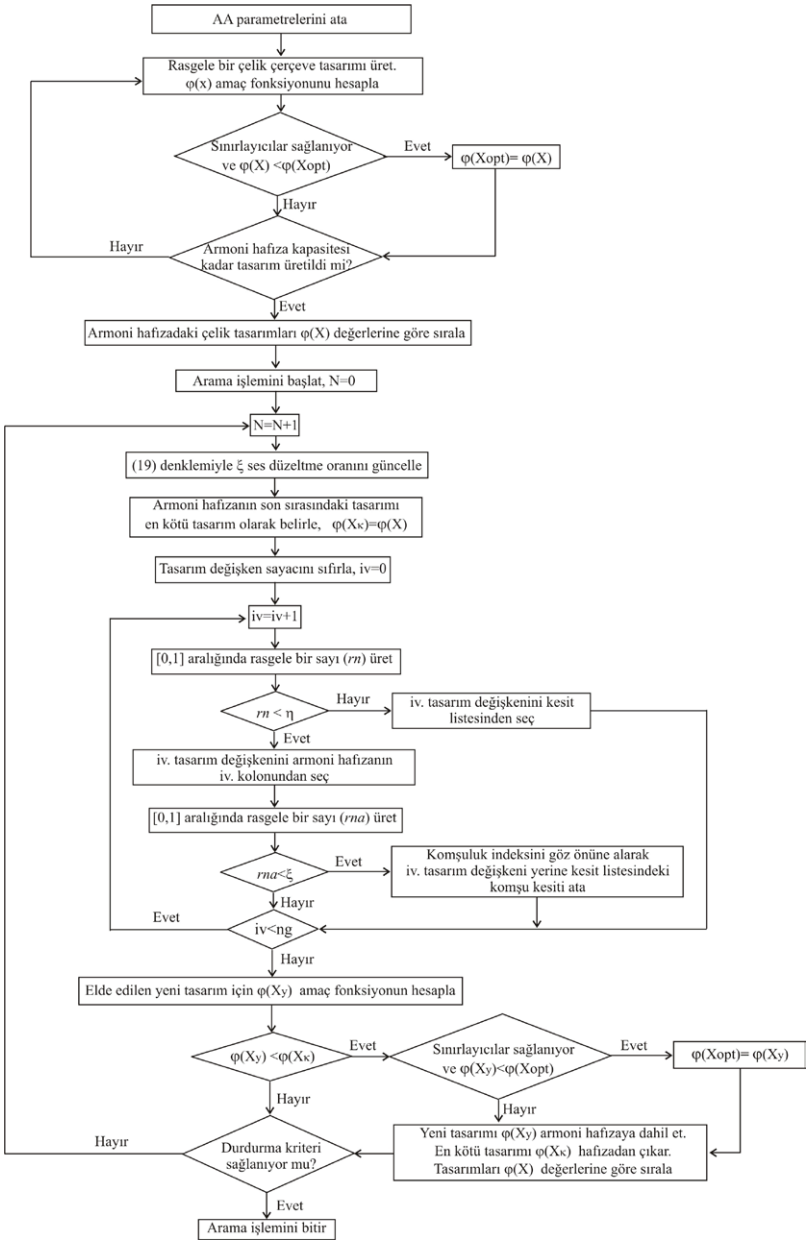
Bu çalışmada geliştirilen AA algoritmasında, önceden belirlenen sayıda armoni (tasarım) geliştirilmesi veya optimum değerin belli sayıda armoni geliştirilmesine karşın değişmemesi durumunda arama işlemi bitirilmiştir.

Gelişmiş armoni arama yöntemi (GAA)

GAA, yukarıda açıklanan klasik AA ile aynı adımlara sahip olmakla birlikte (18) denkleminde kullanılan sabit ξ ses düzeltme oranı yerine, her arama adımında güncellenen bir ξ değeri kullanılmaktadır. ξ ses düzeltme oranı; *AHF*'den seçilen tasarım değişkenin aynı kalması veya bu tasarım değişkenin değiştirilmesi olasılığını kontrol etmektedir. Bir arama işlemi ilk adımlarda farklı optimum tasarımlar üretmekte daha sonraki adımlarda ise belli bir optimum değerin yakınında arama işlemine devam etmektedir. Dolayısıyla lokal optimumlara yakınsamayı engellemek ve aramanın belli bir düzene girmesini sağlamak için ξ değeri GAA'da zamanla şu şekilde azaltılmaktadır (Kaveh ve Abadi, 2010):

