



KAFES SİSTEMLERİN UYGULAMAYA YÖNELİK OPTİMUM TASARIMI

Ayşe DALOĞLU, Zekeriya AYDIN

Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Trabzon

ÖZET

Bu çalışmada, yapıların optimizasyonu için ayrık tasarım değişkenleri kullanarak sonuca giden genetik algoritma yöntemi düzlem kafes sistemlere uygulanmıştır. Çalışmada deplasman, gerilme ve burkulma sınırlayıcıları dikkate alınmıştır. Bu amaçla geliştirilen bilgisayar programı FORTRAN dilinde kodlanmıştır. Pratikte yaygın olarak kullanılan çeşitli çatı makaslarının minimum ağırlıklı boyutlandırılması gerçekleştirilmiştir. Son olarak deneme yanılıya dayalı olarak bir geometrik optimizasyonu örneği verilmiştir.

Anahtar Kelimeler : Optimizasyon, Genetik algoritma, Ayrık tasarım değişkenleri

ABSTRACT

OPTIMUM DESIGN OF TRUSSES FOR PRACTICAL APPLICATIONS

In this study, a simple genetic algorithm for optimising structural systems with discrete design variables are used for the optimum design of plane trusses. Displacement, stress and stability constraints are considered. A computer programme is developed and coded in FORTRAN language for the purpose. Algorithm presented is used to obtain the optimum designs of the different practically employed roof trusses. Finally an optimum geometry design is performed to find out the optimum roof slope by trial and error.

Key Words : Optimising, Genetic algorithm, Discrete design variables

1. GİRİŞ

Çağımızda yapıların en ekonomik biçim ve boyutlarda projelendirilmesi, yapı mühendisliğinin önemli amaçlarından biri olmuştur.

Yapıların optimum soyutlandırması üzerine birçok metod geliştirilmiştir. Bunların hepsi optimum çözüme ulaşmak üzere matematik programlama tekniklerini kullanmaktadırlar. Yöntemlerin çoğu tasarım değişkenlerinin sürekli olduğunu kabul etmektedir, fakat bu her zaman doğru değildir. Pratikte çoğu mühendislik probleminde, tasarım değişkenleri ayrıktır. Bu, yapısal elemanların standart boyutlarda üretilmesinden ve pratikteki yapım ve üretimdeki sınırlamalardan kaynaklanmaktadır. Bundan dolayı ayrık tasarım

değişkenlerinin kullanıldığı optimizasyon işlemleri diğerlerine kıyasla daha gerçekçidir.

Düzlem ve uzay kafes sistemlerin optimizasyonu (Goldberg, 1989) tarafından geliştirilen genetik algoritma ile (Rajaev and Krishnamoorthy, 1992, 1997) tarafından yapılmıştır. Bu çalışmaların ilkinde basınç çubukları için stabilite sınırlayıcıları dikkate alınmamıştır. İkinci çalışmalarında basınç çubuklarındaki gerilme Euler gerilmesi ile karşılaştırılmıştır. Rajan (1995), genetik algoritmayı kafes sistemlerin boyut ve şekil optimizasyonu için kullanmıştır Saka (1991) genetik algoritma ile ızgara sistemlerin hem boyut hem şekil optimizasyonunu gerçekleştirmiştir Jenkins (1991, 1992), genetik algoritmayı kafes elemanlardan oluşan yapıların optimum tasarımı probleminde uygulamıştır.

Ramasamy and Rajasekaran (1996), genetik algoritmayı endüstri yapılarının optimizasyonuna uygulamış ve karşılaştırmalar yapmıştır.

Bu çalışmada yapıların optimizasyonu için ayrık tasarım değişkenleri kullanılarak bir suni yaklaşım ile sonuca giden genetik algoritma yöntemi çelik düzlem kafes sistemlere uygulanmıştır. Çelik yapılarda kesitler küçük olduğundan, narinlik ön plana çıkmaktadır. Dolayısıyla çalışmada stabilize durumu Anon. (1980)'e uygun olarak incelenmiştir.

