

Uzay Çelik Çerçevelerin Tabu Arama ve Genetik Algoritma Yöntemleriyle Optimum Tasarımı

S. Özgür DEĞERTEKİN*
Mehmet ÜLKER**
M. Sedat HAYALIOĞLU***

ÖZ

Bu çalışmada, uzay çelik çerçevelerin tabu arama yöntemiyle optimum tasarımı için bir algoritma ve bunun bilgisayar programı geliştirilmiştir. Tabu aramada iki algoritma kullanılmış ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Yöntemin etkinliğini görmek ve elde edilen sonuçları kıyaslamak için uzay çelik çerçevelerin genetik algoritma yöntemiyle de optimum tasarım algoritması geliştirilmiştir. Çerçevelerin analizinde geometrik bakımdan lineer olmama etkileri göz önüne alınmış, malzeme lineer elastik kabul edilmiştir. Çerçevelere etki eden yatay ve düşey yük değerleri ile yanal deplasman, görel kat ötelenmesi ve gerilme sınırlayıcıları ilgili tasarım yönetmeliklerine uygun olarak alınmıştır. Ayrıca optimum tasarımda çerçeve elemanları için kesit boyut sınırlayıcıları da kullanılmıştır. Yukarıda bahsedilen yükler ve sınırlayıcılar altında minimum ağırlıklı çerçevelerin elde edilmesi amaçlanmıştır. Geliştirilen algoritma ve bilgisayar programının uygulaması olarak iki uzay çelik çerçevenin optimum tasarımı yukarıda bahsedilen yöntemlerle yapılmıştır. Bu uygulamaların sonucunda tabu arama ile genetik algoritmaya kıyasla daha ekonomik tasarımlar elde edilmiştir.

ABSTRACT

Optimum Design Of Steel Space Frames Using Tabu Search And Genetic Algorithm

In this study, an algorithm and its computer program were developed for the optimum design of steel space frames using tabu search method. Two algorithms were used for tabu search and the results obtained from these algorithms were compared. An optimum design algorithm was also developed using genetic algorithm so as to compare the results with the ones obtained from tabu search and to discover the effectiveness of the method. Geometrical nonlinearity was considered and the material was assumed to be linear-elastic in the analysis of the space frames. The lateral and vertical loads, lateral displacement, interstory drift and stress constraints imposed on the frames were taken from the relevant

Not: Bu yazı

- Yayın Kurulu'na 13.07.2005 günü ulaşmıştır.
- 30 Eylül 2006 gününe kadar tartışmaya açıktır.

* Dicle Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Diyarbakır – sozgur@dicle.edu.tr
** Fırat Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Elazığ – mulker@firat.edu.tr
*** Dicle Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Diyarbakır – hsedat@dicle.edu.tr

design codes. Moreover, section size constraints was considered in the optimum design. In this study, obtaining of the minimum-weight frames was aimed under the above mentioned loads and constraints. Optimum designs of two steel space frame were performed to show the applications of the developed algorithms and computer programs. More economical designs were obtained from tabu search when compared to genetic algorithms.

1. GİRİŞ

Tabu, sözlüklerde herhangi bir şeyin dini veya ahlaki sebeplerle yasaklanması olarak tanımlanır. Optimizasyon problemlerinde ise, optimum çözümü elde etmek için kullanılan yasaklar ve kısıtlamaları ifade etmektedir.

Tabu arama (TA); optimum çözümü elde etmek için çözüm uzayını hareket mekanizmasıyla araştıran ve sahip olduğu yapay hafıza özelliği ile önceki tasarımları üretmeyerek lokal optimumlardan kurtulan gelişmiş bir arama yöntemidir. TA'nın esasları çok önceleri verilmesine rağmen [1], bugün kullanılan şekli Glover tarafından açıklanmıştır [2,3]. TA şimdiye kadar elektronik devre tasarımı [4], iş çizgeleme [5,6], kesim problemleri [7], telekomünikasyon ağları [8], düzlem ve uzay kafes sistemlerin optimizasyonu [9,10,11,12,13,14,15] gibi birçok farklı alanda uygulanmıştır. TA konusunda detaylı bilgi ilgili kaynaklarda mevcuttur [16,17].

Genetik algoritma (GA) ise, biyoloji kanunlarının hesaplamalı algoritmalara uyarlanması ile elde edilen bir optimizasyon yöntemidir. GA doğadan alınan genetik operatörler yardımıyla en uygun bireylerin hayatta kalması ilkesini uygulayan arama tekniğidir. Yöntem doğal seçim ve genetik kodlama kavramları üzerine inşa edilmiştir GA'nın düzlem ve uzay kafes sistemlerin optimizasyonu [18,19], düzlem çelik çerçevelerin optimum tasarımı [20,21], düzlem ve uzay yapıların optimum tasarımı [22], uzay çelik çerçevelerin optimum tasarımı [23] ve yarı-rijit çelik çerçevelerin optimum tasarımı [24,25] olmak üzere yapı mühendisliğiyle ilgili çok sayıda uygulaması bulunmaktadır.

Bu çalışmadaki optimum tasarım probleminde amaç fonksiyonu uzay çerçevenin ağırlığı olup minimum ağırlıklı çerçeve tasarımı araştırılmaktadır. Her bir çerçeve tasarımı belli sayıda eleman gruplarından oluşur. Her grupta ise belirli sayıda kiriş ya da kolon elemanları mevcuttur ve her bir grup standart bir çelik profil kesit ile temsil edilir. Bu profiller standart bir çelik profil kesit listesinden seçilir. Her bir grup için seçilen profil kesit optimizasyon süresince değişmektedir ve tasarım değişkeni olarak adlandırılmaktadır.

Bu çalışmada geometrik bakımdan lineer olmayan uzay çelik çerçevelerin optimum tasarım probleminde tabu arama ve genetik algoritma yöntemleri kullanılmıştır. Her iki yöntemde de çerçeve elemanlarının kesitleri bir standart çelik profil listesinden seçilmektedir. TA'da iki çözüm algoritması geliştirilmiş bu algoritmalarından elde edilen sonuçlar birbirleriyle ve GA'dan elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Optimum tasarımda kullanılan sınırlayıcılar gerilme, yanal deplasman, görelî kat ötelenmesi sınırlayıcıları olup ilgili yönetmeliklere uygun biçimde seçilmiştir. Bunun yanında konstrüktif nedenlerden dolayı eleman kesit boyut sınırlayıcıları da kullanılmıştır. Uygulanan yöntem genel olup yapı mühendisliğiyle ilgili diğer alanlarda da kullanılabilir ve farklı yönetmelikler programa uyarlanabilir.

Yukarıda yapılan literatür araştırmasından görüleceği üzere bir çok bilim dalında olduğu gibi tabu arama yönteminin yapı mühendisliğinde de uygulamaları mevcuttur. Bununla birlikte yapı mühendisliğinde tabu arama yöntemi kullanılarak yapılan tüm çalışmalar sadece düzlem ve uzay kafes sistemlerin optimizasyonu ile sınırlı kalmıştır. Bu çalışmanın

amacı ise uzay çelik çerçevelerin optimum tasarımını tabu arama yöntemi ile yapmaktır. Literatür araştırmalarından da görüldüğü gibi bu çalışma ile uzay çelik çerçevelerin optimum tasarımında ilk kez tabu arama yöntemi kullanılmıştır.

