

ÇELİK SİSTEMLERİN GENETİK ALGORİTMA İLE DİNAMİK SINIRLAYICILI OPTİMİZASYONU

Musa ARTAR^{1*}, Ayşe DALOĞLU²

¹ İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Bayburt Üniversitesi, Bayburt, Türkiye

² İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, Türkiye

ÖZET

Genetik algoritma geleneksel sınırlayıcılar yanında dinamik sınırlayıcılar da ilave edilerek çelik sistemlerin optimizasyonu için kullanılmıştır. Biyolojik organizmaların genetik süreçlerini esas alan genetik algoritma ile optimizasyonda kopyalama, çift noktali çaprazlama ve mutasyon operatörleri dikkate alınmıştır. Yapı sistemlerinin analizleri için TS 648'de yer alan tasarım koşulları kullanılmıştır. Optimizasyon işlemi ilk olarak maksimum kabul edilebilir gerilme, maksimum kabul edilebilir yer değiştirme ve otomatik olarak minimum kesit alanı sınırlayıcıları ile gerçekleştirilmiştir. Daha sonra sisteme ait 1.doğal periyot için belirli bir sınır değeri sınırlayıcı olarak probleme dahil edilmiştir. Bu amaçla MATLAB'da bir program kodlanmış ve elde edilen sonuçlar SAP2000 programı yardımıyla doğrulanmıştır. Ayrık tasarım değişkenleri kullanılarak optimizasyona olanak tanıyan genetik algoritma ile elde edilen sonuçların pratik olarak uygulanabilir olduğu bir kez daha gösterilmiştir. Geliştirilen bilgisayar programı çelik yapıların tasarımı ve boyutlandırılması için ülkemizde halen yürürlükte olan TS 648'deki tasarım kriterlerine göre hazırlanmıştır ancak diğer yapı standartlarına uyarlanabilmesi oldukça kolaydır.

Anahtar kelimeler: Genetik algoritma, optimizasyon, çelik yapılar, dinamik sınırlayıcı

OPTIMIZATION OF STEEL SYSTEMS USING GENETIC ALGORITHM INCLUDING DYNAMIC CONSTRAINTS

ABSTRACT

Genetic algorithm was used for the optimization of steel systems adding the dynamic constraints besides traditional constraints in the optimization process. Reproduction, double-point crossover and mutation operators are taken into consideration in the optimization process with genetic algorithm that mimic the genetic processes of biological organisms. The design rules given in TS 648 were used for the analysis of structural systems. Maximum allowable stress, maximum allowable displacement and, automatically, minimum cross-sectional area were incorporated as constraints in the optimization process at first. Then a certain limiting value for the first natural period of the system was added to the optimization process as dynamic constraint. A program was coded in MATLAB for this purpose and results were verified with SAP2000. The applicability of results obtained with optimization of genetic algorithm by using discrete design variables was shown once again. Although the computer program was developed obeying the rules in Building Code for Steel Structures, TS 648, it can easily be adapted to other codes.

Keywords: Steel structures, genetic algorithm, optimization, dynamic constraints

* Corresponding author. E-mail: martar@bayburt.edu.tr

1. GİRİŞ

Yapı elemanlarının minimum sarfiyatıyla yapının modellenmesi gelişen dünyada ve ham maddenin her geçen gün değer kazandığı günümüzde temel hedeflerden biridir. Bununla birlikte, tasarlanan yapıların davranışlarının kabul edilebilir sınırlar içerisinde kalması gerekmektedir. Böylece, yapıya etkiyen yüklere gerekli tasarım koşullarını sağlayarak dayanan ve en ekonomik olan bir yapının belirlenmesi durumu, optimum boyutlandırma olarak ifade edilir. Bunun için oldukça fazla dögüsel ve matematiksel analizler yapılması gerekebilmektedir. Bu analizlerin bilgisayar yardımıyla yapılabilmesi oldukça kolaylık sağlamaktadır. Ayrıca bu matematiksel analizlerin yapılabilmesi için birçok yöntem mevcuttur. Genetik algoritma (GA) bunlardan biri olup biyolojik organizmaların doğal prosedürlerini esas almaktadır. Ayrık tasarım değişkenleriyle çalışmaya olanak sağlaması nedeniyle genetik algoritmalar çelik yapıların optimizasyonu için çok elverişli olmaktadır. Burada uygulanan genetik algoritmada kopyalama, çaprazlama ve mutasyon operatörleri yer almaktadır. Genetik algoritma yönteminde, bu operatörler kullanılarak popülasyonun bir sonraki iterasyon adımında daha sağlıklı (uygun) bir nesil olması amaçlanmaktadır.