2. GENETİK ALGORİTMA İLE YAPILARIN OPTİMUM TASARIMI

Genetik algoritmalar optimizasyonu probleminin çözümünde kullanılan ve biyolojik organizmaların genetik süreçleri ele alınarak modelleşmiş yöntemlerdir. Bu çalışmada kopyalama ve çaprazlama operatörlerinden ibaret olan basit genetik algoritma kullanılmıştır. Özellikle değişkenlerin ayrık olduğu durumlarda genetik algoritmalar etkin bir biçimde kullanılırlar. Bunu başarmak için öncelikle bir başlangıç nesli belirlenir. Bu her bir bireyin ikilik sistemde kodlanıp bir araya getirilmesiyle gerçekleştirilir. Bu bireyler suni kromozomlar olarak da adlandırılırlar ve sonlu sayılarda diziden oluşurlar. Dizideki her bir karakter bir suni geni temsil eder ki bu ya "0" ya da "1"dir. Her bir dizayn değişkeni ikilik kodlanma sisteminde set içindeki sıra numarasını temsil eder. Örneğin, tasarım probleminde eğer iki değişken varsa ve değişkenler için mümkün olabilecek sekiz ayrık değer mevcutsa, bu değerlerin sıra numaraları ikilik sistemde, 000 \Rightarrow 1, 001 \Rightarrow 2,..., 111 \Rightarrow 8 şeklinde üçlü diziler halinde temsil edilir. Eğer bir birey başlangıçtaki nesilden oluşturulacaksa setten iki değer rastgele seçilir. Örneğin, 3. ve 7. değer setten seçilsin ve birinci ve ikinci değişkenler olarak adapte edilsin. Buna göre birey, üçüncünün "010" ile yedincinin "110" bir araya getirilmesiyle "010,110" şeklinde oluşturulur.

Kopyalama operatörü genetik algoritmada uyumu en yüksek olan bireyin daha uzun ömürlü olmasını sağlar. Etkili bir kopyalama işlemi yapmanın bir kaç yolu vardır. Bu işlemi basitçe yapmanın yollarından biri, her bir dizinin seçimini uyum derecesiyle orantılı olarak yapmaktır. Böylece etkin bir şekilde yapılan kopyalama işleminde, uyumu yüksek olan bireylerin bir sonraki genetik algoritma işleminde seçilme şansları daha yüksek olacaktır.

Çaprazlama, bir yeniden birleştirme işlemidir ve üç adımda gerçekleşir. Önce oluşan nesiller arasından ikişer ikişer bireyler seçilir. Daha sonra bu ikişer

ikişer seçilen bireylerin kromozomları arasında çaprazlama yapmak üzere rasgele bir konum belirlenir. Son olarak belirlenen konumdaki genetik bilgiler değiştirilerek çaprazlama işlemi tamamlanır.

Örneğin eşlenecek olan çiftler

A = 11111 ve B = 00000 olsun.

Eğer rasgele seçilen çaprazlama konumu 2 ile 4 ise, buna göre çaprazlama işleminden sonra yeni dizi

A' = 11001 ve B' = 00110 olacaktır.

Böylece her iki bireyden gelen genler birleşerek daha iyi bir kromozom ve dolayısıyla daha iyi bir birey ortaya çıkarma şansına sahip olacaklardır. A' ve B' dizileri A ve B dizilerinin ürünleri yani çocuklarıdır ve bir sonraki nesilde yeni bireyler olarak yer alacaklardır.

2. 1. Optimum Tasarım Problemi

Düzlem kafes sistemlerin optimum dizayn problemi aşağıdaki gibi tanımlanabilir.