2. TABU ARAMA

TA çözüm uzayındaki arama işlemini komşu arama ile gerçekleştirmektedir. Komşu aramada, herhangi bir olası tasarımın diğer olası tasarımlardan oluşan komşuları olduğu kabul edilir. Optimizasyon probleminde ise olası birçok tasarım içinde amaç fonksiyonunu minimum yapan tasarım aranır. Bu amaçla çözüm uzayında hareket mekanizmasıyla mevcut tasarımdan bu tasarıma komşu olan tasarımlara gidilir. Komşu aramada komşuluğun karşılıklı olduğu kabul edilir. Yani X tasarımı, Y tasarımının bir komşusu ise, Y tasarımı da X tasarımının bir komşusudur.

TA'da arama boyunca en iyi komşu tasarımların elde edilmesini sağlayan hareketler yapay bir hafızaya kaydedilir. Bu hafıza kısa dönemli hafıza olarak adlandırılır. Bu yapay hafıza kullanılarak aramada önceki tasarımların tekrar elde edilmesini sağlayacak hareketler yasaklanır. Arama esnasında yapılmasına izin verilmeyen bu hareketlere tabu denir. Tabu hareketler tabu listesi adı verilen ve yapay hafıza görevi gören tek boyutlu bir listede muhafaza edilir. Tabu listesine kaydedilen her hareket bir tasarım değişkenini temsil eder. TA'da her tasarım değişkeni için tanımlanan komşu tasarımlar içerisinde en iyi olan tasarım tabu listesi de kontrol edilerek mevcut tasarımın yerini alır. Arama işlemine mevcut tasarımın yerini alan en iyi komşu tasarım ile devam edilir. Aynı işlem diğer tasarım değişkenleri için de tekrarlanarak bir iterasyon tamamlanır. Kabul edilen durdurma kriteri sağlanıncaya kadar her iterasyon için bu işlemler tekrarlanır. Bu çalışmada kullanılan tabu arama algoritmasında maksimum iterasyon sayısının aşılması durdurma kriteri olarak kullanılmıştır.

TA'da herhangi bir iterasyonda X tasarımından bu tasarımın en iyi komşusu olan Y tasarımına bir hareket gerçekleştiğinde bu hareket tabu listesine kaydedilir. Mevcut bir X tasarımından h_1 hareketi ile en iyi Y komşu tasarımına gidilirse, $Y=h_1(X)$. Bir sonraki iterasyonda mevcut tasarım olan Y tasarımının en iyi komşu tasarımı X olabilir. Y tasarımından h_2 hareketi ile X tasarımına gidilir, $X=h_2(h_1(X))$. Bu olasılığın gerçekleşmesi durumunda aramada aynı tasarım etrafında bir çevrim oluşacaktır. Tabu listesi ile bu durum yasaklanmakta ve aramanın çözüm uzayında farklı alanlara yönelmesi sağlanmaktadır.

TA'da yapılan bir hareketin ne kadar süreyle tabu listesinde kalacağı tabu listesi uzunluğu ile belirlenir. Tabu listesinin yeniliğe dayanan bir hafıza yapısı bulunmaktadır. Buna göre tabu olan hareketlerin sayısı tabu listesi uzunluğuna eriştiğinde tabu listesinin en başında olan en eski hareket listeden çıkarılır. Liste bir sıra yukarı hareket ettirilerek listenin ikinci sırasındaki hareket birinci sıraya, üçüncü sırasındaki hareket ikinci sıraya gelir bu şekilde devam edilerek en son tabu olan hareket sondan bir önceki sıraya gelir. Boşalan son sıraya ise yeni yapılan hareket yerleşir. Yeniliğe dayanan hafıza yapısını kullanan TA'da tabu listesinin uzunluğu oldukça önemlidir. Eğer tabu listesi çok uzun olursa aramada hareketlerin çoğu tabu olacağından TA'nın hareket kabiliyeti azalır. Tersine tabu listesinin çok kısa seçilmesi durumunda ise aynı tasarımlar etrafında çevrim olabileceğinden arama başlangıç tasarımının yakınında lokal bir optimuma yakınsayabilir. Bu çalışmada tabu listesinin uzunluğu sabit bir tamsayı olarak seçilmiştir. Buna göre tabu listesi uzunluğu t olmak üzere tabu listesine kaydedilen bir hareketin, bu hareketten sonra t adet yeni hareket

yapılıncaya kadar tekrar edilmesine izin verilmez. t adet yeni hareket yapıldıktan sonra hareketin tabu durumu kaldırılır ve bu hareket tabu listesinden çıkartılır.

Tabu yıkma kriterleri, tabu olan bir hareketin bazı şartları sağlaması durumunda tabu olmasına rağmen yapılabilmesini sağlayan kriterlerdir. Bu kriterlerle tabu listesi ile kısıtlanan aramaya esneklik kazandırılmaktadır [10]. Literatürde en çok kullanılan tabu yıkma kriteri aspirasyon kriteridir. Buna göre; yapılan bir hareket sonucunda şimdiye kadar elde edilen en iyi tasarımdan daha iyi bir tasarım bulunursa bu hareket tabu olsa dahi kabul edilir. Bu kriterle kabul edilen bir hareketin tabu olma durumu kaldırılmaz ve hareket tabu listesinden çıkarılmaz. Sadece hareketin tabu olma durumu aspirasyon kriterini sağladığı için geçici olarak göz ardı edilir. TA'da tabu listesi dışında aspirasyon listesi adı verilen ve tek bir değer ihtiva eden bir liste daha vardır. Bu listeye arama boyunca optimizasyon sınırlayıcılarını sağlayan tasarımlar kaydedilir. Arama esnasında sınırlayıcıların tamamını sağlayan bir tasarımla karşılaşıldığında bu tasarım aspirasyon listesine kaydedilir. Herhangi bir iterasyonda aspirasyon listesindeki tasarımdan daha hafif bir tasarım bulunursa bu tasarım tabu olan bir hareket sonucunda elde edilmiş bile olsa kabul edilir ve aspirasyon listesindeki mevcut tasarımın yerini alır.

TA'da tabu listesi ve aspirasyon kriteri kısa dönemli hafıza görevi görmektedir. Bununla birlikte kısa dönemli hafıza ile beraber uzun dönemli hafızanın da kullanılması arama işleminin daha kuvvetli bir hal almasını sağlayabilir. Uzun dönemli hafıza ile arama esnasında elde edilen en iyi tasarımlara dönüş yapılarak bu tasarım bölgelerinde daha detaylı bir araştırma yapılması sağlanır. Böylece bu bölgelerde bulunabilecek daha iyi tasarımların elde edilmesi olasılığı değerlendirilir. Uzun dönemli hafıza aramanın lokal olarak kuvvetlenmesini, global olarak ise çeşitlenmesini sağlamak için kullanılır [16]. Bu çalışmada uzun dönemli hafıza olarak kuvvetlendirme stratejileri kullanılmıştır. Bu stratejiye göre aramada belli bir iterasyona kadar kısa dönemli hafıza kullanılır. Önceden belirlenen iterasyona gelindiğinde o ana kadar ki en iyi tasarıma geri dönülür ve bu tasarım sonraki iterasyon için başlangıç tasarımı olarak alınır. Bu esnada tabu ve aspirasyon listesindeki bilgiler silinmeyerek yeni bir çözüm yolu araştırılır.