Yapıların optimum tasarım problemlerine ayrık tasarım değişkenleri kullanılarak çözüm üreten tekniklerden biri olan GA, 1989 yılında Goldberg [1] tarafından geliştirilmiştir. GA son yıllarda birçok araştırmacı tarafından kullanılmıştır. 2001 yılında Deb ve Gulati [2] GA kullanarak kafes sistemli yapıların minimum ağırlıklı olacak şekilde tasarımını incelemiştir. Isenber ve diğ. 2002 [3], çok katlı çelik çerçeve sistemlerinin optimizasyonunu GA ile irdelemiştir. 2006 yılında Togan ve Daloğlu [4] GA'yı kullanarak üç boyutlu kafes sistemlerin şekil ve boyut optimizasyonu gerçekleştirmiştir. 2010 yılında Dede ve diğ. [5] 25, 72, 200 ve 940 çubuk elemanlı düzlem kafes sistemleri gruplandırılmalı olarak verilen kesit alternatifleri arasında çeşitli popülasyon sayılarına göre analiz ederek sistemin minimum ağırlığını bulmaya çalışmışlardır. Aminifar ve diğ. 2013, [6] 2D-10 çubuklu, ve 3D-25 ve 72 çubuklu kafes sistemleri ele almışlar ve elemanları gruplandırarak GA yöntemi ile optimum boyutlandırma yapmışlar ve elde ettikleri sonuçları önceki yapılmış çalışmalarla karşılaştırmışlardır.

Bu çalışmada, literatürde yapılmış çalışmaların genelinden ayrı olarak; geleneksel sınırlayıcılara dinamik sınırlayıcılar ilave edilmesi, sistem elemanlarının gerçek profiller arasından optimum boyutlandırılması ve ele alınan 2.örnekte ankastre mesnetlere oturan kafes sistemin boyutlandırılması gerçekleştirilmiştir.

2. GENETİK ALGORİTMA İLE YAPILARIN OPTİMUM TASARIMI

GA ile optimizasyonda bir başlangıç popülasyonu rastgele oluşturulur. İkilik sayı tabanı kullanılması durumunda kod zincirindeki her bir karakter "0" veya "1" dir. Kod zincirinin uzunluğu, problem çözümünde ele alınan farklı profil sayısına ve sistemin eleman sayısına bağlıdır. 8 farklı profil ikilik sayı tabanında, aşağıda görüldüğü üzere, 3 haneli kodlanabilir.

1. profil→000
2. profil→001
3. profil→010
4. profil→100
5. profil→011
6. profil→101
7. profil→110
8. profil→111

4 farklı gruptan oluşan bir sistem için $4 \times 3 = 12$ haneli kod zinciri sistem için yeterli olur. Bu durumda, 20 bireyden oluşan bir popülasyon için her bir kod zinciri 12 olan 20 adet kod zinciri ile analizler yürütülür.

