

XV. Ulusal Mekanik Kongresi, 03-07 Eylül 2007, ISPARTA

UZAY ÇELİK ÇERÇEVELERİN TABU ARAMA YÖNTEMİYLE OPTİMUM TASARIMI

S. Özgür DEĞERTEKİN^a, Mehmet ÜLKER^b, M. Sedat HAYALİOĞLU^a

^a Dicle Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 21280, Diyarbakır

^b Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 23119, Elazığ

ÖZET

Bu çalışmada, uzay çelik çerçevelerin optimum tasarımında tabu arama yöntemi kullanılmıştır. Tabu arama (TA), insan hafızasının çalışma mekanizmasını taklit eden gelişmiş bir arama yöntemidir. TA'dan elde edilen sonuçları kıyaslamak amacıyla uzay çelik çerçevelerin genetik algoritma (GA) yöntemiyle optimum tasarımı için de bir algoritma geliştirilmiştir. Optimum tasarımda çelik çerçevelerin gerilme, deplasman ve kesit sınırlayıcıları altında minimum ağırlıklı olarak boyutlandırılması amaçlanmıştır. Geliştirilen bilgisayar programlarının uygulaması olarak 40 ve 63 elemanlı iki uzay çelik çerçevenin optimum tasarımı yapılmıştır. Bu uygulamaların sonucunda tabu arama ile genetik algoritmaya kıyasla daha ekonomik çerçeve tasarımları elde edilmiştir.

ABSTRACT

In this study, tabu search method was used for optimum design of steel space frames. Tabu search (TS) is a sophisticated search method which imitates working mechanism of human memory. To compare the results of TS method, an algorithm was also developed for optimum design of steel space frames using genetic algorithm (GA). Minimum weight design of steel frames was aimed under the stress, displacement and size constraints. Optimum designs of two steel space frames with 40 and 63 members were performed as application of the developed computer programs. As a result of these applications, it was found that tabu search yielded more economical frame designs than genetic algorithm.

1. GİRİŞ

TA, optimum tasarımı elde etmek için tasarım uzayını hareket mekanizmasıyla araştırmakta ve sahip olduğu yapay hafıza özelliği ile önceki tasarımları üretmeyerek lokal optimumlardan kurtulmaktadır. TA ilk olarak Glover tarafından açıklanmıştır [1,2]. TA'nın yapıların optimizasyonu konusunda da uygulamaları bulunmaktadır [3-9]. TA konusunda

detaylı teorik bilgi literatürde mevcuttur [10]. Bu çalışmanın amacı, uzay çelik çerçevelerin optimum tasarımı için tabu arama algoritmasını kullanmaktır. TA'dan elde edilen sonuçları kıyaslamak amacıyla uzay çelik çerçevelerin genetik algoritma (GA) yöntemiyle optimum tasarımı için de bir algoritma geliştirilmiştir.

2. OPTİMUM TASARIM PROBLEMİ

Bu çalışmadaki optimum tasarım problemi şu şekilde 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, ρ_i ve L_i i 'nci elemanın özgül ağırlığı ve uzunluğunu, ng ise çerçevedeki toplam grup sayısını gösterir.

Optimum tasarımda kullanılan sınırlayıcılar aşağıda sıralanmıştır.

Yanal deplasman sınırlayıcısı;

$$g_j(x) = \frac{\delta_j}{\delta_{ju}} - 1 \leq 0, \quad j=1, \dots, m \quad (2)$$

şeklinde. Burada; δ_j j 'nci sınırlanmış deplasman değerini, δ_{ju} sınırlanmış deplasmanın üst sınırını, m ise çerçevedeki sınırlanmış deplasmanların toplam sayısını göstermektedir.

Katlar arası görelî ötelenme sınırlayıcısı;

$$g_{ji}(x) = \frac{\Delta_{ji}}{\Delta_{ju}} - 1 \leq 0, \quad j=1, \dots, ns, \quad i=1, \dots, nsc \quad (3)$$

şeklinde verilebilir. Δ_{ji} j 'nci kattaki i 'nci kolonun görelî ötelenmesi, Δ_{ju} j 'nci kattaki i 'nci kolonun görelî ötelenmesi için üst sınırı, ns çerçevedeki kat sayısı, nsc bir kattaki kolon sayısıdır.