Çelik çerçevelerin TA ile optimum tasarımında öncelikle rastgele bir başlangıç tasarımı üretilir. Daha sonra her eleman grubu bir defa seçilmek şartıyla rastgele bir grup seçilir. Profil kesit listesinde bu grubu temsil eden profile komşu olan profiller belirlenir. Bu belirleme komşu derinliğine göre yapılır. Örneğin komşu derinliği ± 1 ise; diğer gruplara ait profil kesitler aynı kalmak koşuluyla bu profilin kesit listesinde bir üstünde ve bir altında bulunan profiller bu profilin yerine konarak, iki ayrı tasarım yapılır. Tabu listesi ve aspirasyon kriteri kontrol edilmek şartıyla bu iki tasarımdan hafif olanı mevcut tasarımın yerini alır. Dikkat edilirse komşu derinliğinin ± 1 olması durumunda iki ayrı tasarım yapılmaktadır. Benzer biçimde komşu derinliğinin ± 2 olması durumunda seçilen gruba ait profilin kesit listesinde bir ve iki üstündeki profiller sırasıyla mevcut profilin yerine konarak iki farklı tasarım yapılır. Gene seçilen gruba ait profilin kesit listesinde bir ve iki altındaki profiller mevcut profilin yerine konarak ayrı ayrı iki tasarım daha yapılır. Böylece komşu derinliğinin ± 2 olması durumunda dört farklı tasarım yapılır. Bu durum genelleştirilirse; komşu derinliğinin $\pm \beta$ olması halinde $2 \times \beta$ kadar komşu tasarım yapılarak bunlar içinde en hafif olan tasarım tabu listesi ve aspirasyon kriteri kontrol edilerek mevcut tasarımın yerini alır. Burada β bir tamsayıdır.

TA'da tabu listesinin çalışma mekanizması şu şekildedir; mevcut tasarımda rastgele seçilen bir tasarım değişkeni için komşu derinliğinde yapılan hareketler sonucu elde edilen komşu tasarımlardan en hafif olanının, tasarım değişkenlerinin tabu listesinde olup olmadığı tek

tek kontrol edilir. En az bir tasarım değişkeni dahi tabu listesinde değilse bu tasarım mevcut tasarımın yerine geçer. Tüm tasarım değişkenleri tabu listesinde ise aspirasyon kriteri kontrol edilir. Aspirasyon kriterinin sağlanması durumunda bu tasarım gene mevcut tasarımın yerine geçer. Aksi halde bu tasarım tabu olduğundan yapılmasına müsaade edilmez. Aynı işlemler her grup için tekrarlanarak bir iterasyon tamamlanır. Maksimum iterasyon sayısına varıncaya kadar her iterasyonda yukarıdaki işlemler tekrarlanır.

3. 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. GA'da değişik operatörler mevcuttur. 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 diziyeye dönüştürmektir. Bir topluluktaki bireyler 1 veya 0 karakterlerinden oluşan sonlu uzunluktaki 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. Bu çalışmada [26]'da detaylı olarak açıklanan üniform çaprazlama kullanılmıştır. 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.

4. OPTİMUM TASARIM PROBLEMİ

Lineer olmayan uzay çelik çerçevelerin optimum tasarım problemi şu şekilde tanımlanabilir.

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

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 aşağıdaki şekilde sıralanabilir.

Yanal deplasman sınırlayıcısı ;

$$g_i(x) = \frac{\delta_i}{\delta_{iu}} - 1.0 \leq 0 \quad ; i=1, \dots, p \quad (2)$$

şeklinde dir. Burada; δ_i i'nci sınırlanmış deplasman değeri, δ_{iu} sınırlanmış deplasmanın üst sınırını, p ise çerçevedeki sınırlanmış yanal deplasmanların toplam sayısını göstermektedir. Görelî kat ötelenmesi sınırlayıcısı;

$$g_j(x) = \frac{(\delta_{ju} - \delta_{ja})}{\delta_{js}} - 1.0 \leq 0 \quad ; j=1, \dots, ncl \quad (3)$$

şeklinde. Burada; δ_{ju} j'nci kolonun üst ucundaki deplasman değeri, δ_{ja} j'nci kolonun alt ucundaki deplasman değeri, δ_{js} j'nci kolonda görel kat ötelenmesinin sınır değerini, ncl ise çerçevedeki toplam kolon sayısını göstermektedir.

Konstrüktif nedenlerle kullanılan kesit sınırlayıcıları aşağıdaki biçimde verilebilir.

$$g_k(x) = \frac{b_{kfb}}{b_{kfc}} - 1.0 \leq 0 \quad ; k=1, \dots, nns \quad (4a)$$

$$g_k(x) = \frac{b_{kfb'}}{(d_{khc} - 2t_{kfb})} - 1.0 \leq 0 \quad ; k=1, \dots, nns \quad (4b)$$

Bu denklemlerde; b_{kfb} k'nci düğüm noktasına yapı X eksenini (Şekil 2) doğrultusunda bağlanan kirişin b_f başlık genişliği, b_{kfc} k'nci düğüm noktasındaki kolonun b_f başlık genişliği, $b_{kfb'}$ k'nci düğümüne bağlanan yapı Y eksenini 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 kalınlığı, nns mesnetler hariç toplam düğüm noktasıdır.

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 TS 648 [27] yönetmeliğinden alınmıştır. Eksenel basınç ve eğilmeye maruz çubuklar için oluşacak bileşik gerilme durumunun kontrolünde,

$$g_n(x) = \frac{\sigma_{eb}}{\sigma_{bem}} + \frac{C_{mx}}{\left(1 - \frac{\sigma_{eb}}{\sigma'_{ex}}\right)} \frac{\sigma_{bx}}{\sigma_{Bx}} + \frac{C_{my}}{\left(1 - \frac{\sigma_{eb}}{\sigma'_{ey}}\right)} \frac{\sigma_{by}}{\sigma_{By}} - 1.0 \leq 0 \quad ; n=1, \dots, nb \quad (5)$$

$$g_n(x) = \frac{\sigma_{eb}}{0.6\sigma_a} + \frac{\sigma_{bx}}{\sigma_{Bx}} + \frac{\sigma_{by}}{\sigma_{By}} - 1.0 \leq 0 \quad ; n=1, \dots, nb \quad (6)$$

şeklinde. Eğer $\sigma_{eb}/\sigma_{bem} \leq 0.15$ ise (5) ve (6) denklemleri yerine sadece,

$$g_n(x) = \frac{\sigma_{eb}}{\sigma_{bem}} + \frac{\sigma_{bx}}{\sigma_{Bx}} + \frac{\sigma_{by}}{\sigma_{By}} - 1.0 \leq 0 \quad ; n=1, \dots, nb \quad (7)$$

denklemleri kullanılabilir. (5)-(7) denklemlerindeki nb çerçevedeki toplam eleman sayısını göstermektedir.

Yukarıdaki bağıntılarda; 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_{by}

yalnız M_y 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_{By} yalnız M_y eğilme momenti etkimesi halinde müsaade edilen basınç-eğilme başlığı gerilmesi, σ'_{ex} x-x asal eksenini etrafındaki burkulmalar için hesaplanan gerilme, σ'_{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, σ_a ise çeliğin akma dayanımıdır.