$$\xi(n) = \xi_{\max} - \frac{(\xi_{\max} - \xi_{\min})}{mn} \times n \tag{19}$$

burada, $\xi_{\max}$: maksimum ses düzeltme oranı, $\xi_{\min}$: minimum ses düzeltme oranı, n: arama sayısı, mn: maksimum arama sayısıdır. Klasik AA'da arama boyunca sabit alınan ξ değerinin aksine GAA'da ξ ses düzeltme oranı arama boyunca sürekli güncellenerek daha etkili biçimde kullanılması amaçlanmaktadır. Geometrik bakımdan lineer olmayan yarı-rijit birleşimli çelik çerçevelerin GAA ile optimum tasarım algoritması Şekil 4'de verilen akış diyagramı ile açık bir biçimde gösterilebilir.



Şekil 4. Geometrik bakımdan lineer olmayan yarı-rijit birleşimli çelik çerçevelerin gelişmiş armoni arama yöntemiyle optimum tasarımı için akış diyagramı

Kıyaslama örneği

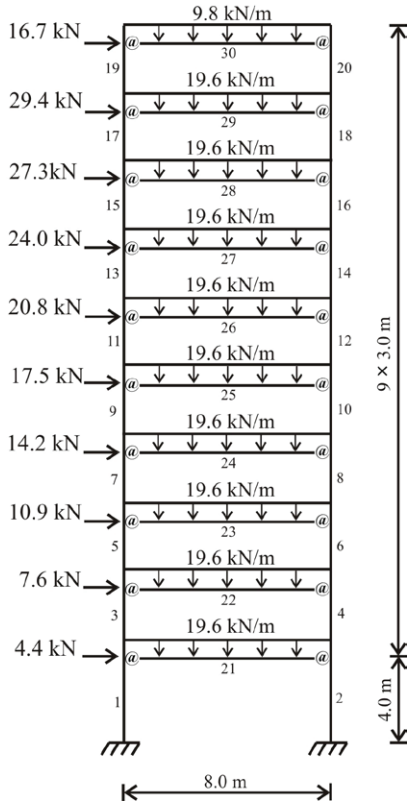
GAA yönteminden elde edilen sonuçları kıyaslayabilmek için daha önce GA (Hayalioglu ve Degertekin, 2004) ve AA yöntemleriyle (Degertekin vd., 2009) optimum tasarımı yapılmış bir çelik çerçeve kullanılacaktır. Bu çerçeve için çelik malzemenin elastisite modülü, özgül ağırlığı ve akma dayanımı sırasıyla E=205940 MPa, ρ=7850kg/m^3 ve 235.4 MPa'dır. Optimum tasarımda çelik kesit olarak Avrupa geniş başlıklı kiriş profilleri (HE-profilleri) kullanılmıştır (Euronorm, 1993). Rijit ve yarı-rijit birleşimli çelik çerçevelerin düğüm deplasmanları H/250 olarak sınırlandırılmıştır. Burada H çerçeve yüksekliğini göstermektedir.

GAA'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 (κ) ve AHF kullanma oranı (η) sırasıyla 40 ve 0.8 alınmış, maksimum ve minimum ses düzeltme oranları ise ξ_{maks}=0.9 ve ξ_{min}=0.2 olarak belirlenmiştir. Arama işlemindeki komşu derinlik indeksi ±1 olarak atanmıştır. Ayrıca AA'da ceza sabiti 10 alınmıştır. Arama esnasında elde edilen optimum ağırlığın maksimum arama sayısının %20'si kadar arama sayısınca değişmemesi ikinci bir durdurma kriteri olarak kabul edilmiştir.

On katlı tek açıklıklı çerçeve tasarımı

On katlı tek açıklıklı çerçevenin boyutları, yükleme durumu ve eleman numaraları Şekil 5'de verilmiştir. Hem rijit hem de yarı-rijit birleşimli çerçeveler için en üst kat deplasmanları 12.4 cm ile sınırlandırılmıştır. Yarı-rijit birleşimlerde kullanılan sabit kesit parametreleri Tablo 1'dedir.