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

W(x) amaç fonksiyonunu, aşağıdaki sınırlayıcılar altında minimize etmektedir.

$$\delta_j \leq \bar{\delta}_j \quad j = 1, \dots, p \quad (2.a)$$

$$\sigma_{ei} < \sigma_{em,i} \quad i = 1, \dots, nm \quad (2.b)$$

Burada;

- A_k : k grubuna ait elemanların kesit alanları,
- ρ_i, L_i : i inci çubuğun yoğunluğu ve boyu,
- ng : sistemdeki toplam grup sayısı,
- δ_j : 1 inci yükleme durumu için j inci noktanın deplasmanı,
- $\bar{\delta}_j$: 1 inci yükleme durumu için j inci noktanın deplasmanının üst sınırı,
- p : sınırlanmış deplasman sayısı,
- σ_{ei} : i inci elemanda 1 inci yükleme durumu için hesaplanan aksenal kuvvet etkisi altında basınç gerilmesi,
- $\sigma_{em,i}$: i inci eleman için emniyet gerilmesi,
- nm : kafesteki eleman sayısı,

Burada bütün sınırlayıcılar direkt olarak tasarım değişkenleri cinsinden ifade edilmektedir. Yani elde edilebilmeleri sistemin analizini gerektirmektedir. Problem bir sınırlayıcı optimizasyonu problemi olmasına karşı, problemi genetik algoritmayı kullanarak çözmek için, bunu sınırlayıcısız optimizasyonu problemine dönüştürmek gerekmektedir. Dönüşüm işlemi için normaliz edilen sınırlayıcıların ihlal edilmesi esasına dayanan bir formülasyon verilecektir (Rajaev ve Krishnamoorthy, 1992, 1997).

Kafes sistemlerdeki elemanlar basınç veya çekme olmak üzere eksenel yükün etkisi altındadırlar. Eksenel burkulma etkilerinin emniyet gerilmeleri yöntemine göre hesaplandığı TS 648'de verilen formüller yardımıyla basınç çubukları için gerilme sınırlayıcıları hesaplanabilmektedir. Çekmeye çalışan çubuklarda gerilme, çekme emniyet gerilmesi ile karşılaştırılmaktadır. Basınca maruz bir çubuğun basınç emniyet gerilmesi, çubuğun narinliğine bağlıdır. Çubuğun narinliği, plastik narinlik sınırı, λ_p , ile karşılaştırılarak aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$\lambda_p = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{\sigma_a}} \quad (3)$$

$\lambda > \lambda_p$ için burkulma elastik bölgede gerçekleşir ve basınç emniyet gerilmesi

$$\sigma_{bem} = \frac{2\pi^2 E}{5\lambda^2} \quad (4)$$

şeklinde hesaplanır.

$\lambda < \lambda_p$ için burkulma plastik bölgede gerçekleşir ve basınç emniyet gerilmesi

$$\sigma_{bem} = \frac{\left[1 - \frac{1}{2} \left(\frac{\lambda}{\lambda_p} \right)^2 \right] \sigma_a}{n} \quad (5)$$

şeklinde hesaplanır. Burada

$$n = 1,5 + 1,2 \left(\frac{\lambda}{\lambda_p} \right) - 0,2 \left(\frac{\lambda}{\lambda_p} \right)^2 \quad (6)$$

olarak ifade edilir.

Bir basınç çubuğundaki kabul edilebilir kritik gerilme narinlik oranının bir fonksiyonudur. Dolayısıyla kesitin atalet yarıçapına bağlıdır. Her bir tasarım adımında kesit alanı değişeceğine göre, basınç emniyet gerilmesi de her adımda değişecektir. Bu formüllerde λ elemanın narinlik oranını göstermek üzere,

$$\lambda_x = \frac{Sk_x}{i_x} \quad (7.a)$$

$$\lambda_y = \frac{Sk_y}{i_y} \quad (7.b)$$

değerlerinden büyüğüdür. λ_x ve λ_y çubuğun x ve y yönüne göre narinlik oranlarıdır. Sk_x ve Sk_y çubuğun x - x ve y - y asal eksenlerine dik düzlemlerdeki burkulma boylarıdır ve çubuğun mesnetleşme şartlarına göre hesaplanır (Anon, 1980).