Eksenel çekme ve eğilmeye maruz çubuklar için (6) denkleminin sağlanması gerekmektedir. Bu durumda σ_{eb} yalnız aksel çekme kuvveti etkimesi halinde hesaplanan gerilme gerilme, σ_{bx} ve σ_{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 aşağıdaki denklemlerle hesaplanır [28].

$$K_x = \sqrt{\frac{1.6G_{Ax}G_{Bx} + 4(G_{Ax} + G_{Bx}) + 7.5}{G_{Ax} + G_{Bx} + 7.5}} \quad (8a)$$

$$K_y = \sqrt{\frac{1.6G_{Ay}G_{By} + 4(G_{Ay} + G_{By}) + 7.5}{G_{Ay} + G_{By} + 7.5}} \quad (8b)$$

Bu denklemlerde K_x eğilmeye kuvvetli olan x-x eksenindeki (Şekil 2) etkili kolon uzunluk faktörü, K_y ise eğilmeye zayıf olan y-y eksenindeki etkili kolon uzunluk faktörüdür. Kolonların üst ucu A, alt ucu B ile gösterilmek üzere G_{Ax} , G_{Bx} sırasıyla kolonların üst ve alt uçları için x-x eksenindeki rijitlik dağıtım faktörleri, G_{Ay} , G_{By} kolonların üst ve alt uçları için y-y eksenindeki rijitlik dağıtım faktörleri olup aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$G_{Ax} = \left(\frac{\sum I_c/s_c}{\sum I_g/s_g} \right)_{x-x} ; \quad G_{Ay} = \left(\frac{\sum I_c/s_c}{\sum I_g/s_g} \right)_{y-y} \quad (9a)$$

$$G_{Bx} = \left(\frac{\sum I'_c/s'_c}{\sum I'_g/s'_g} \right)_{x-x} ; \quad G_{By} = \left(\frac{\sum I'_c/s'_c}{\sum I'_g/s'_g} \right)_{y-y} \quad (9b)$$

(9a) ve (9b) denklemlerinde parantez dışındaki indisler ilgili eksenini göstermek üzere; 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 $G_r=1.0$ değeri alınır.

TA ile yapılan optimum tasarımlarda literatürde iki farklı yaklaşımın kullanıldığı görülmektedir. Birincisi; sınırlayıcıları sağlamayan çözümlerin direk olarak reddedilmesidir. Bu yöntem ile optimum tasarımların elde edilmesi tüm çözüm uzayının aranması ile mümkündür [10]. İkinci yaklaşımda ise arama boyunca elde edilen tasarımlar sınırlayıcıları sağlamasa dahi reddedilmemektedir. Böylece arama daha geniş bir çözüm uzayında gerçekleşmekte ve birinci yaklaşıma göre daha iyi sonuçlar elde edilmektedir [10]. Bu çalışmada ikinci yaklaşım kullanılmıştır. Buna göre hem GA hem de TA ile optimum tasarımda kullanılan sınırlayıcısız amaç fonksiyonu aşağıdaki biçimde verilebilir.

$$\varphi(x) = W(x) \left(1 + R \sum_{i=1}^m c_i \right) \quad (10)$$

Burada m toplam sınırlayıcı sayısı, R probleme özgü bir sabit olup bu çalışmada TA için 0,9, GA için 10 olarak alınmıştır. c_i ise ihlal edilme katsayısı olup aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\begin{aligned} g_i(x) > 0 \text{ ise } c_i &= g_i(x) \\ g_i(x) \leq 0 \text{ ise } c_i &= 0 \end{aligned} \quad (11)$$

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 [19].

$$F_i = (\varphi(x)_{\max} + \varphi(x)_{\min}) - \varphi(x) \quad (12)$$

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. Burada F_{ort} topluluğun ortalama uygunluğudur.

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 lineer olmayan analizi ile mümkündür. Bu nedenle bundan sonraki kısımda bu çalışmada kullanılan lineer olmayan analiz kısaca açıklanacaktır.

5. UZAY ÇELİK ÇERÇEVELERİN LİNEER OLMAYAN ANALİZİ

Bu çalışmada lineer olmayan davranışların hesaplanması için [29]'da açıklanan algoritma ve bilgisayar program kodu kullanılmıştır. Herhangi bir çerçevedeki denge denklemleri denklemleriyle aşağıdaki biçimde ifade edilebilir [30].

$$f_i(x_1, x_2, \dots, x_n) = P_i \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (13)$$

Burada P_i düğüme etki eden dış yükler, f_i bu dış yükler neticesinde oluşan eleman iç kuvvetleri ve x_i düğümlerin yer değiştirmeleri ve dönmelerini gösteren koordinatlarıdır. (13) denkleminde görüleceği üzere $\{f_i\}$ iç kuvvetler vektörünün $\{x\}$ koordinatlar vektörünün

yüksek mertebeden lineer olmayan fonksiyonu olduğu açıktır. (13) denklemi yük ve deplasman artımlarının diferansiyel terimleri olarak (14) denklemiyle ifade edilir.

$$\{\Delta P\} = [T_s] \{\Delta x\} \quad (14)$$

Burada $\{\Delta P\}$ ve $\{\Delta x\}$ sırasıyla dış yükler, düğüm deplasmanları ve $[T_s]$ sistem rijitlik matrisi olup (15) denklemiyle verilir.

$$[T_s] = \left[\frac{\partial f_i}{\partial x_j} \right] \quad (15)$$

Çerçevelerin lineer olmayan davranışlarının hesabında kullanılan hesaplama yöntemi Şekil 1'de verilmiştir. Bu yöntemde (14) denklemi ile verilen her bir yük artımı için düğüm dengesinin elde edilmesi amaçlanmaktadır.

Belli bir $\{P\}_i$ yük değeri için i 'nci adımdaki $\{x\}_i$ düğüm deplasmanlarının bilindiğini kabul edelim. Bir sonraki $(i+1)$ 'nci adımdaki yeni deplasman değerlerinin, $\{P\}_{i+1} = \{P\}_i + \{\Delta P\}$ yeni yük artımı için hesaplanması gerekmektedir. $[T_s]_i$ sistem rijitlik matrisinin elde edilmesi ve $\{\Delta P\}$ yük artımı için (14) denkleminin çözülerek $\{\Delta x\}$ deplasman değişiminin hesaplanması gerekmektedir. $(i+1)$ 'nci adımdaki yeni deplasman vektörü $\{x\}_{i+1} = \{x\}_i + \{\Delta x\}$ $\{P\}_{i+1}$ yük durumundaki çerçevenin şekil değiştirmiş durumunu yeterince ifade etmemektedir. Sonuç olarak düğüm denge denklemleri sağlanmadığından, iç düğüm kuvvetleri ve dış düğüm yükleri dengelenemeyecektir. Bu durumun çözümü için Şekil 1'de verilen ve aşağıdaki adımlardan oluşan algoritma kullanılacaktır.

1. $\{\Delta Q\}$ dengelenmemiş düğüm yükleri (16) bağıntısıyla hesaplanır;

$$\{\Delta Q\}_j = \{P\}_{i+1} - \{f(x)\}_j \quad (16)$$

burada $\{P\}_{i+1}$ $(i+1)$ 'nci adımdaki yük değeri, $\{f(x)\}_j$ j 'nci adımdaki iç kuvvetlerdir.