Eksenel basınç kuvvetinin eğilme momenti ile birlikte etkimesi durumunda çubukta eğilmeli burkulma durumu oluşacaktır. Bu durum için gerilme kontrolleri;

$$g_i(x) = \left[\frac{f_a}{F_a} + \frac{C_{mx} f_{bx}}{\left(1 - \frac{f_a}{F'_{ex}}\right) F_{bx}} + \frac{C_{my} f_{by}}{\left(1 - \frac{f_a}{F'_{ey}}\right) F_{by}} \right] - 1.0 \leq 0, \quad i=1, \dots, nc \quad (4)$$

$$g_i(x) = \left[\frac{f_a}{0.60 F_y} + \frac{f_{bx}}{F_{bx}} + \frac{f_{by}}{F_{by}} \right] - 1.0 \leq 0, \quad i=1, \dots, nc \quad (5)$$

şeklinde [11]. Eğer $f_a/F_a \leq 0.15$ ise (4) ve (5) denklemleri yerine sadece

$$g_i(x) = \left[\frac{f_a}{F_a} + \frac{f_{bx}}{F_{bx}} + \frac{f_{by}}{F_{by}} \right]_i - 1.0 \leq 0, \quad i=1, \dots, nc \quad (6)$$

denklemleri kullanılabilir. Aksel çekme kuvvetinin ve eğilme momentinin birlikte etkimesi durumunda gerilme durumunun kontrolü;

$$g_i(x) = \left[\frac{f_a}{F_t} + \frac{f_{bx}}{F_{bx}} + \frac{f_{by}}{F_{by}} \right]_i - 1.0 \leq 0, \quad i=1, \dots, nb \quad (7)$$

şeklinde [11]. Burada nc aksel basınç ve eğilme momentine maruz eleman sayısı, nb aksel çekme ve eğilme momentine maruz eleman sayısıdır.

Yukarıdaki bağıntılarda; f_a yalnız aksel basınç kuvveti etkimesi halinde hesaplanan gerilme, F_a yalnız aksel basınç kuvveti etkimesi halinde müsaade edilen gerilme, f_b yalnız eğilme momenti etkisi altında hesaplanan basınç-eğilme başlığı gerilmesi, F_b yalnız eğilme momenti etkimesi halinde müsaade edilen basınç-eğilme başlığı gerilmesi, F'_e Euler gerilmesi, C_m moment diyagramına ve hesap yapılan düzleme dik doğrultudaki çubuğun tutulma düzenini göz önüne alan katsayılar olup yanal deplasmanın mümkün olduğu çerçevelerde 0.85 alınır. F_y ise çeliğin akma dayanımıdır. (7) denkleminde f_a yalnız aksel çekme kuvveti etkimesi halinde hesaplanan gerilme, F_t yalnız aksel çekme kuvveti etkimesi halinde müsaade edilen gerilme değeri, f_b eğilme momentinin etkimesi halinde hesaplanan eğilme-çekme gerilmeleridir. F_b eğilme momentinin etkimesi halinde müsaade edilen eğilme-çekme gerilmeleridir. Bu konuda geniş bilgi AISC-ASD'de mevcuttur [11].

Kolonlar için kullanılan kesit sınırlayıcısı ise şu şekilde verilebilir.

$$g_n(x) = \frac{d_{un}}{d_{bn}} - 1.0 \leq 0, \quad n=1, \dots, ncl \quad (8)$$

burada d_{un} ve d_{bn} ilgili kolonun sırasıyla üst ve alt katında bulunan kolonların gövde yüksekliği, ncl zemin kat kolonları haricindeki toplam kolon sayısıdır. Kolonların burkulma boyunun hesabında çubuğun gerçek boyu K etkili kolon uzunluk faktörü ile çarpılır [12].