1. 2. Optimum Tasarım Algoritması

Genetik algoritmaların sınırlayıcısız optimizasyonu yöntemleri olduğu daha önce belirtilmişti. Bu nedenle daha önce açıklanan sınırlayıcı problemi, sınırlayıcısız bir probleme dönüştürmek gerekmektedir. Sınırlayıcıların normaliz edilmiş formları aşağıdaki gibi formüle edilebilir.

Deplasman sınırlayıcıları,

$$g_j(x) = \frac{\delta_j}{\delta_{ju}} - 1 \leq 0 \quad j = 1, 2, \dots, p \quad (8)$$

şeklinde yazılabilir. Burada δ_j j noktasının deplasmanı, δ_{ju} ise ilgili deplasmanın alabileceği üst sınırdır. Gerilme sınırlayıcıları, çekme çubukları için

$$g_i(x) = \frac{\sigma_e}{\sigma_{em}} - 1 \leq 0 \quad i = 1, \dots, nm \quad (9.a)$$

şeklinde yazılabilir. Burada σ_e çubuktaki çekme gerilmesi, σ_{em} ise çekme emniyet gerilmesidir ve TS 648'e göre, σ_a akma gerilmesini göstermek üzere $0.6\sigma_a$ ile hesaplanmaktadır. Basınç çubukları için ise ifade

$$g_i(x) = \frac{\sigma_{eb,i}}{\sigma_{bem,i}} - 1 \leq 0 \quad i = 1, \dots, nm \quad (9.b)$$

olarak yazılabilir. Burada σ_{eb} basınç çubuğundaki gerilme, σ_{bem} ise çubuğun narınlığına bağlı olarak hesaplanan basınç emniyet gerilmesidir. Böylece sınırlayıcısız fonksiyon $\phi(x)$ şöyle ifade edilebilir,

$$\phi(x) = W(x) \cdot \left[1 + P \cdot \sum_{j=1}^m c_j \right] \quad (10)$$

$$C = \sum_{j=1}^m c_j \quad (11)$$

ise

$$\phi(x) = W(x) \cdot [1 + P \cdot C]$$

şeklinde yazılabilir.

Burada,

- $W(x)$: (1)'de verilen amaç fonksiyonu,
 P : Probleme bağlı olarak seçilen bir sabittir ve bu çalışmada 10 alınmıştır (Jenkins, 1991a).
 c_i : İhlal edilme katsayısıdır ve aşağıdaki gibi hesaplanır.

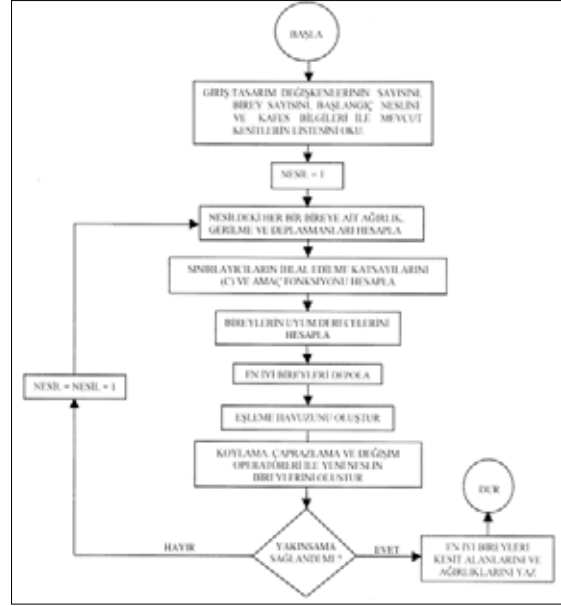
$$\begin{aligned} \text{Eğer } g_i(x) > 0 & \text{ ise } c_i = g_i(x) \\ \text{Eğer } g_i(x) \leq 0 & \text{ ise } c_i = 0 \end{aligned}$$