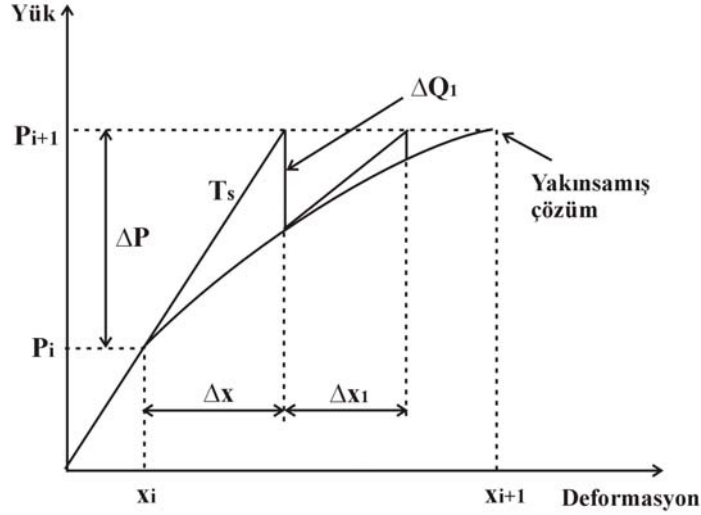
2. (14) denkleminde $\{\Delta P\}$ yerine dengelenmemiş düğüm kuvvet vektörü bırakılarak $\{\Delta x\}_j$ düzeltme vektörü hesaplanır.

$$[T_s] \{\Delta x\}_j = \{\Delta Q\}_j \quad (17)$$

3. Yeni deplasman vektörü (18) bağıntısıyla elde edilir.

$$\{x\}_{j+1} = \{x\}_j + \{\Delta x\}_j \quad (18)$$

Yeni deplasman vektörüne göre $[T_s]$ hesaplanır. Bu adımlar; $\{\Delta P\}_j / \{\Delta P\}$ oranı ε ile gösterilen ($\varepsilon=0.0001$) sifıra çok yakın belli küçük bir değer altına ininceye kadar tekrarlanır. Bu çalışmada $\{P\}_{i+1}$ yük artımı her iterasyonda sabit bir değer almaktadır. Böylece $\{P\}_{i+1}$ yük değeri için şekil değiştirmiş çerçeve elde edilir. Bu adımlar tüm yük artımları için tekrarlanır. Nihai yük artımı sonunda elde edilen eleman kuvvetleri çerçevenin aranan eleman kuvvetleridir.



Şekil 1. Lineer olmayan analiz için hesaplama adımları

6. UZAY ÇELİK ÇERÇEVELERİN TABU ARAMA YÖNTEMİYLE OPTİMUM TASARIM ALGORİTMASI

TA ile optimum tasarımda iki algoritma kullanılmıştır. Bunlardan birincisi; tabu listesi ve aspirasyon kriteri gibi tabu aramada kısa dönemli hafıza özelliklerine sahip algoritmadır (TA-I). İkincisi ise birinci algoritmadaki kısa dönemli hafıza özelliklerine ilave olarak uzun dönemli hafıza özelliğini kullanan algoritmadır (TA-II). Aşağıda TA-II yönteminin algoritması verilmiştir. Bu algoritmadaki 9'ncü adım çıkarılırsa sadece kısa dönemli hafızanın kullanıldığı TA-I yönteminin algoritması elde edilir. Verilen algoritmada; çerçevenin her bir tasarımı ng adet eleman gruplarından oluşur; $ig=1, \dots, ng$. Her grup profil kesit listesindeki bir kesitle temsil edilir ve tasarım değişkeni adını alır. Tabu listesi uzunluğu itl ile gösterilen bir tamsayıdır. Aramada komşu derinliği ± 6 seçilmiştir; $imv=-6, \dots, -2, -1, 1, 2, \dots, 6$. Tabu aramada maksimum iterasyon sayısı kl olarak alınan bir tamsayıdır; $mi=1, \dots, kl$. Buna göre uzay çelik çerçevelerin tabu arama yöntemiyle optimum tasarımı için geliştirilen algoritma aşağıdaki adımlardan oluşmaktadır.

1. $mi=0$ değerini ata.
2. Rastgele bir X_0 başlangıç tasarımı üret, bu tasarıma ait $f(X_0)$ amaç fonksiyonunu hesapla, bu tasarımı X_c mevcut tasarım olarak ata, $X_c=X_0$.
3. Hareket mekanizmasını uygulamak için rastgele bir tasarım değişkeni seç. $ig \in [1, \dots, ng]$ olmak üzere her tasarım değişkeni sadece bir defa seçilecektir.
4. ig 'nci grupta her komşu imv değeri için aspirasyon kriterini kontrol ederek sırasıyla tabu olmayan X_{pi} komşu tasarımlarını hareket mekanizmasıyla elde et. (11) denkleminde sınırlayıcıların ihlal edilme katsayısını, (10) denkleminde sınırlayıcısız amaç fonksiyonunu hesapla. Komşu tasarımların içinde sınırlayıcısız amaç fonksiyonu değeri en küçük olanı seç, $f(X_{p0})=\min f(X_{pi})$.

5. $f(X_{p0})$ değerini aspirasyon listesinde bulunan ve $f(X_g)$ ile gösterilen mevcut optimum tasarımla kıyasla. Eğer $f(X_{p0}) \leq f(X_g)$ ise minimum değerli komşu tasarımı, X_g mevcut optimum tasarım ve X_c mevcut tasarım olarak ata., $X_g=X_{p0}$ ve $X_c=X_{p0}$ 7. adıma git. $f(X_{p0}) \leq f(X_g)$ şartı sağlanmıyorsa 6. adıma git.
6. Eğer $f(X_{p0}) > f(X_g)$ ise minimum değerli komşu tasarımı sadece mevcut tasarım olarak ata, $X_c=X_{p0}$.
7. Tabu ve aspirasyon listelerini güncelle. Eğer tabu listesi uzunluğu itl aşılmışsa listenin başındaki en eski hareketi listeden çıkar. Listeyi bir sıra yukarı kaydır, boşalan son sıraya yeni hareketi kaydet.
8. Tüm tasarım değişkenleri birer kez seçilmişse 9. adıma git, değilse 3. adıma git.
9. Eğer $m_i=100$ ise $m_i=m_i+1$ ve önceki yüz iterasyonda elde edilen X_g mevcut optimum tasarımı başlangıç tasarımı olarak ata, 3'ncü adıma git. Değilse 10'ncü adıma git.
10. $m_i \leq k_l$ ise $m_i=m_i+1$ değerini ata ve 3. adıma git, değilse tabu arama işlemini bitir. Aspirasyon listesinde bulunan X_g tasarımı optimum tasarım, $f(X_g)$ ise çerçevenin optimum ağırlığıdır.

7. UZAY ÇELİK ÇERÇEVELERİN GENETİK ALGORİTMA YÖNTEMİYLE OPTİMUM TASARIM ALGORİTMASI

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) lineer olmayan analizini yap, düğüm deplasmanlarını ve gerilmeleri hesapla.
5. Her birey için (11) denklemiyle sınırlayıcıların ihlal edilme katsayısını, (10) denklemiyle de sınırlayıcısız amaç fonksiyonunu hesapla. Topluluktaki amaç fonksiyonlarının minimum ve maksimum değerlerini belirle.
6. (12) denklemiyle her bireyin uygunluğunu hesapla. [31]'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 uniform 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 fark belirli küçük bir değer altına ininceye kadar veya maksimum iterasyon sayısı aşıncaya kadar devam et. Bu durumda maksimum uygunluk değerine sahip birey optimum ağırlıklı çerçeveyi verir.