Optimum tasarımda kullanılan sınırlayıcısız amaç fonksiyonu aşağıdaki biçimde verilebilir.

$$\varphi(x) = W(x) \left(1 + R \sum_{i=1}^m c_i \right) \quad (9)$$

Burada m toplam sınırlayıcı sayısı, R probleme özgü ceza sabitidir. c_i ihlal edilme katsayısı olup her sınırlayıcı için aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\begin{aligned} g_i(x) > 0 & \text{ ise } c_i = g_i(x) \\ g_i(x) \leq 0 & \text{ ise } c_i = 0 \end{aligned} \quad (10)$$

Hem TA hem de GA ile yapılan her tasarımda sınırlayıcıların ihlal edilip edilmediğinin tespiti için çerçevedeki deplasman ve gerilme değerlerinin bilinmesi gerekmektedir. Bu ise uzay çelik çerçevelerin analizi ile mümkündür. Bu çalışmada, uzay çelik çerçevelerin analizi için kaynak [13]'de verilen bilgisayar program kodu ile kullanılmıştır.

3. TABU ARAMA

TA'da öncelikle rasgele bir başlangıç tasarımı üretilir ve mevcut tasarım olarak atanır. Bu tasarım tüm sınırlayıcıları sağlıyorsa aynı zamanda mevcut optimum tasarım olarak atanır ve aspirasyon listesi adı verilen bir listede saklanır. Mevcut tasarımdaki tasarım değişkenlerinden (eleman gruplarından) bir tanesi rasgele seçilir. Seçilen tasarım değişkenini temsil eden çelik kesitin yerine önceden belirlenen komşu derinliğindeki kesitler atanarak komşu tasarımlar elde edilir. Komşu tasarımlar için çerçeve analizleri yapılarak deplasman ve kesit tesirleri elde edilir. (1)-(10) denklemleriyle komşu tasarımların sınırlayıcısız amaç fonksiyonları hesaplanır. Minimum sınırlayıcısız amaç fonksiyonuna sahip olan komşu tasarımın elde edilmesini sağlayan profile ait kesit numarası tabu listesi adı verilen tek boyutlu bir listeye kaydedilir. En iyi komşu tasarımdaki bir tasarım değişkeni dahi tabu listesinde değilse bu tasarım mevcut tasarımın yerine atanır. Tüm tasarım değişkenleri tabu listesinde olmasına karşın bu tasarım sınırlayıcıların tamamını sağlıyor ve aspirasyon listesindeki mevcut optimum tasarımdan daha hafifse tabu durumu göz ardı edilerek hem mevcut tasarım hem de mevcut optimum tasarım olarak atanır. Bu kriter tabu yıkma kriteri veya aspirasyon kriteri olarak adlandırılmaktadır. Tabu olan komşu tasarım aspirasyon kriterini de sağlamıyorsa mevcut tasarım değişmez.

Tüm tasarım değişkenleri için yukarıdaki işlemler tekrarlanarak tabu aramada bir iterasyon tamamlanır. Durdurma kriteri sağlanıncaya kadar her iterasyon için aynı işlemler tekrarlanır. Arama işleminin bitmesi durumunda aspirasyon listesindeki son tasarım optimum tasarım, bu tasarıma ait ağırlık ise optimum çerçeve ağırlığıdır. TA'da tabu listesi, aramanın aynı veya benzer tasarımlar etrafında olmasını engelleyerek tasarım uzayında farklı bölgelere yönelmeyi sağlar. Aspirasyon kriteri ise tabu listesi ile kısıtlanan arama işlemine esneklik kazandırmaktadır. TA'nın yeniliğe dayanan bir hafıza yapısı olduğundan tabu listesi uzunluğu belli bir tamsayıdır. Listenin en başında en eski yapılan hareketi temsil eden profil numarası, sonunda ise en son yapılan hareketi temsil eden profil numarası bulunmaktadır. Başlangıçta boş olan tabu listesi, seçilen uzunluğu bağlı olarak belli bir süre sonra dolacaktır. Tabu listesinin dolduktan sonra yeni yapılan harekete yer açılması için listenin en başındaki kesit profil tabu listesinden çıkarılır, dolayısıyla bu hareketin tabu olma durumu kaldırılır. Liste bir sıra yukarı kaydırılarak listenin son sırasındaki hareket sondan bir önceki sıraya çıkar, boşalan son sıraya yeni yapılan hareketi temsil eden profil kesit yerleşir.

4. Uzay Çelik Çerçevelerin Tabu Arama Yöntemiyle Optimum Tasarım Algoritması

Uzay çelik çerçevelerin tabu arama yöntemiyle optimum tasarım algoritması aşağıdaki adımlardan oluşmaktadır.