GAA yöntemi ile optimum tasarımı yapılan bu çerçevede her iki birleşim tipinde rasgele on farklı başlangıç tasarımı için on farklı çerçeve tasarımı elde edilmiş bu tasarımlardan en hafif olanlar Tablo 2'de verilmiştir. Her bir birleşimden elde edilen optimum tasarım sonuçları GAA ile karşılaştırmalı olarak Şekil 6'da sunulmuştur. GAA'da farklı başlangıç çerçeve tasarımları için elde edilen optimum ağırlıkların yaklaşık 9000 çerçeve analizi gerektirdiği gözlenmiştir. Buna göre birinci ve ikinci durdurma kriterleri sırasıyla 10000 ve 2000 çerçeve analizi olarak seçilmiştir.



Şekil 5. On katlı tek açıklıklı çerçeve

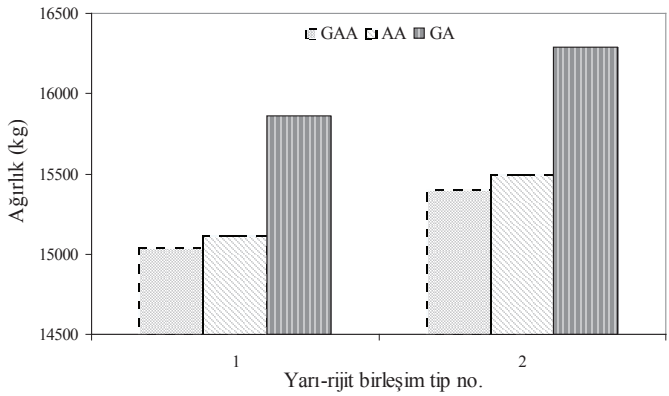
Tablo 1. Birleşim kesit parametreleri

Birleşim tipi	Birleşim kesit parametreleri (cm)
1	t_a=2.0 g=22.0
2	t=1.6 t_c=1.6 g=10.5

Tablo 2. On katlı tek açıklıklı çerçeve için optimum tasarım sonuçları

Eleman no.	GA (Hayalioglu ve Degertekin, 2004)		AA (Değertekin vd., 2009)		GAA (Bu çalışma)	
	Yarı-rijit birleşim tip no.					
	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)
1-6	450B	650A	700AA	700A	700AA	700AA
7-12	550AA	500AA	550AA	550AA	450AA	500AA
13-18	340AA	340AA	320AA	320AA	340AA	360AA
19,20	450AA	360AA	360AA	340AA	400AA	320A
21-23	550AA	500AA	600AA	360AA	600AA	600AA
24-26	450AA	650AA	400AA	500AA	500AA	550AA
27-29	450AA	360AA	400AA	400AA	360AA	320AA
30	320AA	400AA	320AA	340AA	320AA	340AA
Ağırlık (kg)	15862	16288	15115	15495	15041	15407
Deplasman (cm)	12.38	12.39	12.21	12.36	11.21	11.18
Maksimum gerilme oranı	*	*	0.98	1.0	0.97	0.99
Çerçeve analiz sayısı	*	*	9915	8927	8966	9532
Standart sapma (kg)	*	*	616.74	416.73	458.2	488.6

*Mevcut değil



Şekil 6. On katlı tek açıklıklı çerçevede optimum ağırlıkların karşılaştırılması

Tablo 2'den görüleceği üzere GAA ile GA'ya kıyasla %5.2 ve %5.4 ve AA'ya göre %0.4 ve %0.6 arasında daha hafif çerçeveler elde edilmiştir.

Optimum tasarım için gerekli çerçeve analiz sayıları kıyaslandığında GAA ile elde edilen tasarım AA'ya göre 1. tip yarı-rijit birleşimde daha az çerçeve analiz sayısı gerektirirken, 2. tip yarı-rijit birleşimde GAA, AA'ya göre daha fazla çerçeve analizi gerektirmiştir. Bu durum, optimum tasarım için gerekli çerçeve analiz sayısında GAA'nın AA'ya göre belirgin bir üstünlüğü olmadığını göstermektedir.

Optimum tasarımda maksimum gerilme oranları 0.90 değerinden büyük olurken, en üst kat en büyük deplasman değerlerinin de sınır değerin (12.4 cm) uzağında kaldığı tespit edilmiştir. Bu sonuç optimum tasarımların elde edilmesinde gerilme sınırlayıcılarının etkili olduğunu göstermektedir.