8. SAYISAL UYGULAMALAR

Bu çalışmadaki her iki uygulamada da malzeme çelik olup elastisite modülü $E=1.999 \times 10^8$ kN/m², akma dayanımı $\sigma_a=248211.28$ kN/m², özgül ağırlığı $\rho=76.8195$ kN/m³ olarak alınmıştır. Lineer olmayan analiz için yük adımları eşit olup yük adımı sayısı beş seçilmiştir. Optimum tasarımda ülkemizde kullanılan çelik profil listelerindeki profil sayılarının az olmasından dolayı 128 adet Amerikan geniş başlıklı I profili (W kesitler) kullanılmıştır [32].

Uzay çerçevelerde ölü yük 3.36 kN/m², hareketli yük 2.40 kN/m² ve hareketli çatı yükü için 2.40 kN/m² olarak alınmıştır. Çerçevelere etki eden rüzgarın pozitif yapı Y doğrultusunda estiği kabul edilmiştir. Rüzgar yükü TS 498 [33] yönetmeliğine 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. Verilen uygulamalarda kolonların eğilmede kuvvetli eksenleri yapı Y doğrultusundadır.

Her iki uygulamada da en üst katın yanal deplasmanları sınırlandırılmıştır. Bu sınırlama çerçeve yüksekliği H olmak üzere en üst kattaki her düğüm noktası için H/400 olarak alınmıştır. Katlar arası görelî ötelenme sınırlaması ise h kolon uzunluğu olmak üzere h/300 alınmıştır.

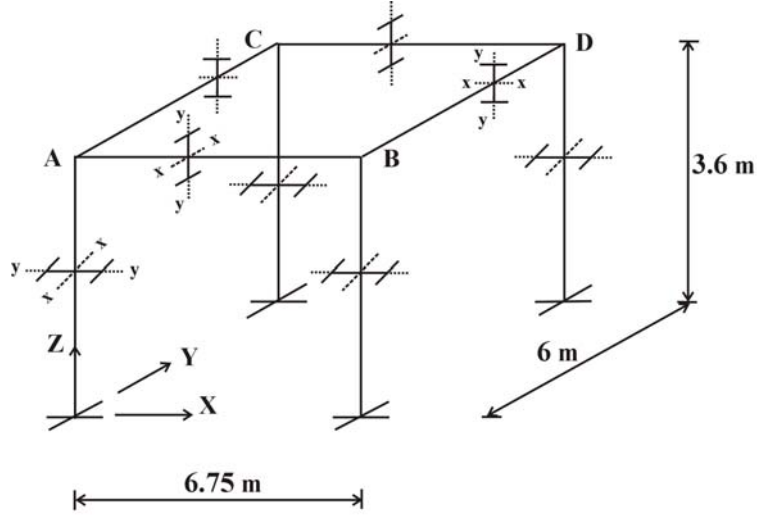
Uygulamalarda maksimum iterasyon sayısı 200 olup, tabu aramada kısa dönemli hafıza ile birlikte uzun dönemli hafıza'nın da kullanıldığı ikinci yöntemde arama işlemi esnasında yüzüncü iterasyona gelindiğinde, önceki yüz iterasyon boyunca elde edilen en iyi tasarım başlangıç tasarımı olarak seçilmiş yüzbirinci iterasyonda arama işlemine bu tasarımdan devam edilmiştir. Bu sırada tabu listesindeki mevcut kayıtlar silinmemektedir. Verilen uygulamalar Pentium IV 2.4 GHz mikro işlemcili kişisel bilgisayarda icra edilmiştir.

8.1. Sekiz Elemanlı Uzay Çerçeve

Sekiz elemanlı uzay çelik çerçeve Şekil 2'deki gibi üç gruba ayrılmıştır. 1'nci grup; yapı X doğrultusundaki kirişler, 2'nci grup; yapı Y doğrultusundaki kirişler, 3'ncü grup ise kolon elemanlarından oluşmaktadır. Çerçevede üst düğüm noktalarının yanal deplasmanları 0.9 cm ile sınırlandırılmıştır. Şekil 2'de AB ile gösterilen taraf rüzgarın basınç kuvveti olarak etkilediği, CD ile gösterilen taraf rüzgarın emme olarak etki ettiği yüzdür. GA'da topluluk büyüklüğü 36, çaprazlama olasılığı 0.95, mutasyon olasılığı 0.001'dir. TA'da komşu derinliği ± 6 , tabu listesi uzunluğu 30 seçilmiş ve optimum tasarım sonuçları Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Sekiz Elemanlı Uzay Çerçevede Optimum Tasarım Sonuçları

Grup no.	TA-I	TA-II	GA
1	W12×35	W18×35	W12×35
2	W14×38	W18×35	W8×31
3	W12×35	W12×35	W14×48
Ağırlık (kg)	2135.55	2081.12	2285.24



Şekil 2. Sekiz Elemanlı Uzay Çerçeve

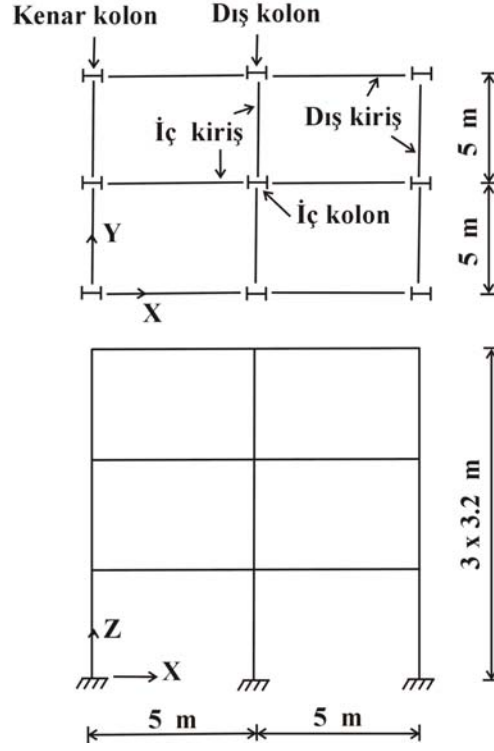
Buna göre en hafif çerçeve tasarımı TA-II ile 2081.12 kg olarak elde edilmiştir. TA-II ile TA-I'e kıyasla % 2.5, GA'ya göre % 8.9 daha hafif bir çerçeve elde edilmiştir. Bu tasarımda en büyük yanal deplasman değeri 0.76 cm'dir. Gerilme sınırlayıcıları hem kolon hem de kirişler için sınır değerdedir. TA-I'de en büyük yanal deplasman değeri 0.73 cm olup gerilme sınırlayıcıları kolonlarda aktif, kirişlerde pasif kalmıştır. GA'da ise 41'nci iterasyon sonunda optimum tasarıma yakınsama gerçekleşmiş ve en büyük yanal deplasman değeri 0.56 cm olarak elde edilmiştir. GA'da gerilme sınırlayıcıları kolonlarda aktif, kirişlerde pasiftir. Hesaplama süresi TA'da 2 dk 35 sn, GA'da 1dk 14 sn'dir.