1. Rasgele bir başlangıç tasarımı üret. Bu tasarımı mevcut tasarım olarak ata. Çerçeve için analiz yaparak deplasman ve kesit tesirlerini elde et. (1)-(10) denklemlerini kullanarak sınırlayıcısız amaç fonksiyonunu hesapla.
2. Rasgele bir tasarım değişkeni seç. Diğer tasarım değişkenleri aynı kalmak üzere rasgele seçilen tasarım değişkenini temsil eden kesit kesitin yerine kesit listesinde

belli sayıda komşu profil kesiti sırasıyla atayarak komşu tasarımları elde et. Her komşu tasarımın sınırlayıcısız amaç fonksiyonunu (1)-(10) denklemlerini kullanarak hesapla. Minimum sınırlayıcısız amaç fonksiyonuna sahip komşu tasarımı seç. Bu tasarımın tabu olma durumunu kontrol et. Tabu değilse mevcut tasarımın yerine ata. Tabu ise aspirasyon kriterini kontrol et. Aspirasyon kriteri sağlanıyorsa tabu olma durumunu göz ardı et ve mevcut tasarımın yerine ata. Aspirasyon kriteri sağlanmıyorsa mevcut tasarım değiştirilmez.

3. Her tasarım değişkeni sadece bir kez seçilmek koşuluyla 2 adımını tekrarlayarak bir iterasyonu tamamla.
4. Durdurma kriteri sağlanıncaya kadar 2-3 adımını tekrarla. En son yapılan iterasyon sonunda aspirasyon listesindeki tasarım optimum tasarım, bu tasarıma ait çerçeve ağırlığı optimum ağırlık elde edilir.

5. GENETİK ALGORİTMALAR

GA, doğal genetik ve doğal seçim olayına dayanan araştırma teknikleridir. Güçlü bir araştırma mekanizması kurmak için doğadan alınan operatörler yardımıyla yapay şekilde en sağlıklı olanın hayatta kalması esasını kullanır. Bu çalışmada; üreme, çaprazlama, mutasyon operatörleri kullanılmıştır. GA'nın temel karakteri problemi tanımlayan değişkenlerin kodlanmasıdır. En yaygın olarak kullanılan kodlama metodu değişkenleri ikili tabanda belli uzunlukta bir diziye dönüştürmektir. Bir topluluktaki bireyler 1 veya 0 karakterlerinden oluşan sonlu uzunlukta dizilerdir. Bireyler kromozomlar, karakterler ise yapay genlerdir. Bir dizi, her biri bir tasarım değişkenini temsil eden bir takım alt dizilerden oluşabilmektedir. Tüm diziler bir araya gelerek yapı sistemini oluşturur. Üreme operatörü en uygun olanın hayatta kalması ilkesini uygular. Çaprazlama operatörü çiftleşme havuzundaki bireylerin genetik bilgilerini yeniden birleştirerek probleme yeni çözümler üretir. Mutasyon operatörü ise optimizasyonda farklı çözüm bölgelerinin araştırılmasını sağlamaktadır. Bu operatör topluluktaki her yeni bireye önceden belirlenen bir olasılıkla uygulanır. Bireyden rastgele seçilen bir gen 0'dan 1'e veya 1'den 0'a değiştirilir.

GA bireyler arasında seçim yapabilmek için bir uygunluk kriteri kullanmaktadır. Bu kriter topluluktaki en sağlıklı bireyin uygunluğunun maksimum olması esasına dayanır. Buna göre topluluktaki i no'lu birey için uygunluk ifadesi aşağıdaki gibi yazılabilir [14].

$$F_i = (\varphi(x)_{\max} + \varphi(x)_{\min}) - \varphi(x)_i \quad (11)$$

Burada $\varphi(x)_{\max}$ topluluktaki maksimum sınırlayıcısız amaç fonksiyonu, $\varphi(x)_{\min}$ topluluktaki minimum sınırlayıcısız amaç fonksiyonu, $\varphi(x)_i$ i 'nci eleman için sınırlayıcısız amaç fonksiyonudur. F_i/F_{ort} ile her bireyin uygunluk faktörü hesaplanır. F_{ort} topluluğun ortalama uygunluğudur.