Burada i 'den başlayarak toplam sınırlayıcı sayısına kadar değişir. $\phi(x)$, bir sınırlayıcısız fonksiyondur ve minimumu genetik algoritma tarafından elde edilmektedir. Daha önce de açıklandığı gibi bu yöntem bireyler arasında seçim yapabilmek için bir kriterin kullanımını gerektirir. Bu kriter en iyi bireyin uyum derecesinin maksimum olacağı şekilde seçilir. Bu ifade,

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

şeklinde seçilebilir. Burada F_i , i bireyinin uyum derecesi, $\phi(x)_{\max}$ ve $\phi(x)_{\min}$ bütün bireylerden oluşan nesil içinde sınırlayıcısız (10) ifadesinin maksimum ve minimum değeridir. Her bir bireyin uyum faktörü ise F_i / Fort ile hesaplanır. Burada $\text{Fort} = \sum F_i / n$ dir. n ise nesildeki toplam birey sayısıdır. Bu oran ile her bir bireyin yok edilmesine veya bir sonraki adım için eşleme havuzuna kopyalanmasına karar verilmektedir. Eğer oran 0.5' den küçükse birey yok olur, yok eğer 0.5' den büyük ise kopyalanmak üzere eşleme havuzuna gider. Eşleme havuzu oluşturulduktan sonra kopyalama ve çaprazlama operatörleri daha önce açıklandığı şekilde gerçekleştirilir. Yukarıda açıklanan işlemi düzlem kafes sistemlere uygulamak üzere akış

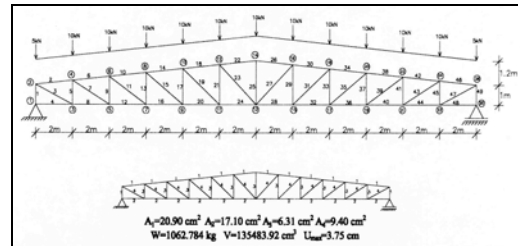
diyagramı aşağıda verilen bilgisayar programı FORTRAN dilinde kodlanmıştır (Şekil 1).



Şekil 1. Genetik algoritma akış diyagramı

3. ÇATI MAKASLARININ MİNİMUM AĞIRLIKLILIK BOYUTLANDIRILMASI

Çalışmada sunulan algoritma Şekil 2-a, b, c'de görülen ve pratikte yaygın olarak kullanılan çeşitli çatı makaslarına uygulanmıştır. Boyutlar, elemanların gruplaşması ve yüklemeye yine ilgili şekillerde görülmektedir. Elemanlar için $E = 210 \text{ kN/mm}^2$ ve $\sigma_a = 240 \text{ N/mm}^2$ olarak alınmıştır. Bu örneklerde 1. ve 2. gruplar T profillerinden, dikme ve diyagonallerden oluşan 3. ve 4. gruplar ise T profili ve/veya eşit kollu L çeliğinden seçilecektir. Mümkün olabilecek örnek kesitler TS 911 ve TS 908 den alınmıştır. Şekil 4'de görülen kafeslerde çatı eğimi 5° alınmış ve tepe noktasının düşey yer değiştirmesi 5 cm olarak sınırlandırılmıştır. İlk olarak Şekil 2.a'da görülen kafesin optimum tasarımı gerçekleştirilmiş ve 9 iterasyondan sonra yakınsama elde edilmiştir.

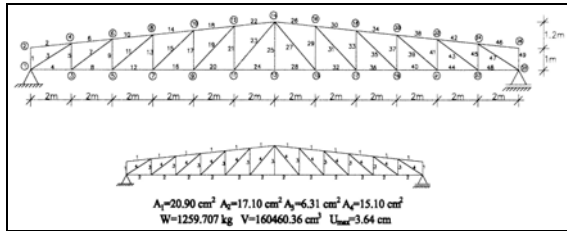


Şekil 2. (a)'nolu kafes sistemi

Tepe noktasının maksimum düşey yer değiştirmesi 3.75 cm olarak elde edilmiştir. Buradan, çözümden gerilme ve stabilite sınırlayıcılarının aktif rol oynadığı anlaşılmaktadır. Elde edilen optimum kesit alanları yine şekilde gösterilmiştir. Optimum tasarım sonucunda yapının toplam ağırlığı ve hacmi sırasıyla $W = 10.62784 \text{ kN}$, $V = 135483.92 \text{ cm}^3$ olarak gerçekleşmiştir.