8.2. Altmışüç Elemanlı Uzay Çerçeve

Şekil 3'deki altmışüç elemanlı uzay 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. Çerçeve en üst kat düğüm noktalarının yanal deplasmanları 2.4 cm, katlar arası görelî ötelenme ise 1.07 cm ile sınırlandırılmıştır. Bu çerçeve için optimum tasarım sonuçları Tablo 2'de verilmiştir

Tablo 2. Altmışüç Elemanlı Uzay Çerçeve Optimum Tasarım Sonuçları

Grup no.	TA-I	TA-II	GA
1	W14×34	W14×34	W14×38
2	W12×35	W16×36	W21×50
3	W24×68	W14×38	W16×40
4	W14×38	W12×50	W8×40
5	W21×62	W14×48	W8×40
Ağırlık (kg)	16184.19	15021.42	16413.06



Şekil 3. Altmışüç Elemanlı Uzay Çerçeve

GA'da topluluk büyüklüğü 50 seçilmiş, çaprazlama ve mutasyon olasılığı ilk örnekteki değerlerin aynısıdır. TA'da komşu derinliği ± 6 , tabu listesi uzunluğu 40 seçilmiştir. Tablo 2'deki sonuçlara göre en hafif çerçeve tasarımı TA-II ile 15021.42 kg olarak elde edilmiştir. TA-II ile TA-I'e kıyasla % 7.2, GA'ya kıyasla % 8.5 daha ekonomik bir çerçeve tasarımı elde edilmiştir. Bu tasarımda en üst kat en büyük yanıl deplasman değeri orta açıklıktaki düğümlerde 1.72 cm, katlar arası görelil ötelenmenin en büyük değeri ise birinci kat dış kolonlarında 0.69 cm olmuştur. Gerilme sınırlayıcıları birinci kattaki iç kolon ve dış kolonlarda aktif, diğer elemanlarda pasif kalmıştır. TA-I için en üst kat en büyük yanıl deplasman değeri orta açıklıktaki düğümlerde 1.78 cm, katlar arası görelil ötelenmenin en büyük değeri ise birinci kat dış kolonlarında 0.99 cm olmuştur. Gerilme sınırlayıcıları birinci kat iç ve dış kolonlarında aktif olurken, diğer çerçeve elemanlarında pasif kalmıştır. GA optimum tasarıma 157'nci iterasyon sonunda yakınsamıştır. GA'da en üst kat en büyük yanıl deplasman değeri orta açıklık düğümlerinde 1.50 cm, katlar arası görelil ötelenmenin en büyük değeri birinci kat orta açıklık kolonlarında 0.77 cm'dir. Hesaplama süresi TA için 5 sa 46 dk, GA için 4 sa 3 dk'dır.

9. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada elde edilen sonuçlar şu şekilde sıralanabilir.

1. Uzun ve kısa dönemli hafızanın birlikte kullanıldığı TA-II ile sadece kısa dönemli hafızanın kullanıldığı TA-I'e göre sırasıyla % 2.5 ve % 7.2 daha hafif çerçeve tasarımları yapılmıştır. Dolayısıyla uzun dönemli hafızanın kullanılması tabu arama algoritmasını olumlu yönde etkilemiştir.
2. TA-II ile GA'ya kıyasla sırasıyla % 8.9 ve % 8.5, TA-I ile de GA'ya göre % 6.5 ve % 1.4 daha hafif tasarımlar elde edilmiştir. GA'da optimum çözüme yakınsama maksimum iterasyon sayısına ulaşılmadan da gerçekleşebildiğinden, TA'ya kıyasla daha kısa hesaplama süreleri elde edilmiştir. Ancak hesaplama süresi TA'da komşu derinliği ve grup sayısı değerine bağlıdır. Daha küçük komşu derinliği değerlerinde hesaplama süresi kısıllanacaktır. GA'da hesaplama süresi topluluk büyüklüğü ile ilgilidir. Daha küçük topluluk büyüklükleri için hesaplama süresi daha kısa olacaktır. Bunun yanında lineer olmayan analizde daha yaklaşık fakat hızlı lineer olmayan analiz tekniklerinin de kullanılması hesaplama süresinin azalmasına sebep olabilir.
3. TA'da karar verilmesi gereken iki kritik problemle karşılaşmıştır. Bunlar komşu derinliğinin tespit edilmesi ve en uygun tabu listesini uzunluğunun belirlenmesidir. Bu konuda yapılan detaylı bir çalışma [34], uzay çelik çerçevelerde komşu derinliğinin ± 6 olması durumunda en ekonomik tasarımların elde edildiğini göstermektedir. Tabu listesi uzunluğunun belirlenmesinde iki durumla karşılaşmıştır. Liste uzunluğunun çok kısa seçilmesi durumunda aramanın sürekli olarak aynı tasarımlar etrafında gerçekleştiği bunun sonucunda optimum tasarımların uzağında tasarımların elde edildiği gözlemlenmiş, buna karşın listenin çok uzun seçilmesi durumunda neredeyse tüm hareketler tabu olduğundan aramanın kısıtlı bir çözüm uzayında gerçekleşmesi sonucu lokal optimumlara yakınsamaların olduğu tespit edilmiştir. Hesaplamalardan elde edilen tecrübeler sonucunda tabu listesi uzunluğunun, grup sayısının 8-10 katı olması durumunda uygun sonuçların elde edildiği görülmüştür [34]. Ancak tabu listesi uzunluğu; farklı komşu derinliği değeri ve kullanılan kesit profil listesi'nin büyüklüğüne bağlı olarak daha kısa veya uzun seçilebilir.
4. GA'da çaprazlama olasılığı 0.95, mutasyon olasılığı 0.001 alınmıştır. Daha küçük çaprazlama ve daha büyük mutasyon olasılığı optimum çözüme yakınsamayı geciktirmiştir.
5. Bu çalışmada geometrik bakımdan lineer olmama göz önüne alınmakla beraber malzeme lineer-elastik kabul edilmiştir. İleride yapılacak çalışmalarda geometrik bakımdan lineer olmama durumunun yanında malzeme bakımından da lineer olmama durumu da göz önüne alınabilir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmada; geliştirilen bilgisayar programında kullanılan lineer olmayan analiz program kodunu bizimle paylaşan Prof. Dr. William Spillers ve Prof. Dr. Robert Levy'e en içten teşekkürlerimizi sunarız.