6. Uzay Çelik Çerçevelerin Genetik Algoritma Yöntemiyle Optimum Tasarım Algoritması

Uzay çelik çerçevelerin genetik algoritma yöntemiyle optimum tasarımı için geliştirilen algoritma aşağıdaki adımlardan oluşur.

1. Tasarım değişkenlerini ikili sistemde kodla. Dizi uzunluğunu belirle. Topluluk için bir kesit listesi düzenle.

2. İki tabanındaki sayılardan (0 ve 1) oluşan başlangıç topluluğunu rastgele oluştur.
3. Her birey için ikili sistemde kodlanan tasarım değişkenlerini onluk sisteme dönüştürerek kesit listesindeki sıra numarasını bul, bu numaradaki standart kesitle eşleştir.
4. Belirlenen bu kesitler için her bireyin (çerçevenin) analizini yap, düğüm deplasmanlarını ve gerilmeleri hesapla.
5. Her birey için (10) denklemiyle sınırlayıcıların ihlal edilme katsayısını, (9) denklemiyle de sınırlayıcısız amaç fonksiyonunu hesapla. Topluluktaki amaç fonksiyonlarının minimum ve maksimum değerlerini belirle.
6. (11) denklemiyle her bireyin uygunluğunu hesapla. Kaynak [15]'de anlatıldığı gibi optimum çözüme hızlı yakınsama için lineer uygunluk ölçeklendirmesini uygula. Topluluktaki ortalama uygunluk ve her bireyin uygunluğunu hesapla.
7. Üreme operatörünü uygula. Her bireye uygunluk faktörü ile orantılı olarak kopyalayarak eşleşme havuzuna gönder. Uygunluğu düşük olan bireyleri topluluktan çıkar. Bu yeni kopyaları havuzda rastgele eşleştir ve her çifte üniform çaprazlama uygulayarak yeni evlatları ve bunların oluşturduğu yeni topluluğu elde et.
8. Yeni topluluktaki her evlada mutasyon operatörü uygula.
9. Yeni topluluğu başlangıç topluluğu olarak ata. 3-9 arası adımlardaki işlemlere en son elde edilen topluluktaki maksimum uygunlukla ortalama uygunluk arasındaki farkın maksimum uygunluğa oranının belirli küçük bir değerin altına ininceye kadar veya maksimum iterasyon sayısı aşıncaya kadar devam et. Bu durumda maksimum uygunluk değerine sahip birey optimum ağırlıklı çerçeveyi verir.

7. TASARIM ÖRNEKLERİ

Her iki optimizasyon yönteminin uygulanabilirliğini göstermek ve elde edilen sonuçları kıyaslamak için iki uzay çelik çerçeve örneği kullanılmıştır. Örneklerde çelik için elastisite modülü $E=200$ GPa, kayma modülü $G=83$ GPa, akma dayanımı $f_y=248.2$ MPa ve özgül ağırlığı $\rho=7850$ kg/m³ olarak alınmıştır. Çerçevelerde; ölü yükler (D), hareketli yükler (L), rüzgar yükleri gözönüne alınmış ve ($D+L+W$) bir arada bulunduğu yük kombinasyonu kullanılmıştır [11]. Ölü yük için 4.80 kPa, hareketli yük için 2.40 kPa değerleri alınmıştır.

Rüzgar yükü, $p = C_e C_q q_s I_w$ denklemiyle hesaplanmıştır [16]. Bu denklemde p rüzgar basıncı, C_e çerçeve yüksekliği ve yapının bulunduğu bölgeye göre seçilen bir katsayı, C_q basınç katsayısı, q_s seçilen rüzgar hızına göre ilgili tablo'dan alınan rüzgar basıncı, I_w yapı önem katsayısıdır. Yapının bulunduğu bölgedeki rüzgar etkisinin C sınıfı olması kabulü ile C_e ilgili tablodan alınır. C_q basınç ve emme yüzlerinde sırasıyla 0.8 ve 0.5'dir. q_s rüzgar hızının 129 km/h (80 mph) alınmasıyla 0.785 kPa seçilmiştir. I_w için 1.0 değeri alınmıştır.