Kesit alanlarına bir alt sınır getirilmeden program tekrar koşurulmuş ve şu kesitler elde edilmiştir. $A_1 = 20.90 \text{ cm}^2$, $A_2 = 13.60 \text{ cm}^2$, $A_3 = 6.91 \text{ cm}^2$, $A_4 = 9.40 \text{ cm}^2$ bunlar sırasıyla T100, T80, L60.6 ve L70.7'dir. Bu kesitlerle yapının ağırlığı $W = 10.06 \text{ kN}$ olmuştur. Bu sonuçlar matematiksel olarak geçerli olmasına rağmen, pratik açıdan geçerli değildir. Çünkü uygulama yönünden T80 profilinin çelik yapılarda kullanılması mümkün olmamaktadır.

İkinci olarak Şekil 2.b'de görülmekte olan çatı makasının optimum tasarımı gerçekleştirilmiştir. 16 iterasyondan sonra yakınsama sağlanmış ve elde edilen sonuçlar Şekil 2.b'de gösterilmiştir. Yapının toplam ağırlığı $W = 1259.707 \text{ kg}$, maksimum deplasman 3.64 cm olarak elde edilmiştir. Kesit alanlarına bir alt sınır verilmediği durumda kesit alanları $A_1 = 20.90 \text{ cm}^2$, $A_2 = 13.60 \text{ cm}^2$, $A_3 = 6.31 \text{ cm}^2$ ve $A_4 = 15.10 \text{ cm}^2$ olarak elde edilmiştir. Burada yine ikinci grup için elde edilen alana karşılık gelen profil T80'dir ve çelik yapılarda uygulama yönünden uygun değildir. Bu nedenle pratik olarak geçerli bir çözüm olmamaktadır. Bu nedenle pratik olarak geçerli bir çözüm olmamaktadır. Bu durumda ağırlık $W = 11.95 \text{ kN}$ olmuş ve maksimum deplasman 4.17 cm olarak elde edilmiştir.

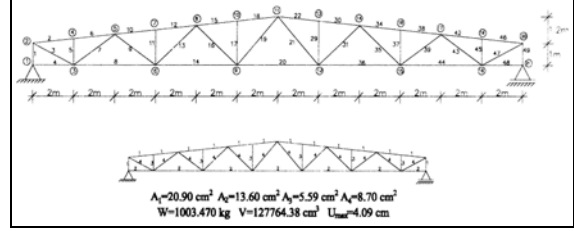


Şekil 2. (b)'nolu kafes sistemi

Daha sonra Şekil 2.c'de görülen kafes sistemin optimum tasarımı gerçekleştirilmiştir. Bu sisteme ait bilgiler ve sonuçlar yine ilgili şekilde gösterilmektedir. Şekilde görüldüğü gibi toplam ağırlık $W = 10.80 \text{ kN}$ olarak gerçekleşmiştir ve tepe noktasının düşey yer değiştirmesi 3.3 cm olarak bulunmuştur. Bu örnekler arasında bir karşılaştırma yapıldığında Şekil 2.a'daki sistemin diğerlerine oranla biraz daha hafif olduğu görülmektedir.

Ancak Şekil 2.c'de sistem biraz daha ağır olmasına rağmen düğüm noktası ve çubuk sayısı daha azdır.