SEMBOLLER

c_i	: İhlal edilme katsayısı
C_{mx}	: M_x moment diyagramına ve hesap yapılan düzleme dik doğrultudaki çubuğun tutulma düzenini göz önüne alan katsayı
C_{my}	: M_y moment diyagramına ve hesap yapılan düzleme dik doğrultudaki çubuğun tutulma düzenini göz önüne alan katsayı
E	: Elastisite modülü
G	: Kayma modülü
G_{Ax}	: Kolonların üst ucu için x-x eksenindeki rijitlik dağıtım faktörü
G_{Ay}	: Kolonların üst ucu için y-y eksenindeki rijitlik dağıtım faktörü
G_{Bx}	: Kolonların alt ucu için x-x eksenindeki rijitlik dağıtım faktörü
G_{By}	: Kolonların alt ucu için y-y eksenindeki rijitlik dağıtım faktörü
I_c	: Gözönüne alınan kolonun üst ucuna rijit olarak bağlanan kolonların atalet momentleri
I'_c	: Gözönüne alınan kolonun alt ucuna rijit olarak bağlanan kolonların atalet momentleri
I_g	: Gözönüne alınan kolonun üst ucuna rijit bağlı kirişlerin ilgili eksenindeki atalet momentleri
I'_g	: Gözönüne alınan kolonun alt ucuna rijit bağlı kirişlerin ilgili eksenindeki atalet momentleri
K	: Etkili kolon uzunluk faktörü
K_x	: Eğilmede kuvvetli eksenindeki etkili kolon uzunluğu
K_y	: Eğilmede zayıf eksenindeki etkili kolon uzunluğu
R	: Ceza sabiti
s_c	: İlk uca rijit bağlı kolonların boyu
s'_c	: İkinci uca rijit bağlı kolonların boyu
s_g	: İlk uca rijit bağlı kirişlerin boyu
s'_g	: İkinci uca rijit bağlı kirişlerin boyu
W	: Yapı ağırlığı
ρ_i	: Malzemenin özgül ağırlığı
σ_a	: Çeliğin akma dayanımı
σ_{eb}	: Yalnız aksenal basınç kuvveti etkimesi halinde hesaplanan gerilme
σ_{bem}	: Yalnız aksenal basınç kuvveti etkimesi halinde müsaade edilen gerilme
σ_{bx}	: Yalnız M_x eğilme momenti etkisinde hesaplanan basınç-eğilme başlığı gerilmesi
σ_{Bx}	: Yalnız M_x eğilme momenti etkisinde müsaade edilen basınç-eğilme başlığı gerilmesi
σ_{by}	: Yalnız M_y eğilme momenti etkisinde hesaplanan basınç-eğilme başlığı gerilmesi
σ_{By}	: Yalnız M_y eğilme momenti etkisi için müsaade edilen basınç-eğilme başlığı gerilmesi
σ'_{ex}	: x-x asal eksenini etrafındaki burkulmalar için hesaplanan gerilme
σ'_{ey}	: y-y asal eksenleri etrafındaki burkulmalar için hesaplanan gerilme

Kaynaklar

- [1] Glover, F., Heuristics for Integer Programming Using Surrogate Constraints, *Decision Sciences*, 8, 156-166, 1977.
- [2] Glover, F., Tabu Search-Part I, *ORSA Journal on Computing*, 1, 3, 190-206, 1989.
- [3] Glover, F., Tabu Search-Part II, *ORSA Journal on Computing*, 2, 1, 4-32, 1990.
- [4] Bland, J.A. and Dawson, G.P., *Tabu Search and Design Optimization, Computer- Aided Design*, 23, 3, 195-201, 1991.
- [5] Dell'Amico M. and Trubian M., Applying Tabu Search to the Job-Shop Scheduling Problem, *Annals of Operations Research*, 41, 231-252, 1993.
- [6] Mooney, E.L. and Rardin, R.L., Tabu Search for a Class of Scheduling Problems, *Annals of Operations Research*, 41, 253-278, 1993.
- [7] Blazewicz, J., Hawryluk, P. and Walkowiak, R., Using a Tabu Search Approach for Solving the Two-Dimensional Irregular Cutting Problems, *Annals of Operations Research*, 41, 313-325, 1993.
- [8] Eugenio, C., Fanni, A. and Giacinto, G., A Tabu Search Algorithm for the Optimisation of Telecommunication Networks, *European Journal of Operational Research*, 106, 2-3, 357-372, 1998.
- [9] Hu, N., Tabu Search Method with Random Moves for Globally Optimal Design, *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, 35, 1055-1070, 1992.
- [10] Dhingra, A.K. and Bennage, W.A., Discrete and Continuous Variable Structural Optimization Using Tabu Search, *Engineering Optimization*, 24, 177-196, 1995.
- [11] Bland, J.A., Discrete-Variable Optimal Structural Design Using Tabu Search, *Structural Optimization*, 10, 87-93, 1995.
- [12] Bennage W.A. and Dhingra, A.K., Optimization of Truss Topology Using Tabu Search, *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, 38, 4035-4052, 1995.
- [13] Bland, J.A., Structural Design Optimization with Reliability Constraints Using Tabu Search, *Engineering Optimization*, 30, 55-74, 1998.
- [14] Bland, J.A., A Memory-Based Technique for Optimal Structural Design, *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 11, 3, 319-325, 1998.
- [15] Manoharan, S. and Shanmuganathan, S., A Comparison of Search Mechanisms for Structural Optimization, *Computers & Structures*, 73, 1-5, 363-372, 1999.
- [16] Glover, F. and Laguna M., Tabu Search, In: Colin R. Reeves (editor), *Modern heuristic techniques for combinatorial problems*, Blackwell Scientific Publications, Osney Mead, Oxford, 70-150, 1992.
- [17] Glover, F. and Laguna M., *Tabu Search*, Kluwer Academic Publishers, Massachusetts, 382p., 1997.
- [18] Jenkins, W.M., Towards Structural Optimization via the Genetic Algorithm, *Computers & Structures*, 40, 5, 1321-1327, 1991.
- [19] Rajeev, S. and Krishnamoorthy C.S., Discrete Optimization of Structures Using Genetic Algorithms, *Journal of Structural Engineering, ASCE*, 118, 5, 1233-1250, 1992.
- [20] Daloğlu, A. ve Armutçu, M., Genetik Algoritma ile Düzlem Çelik Çerçevelerin Optimum Tasarımı, *İMO Teknik Dergi*, 9, 2, 1601-1615, 1998.

- [21] Camp, C., Pezeshk, S. and Cao, G., Optimized Design of Two-Dimensional Structures Using a Genetic Algorithm, Journal of Structural Engineering, ASCE, 124, 5, 551-559, 1998.
- [22] Erbatur, F., Hasançebi, O., Tütüncü, İ. and Kılıç, H., Optimal Design of Planar and Space Structures with Genetic Algorithms, Computers & Structures, 75, 2, 209-224, 2000.
- [23] Hayalioğlu, M.S., Optimum Load And Resistance Factor Design of Steel Space Frames Using Genetic Algorithm, Structural and Multidisciplinary Optimization, 21, 4, 292-299, 2001.
- [24] Kameshki, E.S. and Saka M.P., Optimum Design of Nonlinear Steel Frames with Semi-Rigid Connections Using A Genetic Algorithms, Computers & Structures, 79, 17, 1593-1604, 2001.
- [25] Hayalioğlu, M.S. and Değertekin, S.Ö., Design of Non-Linear Steel Frames for Stress and Displacement Constraints with Semi-Rigid Connections via Genetic Optimization, Structural and Multidisciplinary Optimization, 27, 4, 259-271, 2004.
- [26] Syswerda, G., Uniform Crossover in Genetic Algorithms, Schaffer, J. (editor), Proceedings of the third International conference on genetic algorithms, 2-9, Los Altos, CA, Morgan Kaufmann Publishers, 1989.
- [27] Çelik Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları TS 648, Ankara, 1980.
- [28] Dumonteil, P., Simple Equations for Effective Length Factors, Engineering Journal, AISC, 3, 111-115, 1992.
- [29] Levy, R. and Spillers, W.R., Analysis of Geometrically Nonlinear Structures, Chapman and Hall, New York, 1994.
- [30] Oran, C., Tangent Stiffness in Plane Frames, Journal of the Structural Division, 99, ST6, 973-985, 1973.
- [31] Goldberg, D.E., Genetic Algorithms in Search Optimization and Machine Learning, Reading, Massachusetts, Addison-Wesley, 1989.
- [32] American Institute of Steel Construction, Manual Of Steel Construction-Allowable Stress Design, Chicago, 1989.
- [33] Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri TS 498, Ankara, 1997.
- [34] Değertekin, S.O., Lineer Olmayan Uzay Çelik Çerçevelerin Tabu Arama Yöntemiyle Optimum Tasarımı, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2005.