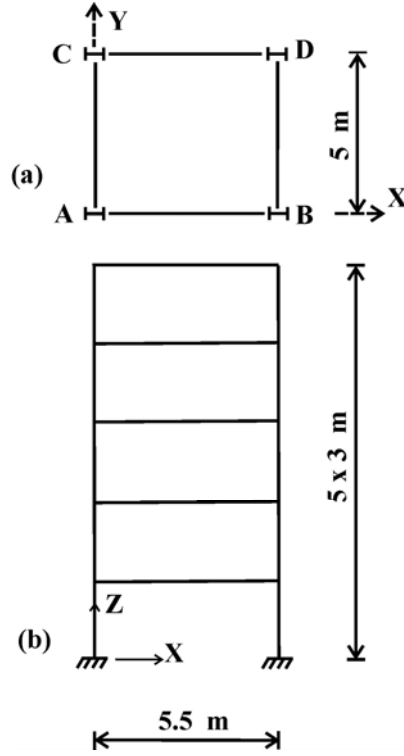
Çerçevede en üst katın deplasmanı $H/400$, katlar arası görelî ötelenme $h_c/300$ ile sınırlanmıştır [17]. Burada H çerçeve yüksekliği ve h_c kat yüksekliğini göstermektedir. Kiriş ve kolon elemanlar için farklı çelik profil listeleri kullanılmıştır. Kiriş elemanlar için AISC-ASD [11] bölüm 2'deki profil tablosunda W36×720'den W12×19'a kadar olan 64 adet profil kesit, kolon elemanlar için aynı yönetmeliğin 3. bölümündeki profil tablosunda W14×283'den W6×15'e kadar olan 64 adet profil kesit olmak üzere iki kesit listesi kullanılmıştır.

7.1. 40 ELEMANLI UZAY ÇERÇEVE

40 elemanlı uzay çerçeve Şekil 1'de verilmiştir. Bu çerçeve altı gruba ayrılmıştır; I. grup

4. ve 5. kattaki X eksenli doğrultusundaki kirişler, II. grup 3, 2 ve 1. katlardaki X doğrultusundaki kirişler, III. grup 4 ve 5. katlardaki Y eksenli doğrultusundaki kirişler, IV. grup 3, 2, 1. katlardaki Y eksenli doğrultusundaki kirişler, V. grup 4 ve 5 kat kolonları, VI. grup 3, 2 ve 1. kat kolonlarından oluşmaktadır.

Rüzgar yükü; AB basınç, CD emme yüzü olmak üzere Y eksenli doğrultusunda mesnet düğümleri haricindeki düğüm noktalarına etki ettirilmiştir. En üst kat en büyük deplasman ve katlar arası göreceli ötelenmenin en büyük değeri sırasıyla 3.75 cm ve 1.0 cm ile sınırlandırılmıştır.



Şekil 1. 40 elemanlı uzay çerçeve (a) plan (b) önden görünüm

TA'da komşu derinliği ± 3 seçilmiştir. TA'da verilmesi gereken bir diğer karar tabu listesinin uzunluğudur. Tabu listesinin kısa seçilmesi aramada eski tasarımların elde edilmesine sebep olurken, listenin uzun seçilmesi halinde yapılan hareketlerin çoğu tabu olacağından arama oldukça kısıtlanmıştır. Hesaplamalardan elde edilen tecrübeler tabu listesi uzunluğunun grup sayısının beş katı kadar seçilmesinin uygun sonuçlar verdiğini göstermiş olup bu örnekte tabu listesi uzunluğu 30 seçilmiştir. TA'da ceza sabiti (R) 1.0 seçilmiştir. GA'da popülasyon büyüklüğü için kromozom uzunluğunun bir ile iki katı arasında alınan değerlerin uygun olduğu tespit edilmiştir. Uygunluk ölçeklendirmesi 2, çaprazlama olasılığı 0.95, mutasyon olasılığı 0.001 ve ceza sabiti 10 alınmıştır.

Maksimum iterasyon sayısı 200 seçilmiştir. Bunun yanında TA'da 30 iterasyon boyunca aspirasyon listesindeki tasarımın değişmemesi halinde arama işleminin bitirilmesi ikinci durdurma kriteri olarak kabul edilmiştir. GA'da ikinci durdurma kriteri olarak son elde edilen topluluktaki maksimum uygunlukla ortalama uygunluk arasındaki farkın maksimum uygunluğa oranının 0.008'den küçük olması şartı kullanılmıştır. Her iki yöntem için elde edilen sonuçlar Tablo 1'de verilmiştir.