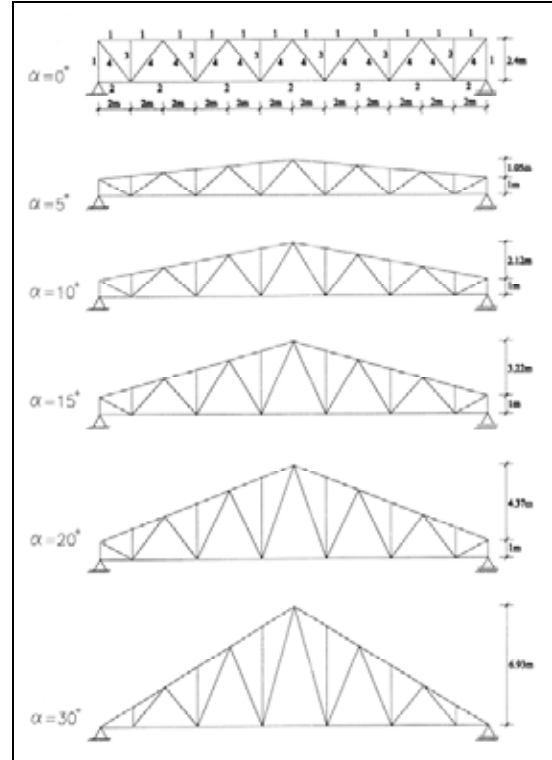
Bu nedenle diğerlerine oranla inşa edilmesi daha kolay ve ucuz bir sistem olduğu söylenebilir.



Şekil 2. (c)'nolu kafes sistemi

4. GENETİK ALGORİTMA İLE OPTİMUM GEOMETRİ TASARIMI

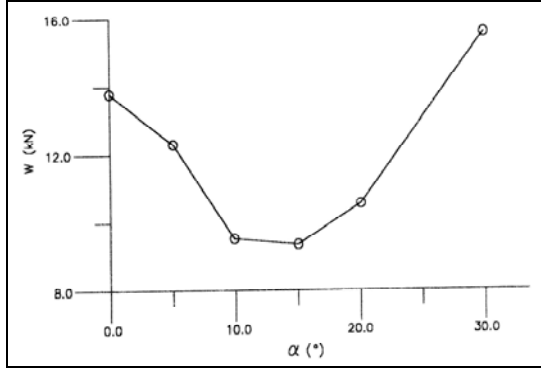
Bu bölümde, kafes sistemin topolojisine karar verildikten sonra, sistemin geometrisinin değişimiyle ağırlığında bir azalma olup olmayacağı incelenmektedir. Bu işe seçilen kafesin üst başlığının eğimi değiştirilerek görülebilir. Bu uygulama için düzlem kafes sistemden oluşan bir çatı örneği (Şekil 3) seçilmiştir. Yükleme durumu ile sınırlayıcılar Şekil 2 ile aynıdır.



Şekil 3. Topoloji aynı üst başlık eğimi farklı 6 kafes sistemi

Çatı eğimi, α 'nın farklı değerleri için kafes sistemin optimum tasarımı genetik algoritma ile gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla çatı eğimi 0° , 5° , 10° ,

15°, 20° ve 30° olarak alınmış ve kafes sistem, bu 6 farklı üst başlık eğimi için, genetik algoritma kullanılarak, minimum ağırlıklı olarak soyutlandırılmıştır. Elde edilen sonuçlar Tablo 1'de görülmektedir. Ayrıca kafes ağırlığının, çatı eğimine bağlı olarak değişimi Şekil 4'de grafik olarak gösterilmiştir. Sonuçlar 15, 20 iterasyondan sonra elde edilmektedir.



Şekil 4. Çatı eğimine bağlı olarak ağırlığının değişimi

Tablo 1. Çatı Eğimine Bağlı Olarak Tasarım Değişkenlerinin Optimum Değeri

Çatı eğimi (α°)	A_1 (mm^2)	A_2 (mm^2)	A_3 (mm^2)	A_4 (mm^2)	Ağırlık (kN)
0	20.90	10.60	7.94	20.90	13.7654
5	29.60	13.60	5.66	13.60	12.8784
10	17.10	10.60	7.94	10.6	9.4746
15	17.10	7.94	4.67	2.26	9.3415
20	17.10	7.94	4.67	4.67	10.6914
30	17.10	7.94	17.10	20.90	15.6676