Sonuçlar

Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar şu şekilde özetlenebilir:

GAA yöntemi ile AA ve GA yöntemlerine kıyasla daha hafif çelik çerçeveler elde edilmiştir. GAA ile elde edilen tasarımlar için standart sapma değerlerinin optimum çerçeve ağırlıklarına göre oldukça küçük değerler olması farklı başlangıç tasarımları için GAA'nın yaklaşık olarak aynı tasarımları bulabildiğini göstermektedir. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar, GAA yönteminin geometrik bakımdan lineer olmayan yarı-rijit birleşimli çelik çerçevelerin optimum tasarımında kullanılabilecek etkili bir yöntem olduğunu göstermektedir.

Kaynaklar

Abdalla, K.M. ve Chen, W.F. (1995), Expanded database of semi-rigid steel connections, *Comput. Struct.* **56**(4), 553-564.

Chen, W.F. and Kishi, N. (1989), Semirigid steel beam-to-column connections: data base and modeling, *J. Struct. Eng.-ASCE*, **115**(1), 105-119.

Chen, W.F., Goto, Y. ve Liew, J.Y.R. (1996), *Stability design of semi-rigid frames*, John Wiley & Sons Inc., New York.

Degertekin, S.O. (2008), Optimum design of steel frames using harmony search algorithm, *Struct. Multidiscip. O.*, **36**(4), 393–401.

Degertekin, S.O., Hayalioglu, M.S. ve Gorgun, H. (2009), Optimum design of geometrically non-linear steel frames with semi-rigid connections using a harmony search algorithm. *Steel Compos. Struct.,* **9**(6), 535-555.

Dhillon, B.S. ve O'Malley, J.W. (1999), Interactive design of semirigid steel frames, *J. Struct. Eng.-ASCE*, **125**(5), 556-564.

Euronorm, (1993), *European Wide Flange Beams* 53-62, CEN, Brussels.

Frye, M.J. ve Morris, G.A. (1975), Analysis of flexibly connected steel frames, *Can. J. Civil Eng.*, **2**(3), 280-291.

Geem, Z.W, Kim, J.H. ve Loganathan, G.V. (2001), A new heuristic optimization algorithm: harmony search, *Simul.-T. Soc. Mod. Sim.*, **76**(2), 60-68.

Hayalioglu, M.S. ve Degertekin, S.O. (2004), Genetic algorithm based optimum design of non-linear steel frames with semi-rigid connections, *Steel Compos. Struct.*, **4**(6), 453-469.

Hayalioglu, M.S. ve Degertekin, S.O. (2005), Minimum cost design of steel frames with semi-rigid connections and column bases via genetic optimization, *Comput. Struct.*, **83**(21-22), 1849-1863.

Kameski, E.S. ve Saka, M.P. (2003), Genetic algorithm based optimum design of nonlinear planar steel frames with various semirigid connections, *J. Constr. Steel Res.,* **59**(1), 109-134.

Kaveh, A. ve Abadi, A.S.M. (2010), Cost optimization of a composite floor system using an improved harmony search algorithm, *J. Constr. Steel Res.,* **66**(5), 664-669.

Kishi, N. ve Chen, W.F. (1990), Moment-rotation relations of semi-rigid connections with angles, *J. Struct. Engrg., ASCE*, **116**(7), 1813-1834.

Kishi, N., Chen, W.F. ve Goto, Y. (1997), Effective length factor of columns in semirigid and unbraced frames, *J. Struct. Eng.-ASCE*, **123**(3), 313-320.

Lee, K.S. ve Geem, Z.W. (2004), A new structural optimization method based on the harmony search algorithm, *Comput. Struct.,* **82**(9-10), 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, *Eng. Optimiz.,* **37**(7), 663-684.

Lee, S.S. ve Moon, T.S. (2002), Moment-rotation model of semi-rigid connections with angles, *Eng. Struct.,* **24**(2), 227-237.

Mahdavi M, Fesanghary M. ve Damangir E. (2007), An improved harmony search algorithm for solving optimization problems. Appl Math Comput, **188**(2),1567-1579.

Lui, E.M. ve Chen, W.F. (1986), Analysis and behaviour of flexibly-jointed frames, *Eng. Struct*., **8**(2), 107-118.

Pezeshk, S, Camp, CV ve Chen D, 2000, Design of nonlinear framed structures using genetic optimization, *J. Struct. Eng*., ASCE, **126**(3), 382-388.

TS648 (1980), Çelik Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları, Türk Standardları Enstitüsü, Ankara.

Wu, F.S. ve Chen, W.F. (1990), A design model for semi-rigid connections, *Eng. Struct*., **12**(2), 88-97.