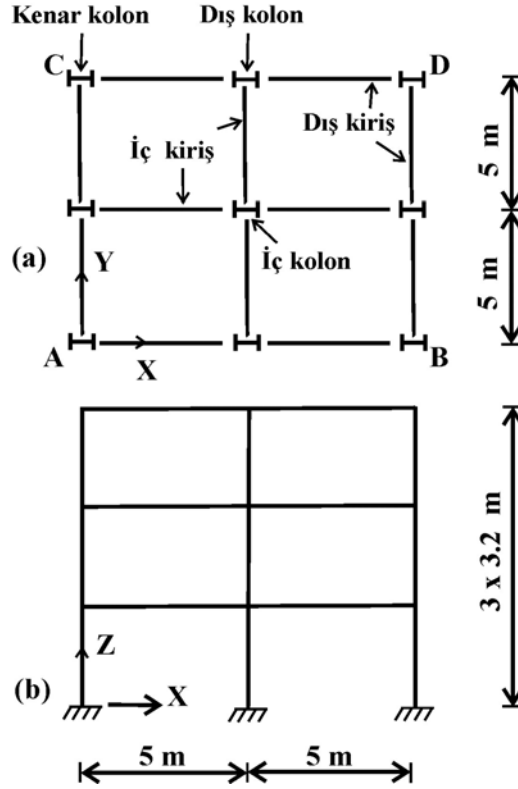
Tablo 1. 40 elemanlı uzay çerçeve için optimum tasarım sonuçları

Grup no.	GA	TA
1	W 16×40	W 14×34
2	W 24×68	W 16×31
3	W 16×31	W 16×31
4	W 21×50	W 16×40
5	W 10×49	W 10×39
6	W 10×54	W 14×74
Ağırlık (kg)	12460	10728
En üst kat en büyük deplasmanı (cm)	2.99	3.30
Görelî ötelenme en büyük değeri (cm)	0.73	0.84

Tablo 1'deki sonuçlara göre TA ile GA'ya kıyasla %13.9 daha hafif bir çerçeve tasarımı bulunmuştur. Hem TA hem de GA ile optimum tasarımda gerilme sınırlayıcıları aktif olurken, deplasman sınırlayıcıları pasif kalmıştır. TA ile optimum tasarım 85. iterasyon sonunda elde edilmiş ve 3060 çerçeve analizi gerektirmiştir. GA, 72. iterasyon sonunda optimum tasarıma yakınsamış ve 1728 çerçeve analizi yapılmıştır. Bu durumda TA ile yapılan arama işlemi GA'ya kıyasla daha fazla analiz ve hesaplama süresi gerektirmektedir.

7.2. 63 ELEMANLI UZAY ÇERÇEVE

63 elemanlı uzay çerçeve için plan ve önden görünüm Şekil 2'deki gibidir.



Şekil 2. 63 elemanlı uzay çerçeve (a) plan (b) önden görünüm

Bu çerçeve beş gruba ayrılmıştır; I. grup 3, 2 ve 1. katların dış kirişleri, II. Grup 3, 2 ve 1. katların iç kirişleri, III. grup 3, 2 ve 1. katların kenar kolonları, IV. Grup 3,2 ve 1. katların dış kolonları, V. Grup 3, 2 ve 1ç katların iç kolonlarıdır.

Rüzgar yükü *Y* eksenine doğrultusunda AB basınç ve CD emme yüzündeki mesnet düğümleri haricindeki düğüm noktalarına etki ettirilmiştir. En üst kat en büyük deplasman ve katlar arası görelî ötelenmenin en büyük değeri sırasıyla 2.4 cm ve 1.07 cm ile sınırlandırılmıştır. TA ve GA'da kullanılan parametreler için ilk örnekte verilen değerler kullanılmıştır. Yalnızca TA için tabu listesi uzunluğu 25 seçilmiştir. Her iki yöntemden elde edilen optimum tasarımlara ait değerler Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. 63 elemanlı uzay çerçeve için optimum tasarım sonuçları