5. SONUÇLAR

Yapay bir genetik yaklaşıma dayanan genetik algoritma, ayrık tasarım değişkenlerinin kullanıldığı problemler için oldukça uygundur. Genetik algoritmada, optimum çözüme ulaşmak için gerekli iterasyon sayısının optimumluk kriterine oranla daha fazla olduğu görülmüştür. Genetik algoritma ile en optimum çözüme ulaşma garantisi olmamasına karşın, elde edilen sonuçlar pratikteki uygulamalar için kabul edilebilir olmaktadır. Genetik algoritmanın kullanımında sınırlayıcıların standartlarda belirtildiği şekilde işleme konulacağı ve kesit alanlarının pratikte var olan standart kesitlerden seçilebileceği ortaya konulmuştur. Çalışmada deneme yanılıya dayanan bir geometrik optimizasyon örneği sunulmuştur. Bu örnekte de görüldüğü gibi çalışmanın, çatı eğimini de tasarım değişkeni olarak alınmasıyla optimum geometriyi de bulacak şekilde genişletilmesinin pratik açısından çok yararlı olacağı gösterilmiştir. Bu çalışmada TS 648'e bağlı kalınmıştır ve geliştirilen algoritma

Dolayısıyla Tablo 1'deki sonuçların elde edilebilmesi için oldukça fazla sayıda iterasyon yapılmıştır. Şekil 3'deki grafik incelendiğinde bu çatı için minimum ağırlığın, üst başlık eğiminin 10° ile 15° değerleri arasında olması durumunda elde edilebileceği sonucuna varmak mümkündür.

Bu sonuç ise Saka (1991) tarafından yapılan çalışmada elde edilen sonucu bir kez daha doğrulamaktadır. Sözü edilen çalışmada optimumluk kriteri yöntemi ile, düğüm noktalarının koordinatları da tasarım değişkeni olarak alınıp, aynı sistemler çözülmüş ve $\alpha = 13.5^\circ$ 'de bu yükleme durumu için minimum ağırlıklı kafes elde edileceği gösterilmiştir. Bu bölümde optimum çatı eğimi deneme yanılı ile görülmeye çalışılmıştır.

Çalışmanın, çatı eğimini de tasarım değişkeni olarak alınıp, optimum geometriyi de bulacak şekilde genişletilmesi çok yararlı olacaktır.

hiçbir değişiklik yapılmaksızın uygulamada kullanılabilir durumdadır.

6. KAYNAKLAR

Goldberg, D. E. 1989. Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning, Addison-Wesley Publishing Co., Inc., Reading, Mass.

Anonymous, 1980. Çelik Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları TS 648, Ankara.

Jenkins, W. M. 1991. Structural Optimization with the Genetic Algorithm, Journal of Structural Engineering, (60), 24, December.

Jenkins, W. M. 1991a. Towards Structural Optimization Via the Genetic Algorithm, Journal Computers and Structures, Vol.40/5.

Jenkins, W. M. 1992. Plane Frame Optimum Design Environment Basedon Genetic Algorithm, *Journal of Structural Engineering*, (118), 11, November.

Rajaev, S. and Krishnamoorthy, C. S. 1992. Genetic Algorithms, *Journal of Structural Engineering*, (118), 5. May.

Rajaev, S. and Krishnamoorthy, C. S. 1997. Genetic Algorithms Based Methodologies for Design Optimization of Structural Engineering, (123), 3, March.

Rajan, S. D. 1995. Sizing, Shape and Topology Design Optimization of Trusses Using Genetic Algorithm, *ASCE Journal of Structural Engineering*,

(121), 10, Oct.

Ramasamy, J. V. and Rajasekaran, S. 1996. Artificial Nevral Network and Genetic Algorithm for the Design Optimization of Industrial Roofs - A Comporision, *Computers & Structures*, 58 (54), 747-755.

Saka, M. P. 1991. Optimum Geometry Design of Roof Trusses by Optimality Criteria Method, *Comp. and Struc.* 38 (1), 83-92.