Grup no.	GA	TA
1	W 21×50	W 16×40
2	W 24×55	W 21×62
3	W 14×43	W 8×31
4	W 10×54	W 10×39
5	W 14×61	W 10×88
Ağırlık (kg)	20250	18008
En üst kat en büyük deplasmanı (cm)	1.59	2.06
Görelî ötelenme en büyük değeri cm)	0.71	1.05

Tablo 2'den görüleceği üzere TA ile GA'ya göre %11.1 daha ekonomik çerçeve tasarımı elde edilmiştir. TA'da katlar arası görelî ötelenme ve gerilme sınırlayıcısı aktif olurken, GA'da sadece gerilme sınırlayıcısı aktiftir. TA ile optimum tasarım 81. iterasyon sonunda 2430 çerçeve analiz ile elde edilirken, GA optimum tasarıma 94. iterasyon sonunda yakınsamış ve bunun için 2256 çerçeve analizi gerekmiştir.

8. SONUÇLAR

Örneklerden elde edilen sonuçlara göre TA ile GA'dan elde edilen sonuçlara kıyasla %11.1-%13.9 daha hafif uzay çelik çerçeve tasarımları elde edilmiştir. Buna karşın GA daha az sayıda çerçeve analizi gerektirmiştir. Her iki yöntemde maksimum iterasyon sayısına ulaşmadan optimum tasarıma yakınsaması optimum tasarımı hızlı bir biçimde bulma kabiliyetlerinin olduğunu göstermektedir. TA ve GA'da kullanılan parametreler için en uygun değerler bölüm 7.1'de açıklanmıştır.

KAYNAKLAR

- [1] Glover, F., "Tabu Search-Part I", ORSA J. Comp., 1, 190-206, 1989.
- [2] Glover, F., "Tabu Search-Part II", ORSA J. Comp., 2, 4-32, 1990.
- [3] Dhingra, A.K. and Bennage, W.A., "Discrete and Continuous Variable Structural Optimization Using Tabu Search", Eng. Optimiz., 24, 177-196, 1995.
- [4] Bland, J.A., "Discrete-Variable Optimal Structural Design Using Tabu Search", Struct. Optimiz., 10, 87-93, 1995.
- [5] Bennage, W.A. and Dhingra, A.K., "Optimization of Truss Topology Using Tabu Search", Int. J. Numer. Meth. Eng., 38, 4035-4052, 1995.

- [6] Bland, J.A., “Structural Design Optimization with Reliability Constraints Using Tabu Search”, Eng. Optimiz., 30, 55-74, 1998.
- [7] Bland, J.A., “A Memory-Based Technique for Optimal Structural Design”, Eng. Appl. Artif. Intel., 11, 319-325, 1998.
- [8] Manoharan, S. and Shanmuganathan, S., “A Comparison of Search Mechanisms for Structural Optimization”, Comput. Struct., 73, 363-372, 1999.
- [9] Değertekin, S.Ö., Hayalioğlu, M.S. ve Ülker, M., “Geometrik olarak lineer olmayan uzay çelik çerçevelerin tabu arama yöntemiyle optimum boyutlandırılması”, Sigma Müh. Fen Bil. Dergisi, 6, 117-128, 2006.
- [10] Glover, F. and Laguna M., “Tabu Search”, Kluwer Academic Publishers, Massachusetts, 1997.
- [11] American Institute of Steel Construction, “Manual of Steel Construction: Allowable Stress Design”, Chicago, Illionis, 1989.
- [12] Dumonteil, P., “Simple equations for effective length factors”, Eng. J. AISC, 3, 111-115, 1992.
- [13] Levy, R. and Spillers, W.R., “Analysis of Geometrically Nonlinear Structures”, Chapman and Hall, New York, 1994.
- [14] Rajeev, S. and Krishnamoorthy C.S., “Discrete Optimization of Structures Using Genetic Algorithms”, J. Struct. Eng. ASCE, 118, 5, 1233-1250, 1992.
- [15] Goldberg, D.E., “Genetic Algorithms in Search Optimization and Machine Learning”, Reading, Massachusetts, Addison-Wesley, 1989.
- [16] Uniform Building Code, “International Conference of Building Officials”, Whittier, California, 1997.
- [17] Ad Hoc Committee on Serviceability Research, “Structural serviceability: a critical appraisal and research needs”, J. Struct. Eng. ASCE 112, 2646-2664, 1986.