Yukarıda belirtildiği üzere GA ile optimizasyon öncelikle başlangıç popülasyonun rastgele oluşturulması ile başlar. Daha sonra her bir bireye ait olan kod zincirleri çözülerek sistemdeki her bir değişken elemana karşılık gelen profil ile sistem sonlu elemanlar yöntemi ile analiz edilerek elemanlara ait gerilmeler ve düğüm

noktalarına ait de yer değiştirme değerleri bulunur. Bundan sonraki ikinci adım popülasyondaki her bir birey için bulunan bu değerlere göre bireylerin uygunluk değerinin belirlenmesidir.

2.1. Yapısal Optimizasyon Problemi

Yapısal optimizasyonda amaç genellikle yapının ağırlılığını minimum yapmaktır. Bu durumda amaç fonksiyonu aşağıdaki gibi gösterilmektedir [7].

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

Burada,

A_k : k grubuna ait elemanların kesit alanları,

ρ_i, L_i : i inci çubuğun yoğunluğu ve boyu,

ng : Sistemdeki toplam grup sayısı,

nm : Sistemdeki toplam eleman sayısıdır.

$W(A_k)$ amaç fonksiyonu, aşağıdaki sınırlayıcılar altında minimize edilmektedir [8].

$$\begin{aligned} \delta_j &\leq \bar{\delta}_j \\ \sigma_{ei} &< \sigma_{em,i} \end{aligned} \quad (2)$$

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,

σ_{ei} : i inci elemanda 1 inci yükleme durumu için hesaplanan eksenel kuvvet etkisi altındaki gerilmesi

$\sigma_{em,i}$: i inci eleman için emniyet gerilmesi

Eksenel çekme kuvveti taşıyan elemanlarda gerilme çekme emniyet gerilmesi ile kıyaslanır. Ancak eksenel basınç yükü taşıyan elemanlar için basınç emniyet gerilmesinin hesaplanmasında narinlik oranı göz önünde bulundurulmalıdır. TS648 deki kriterlere uygun olarak basınç emniyet gerilmesi hesaplanmaktadır. Yapı elemanına ait narinlik hesaplanır ve plastik narinlik değeri, λ_p ile karşılaştırılır.

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

Burada E çeliğin elastite modülünü ve σ_a akma gerilmesini göstermektedir.

- $\lambda > \lambda_p$ için burkulma elastik bölgede olup,

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

- $\lambda \leq \lambda_p$ için burkulma plastik bölgede olup,

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

$\lambda \leq \lambda_p$ için n değeri;

$$n = 1.5 + 1.2 \left(\frac{\lambda}{\lambda_p} \right) - 0.2 \left(\frac{\lambda}{\lambda_p} \right)^3 \quad (6)$$

$\lambda < 20$ için n değeri; $n=1,67$

alınarak aksel basınç emniyet gerilmesi, σ_{bem} değeri belirlenir. Yapı optimizasyonu probleminde ayrıca sınırlayıcılar bulunmaktadır [8].

- Deplasman sınırlayıcıları:

$$g_j = \frac{\delta_j}{\delta_{ju}} - 1 \leq 0 \quad j = 1, 2, \dots, p \quad (7)$$

δ_j : j noktasının deplasmanı,

δ_{ju} : İlgili deplasmanın alabileceği üst sınırdır.

p : Yer değiştirmesi sınırlanmış düğüm noktası sayısı

- Gerilme sınırlayıcıları:

Çekme çubukları için;

$$g_i = \frac{\sigma_e}{\sigma_{em}} - 1 \leq 0 \quad i = 1, 2, \dots, nm \quad (8)$$

Eksenel basınç çubukları için;

$$g_i = \frac{\sigma_{eb,i}}{\sigma_{bem,i}} - 1 \leq 0 \quad i = 1, 2, \dots, nm \quad (9)$$

σ_{eb} : Basınç çubuğundaki gerilme

σ_{bem} : Basınç çubuğunda narinliğine bağlı olarak hesaplanan basınç emniyet gerilmesi

Eksenel basınç ve eğilmeye çalışan çubuklar için[9];

$$g_i = \frac{\sigma_{eb,i}}{\sigma_{bem,i}} + \frac{C_{m,i}\sigma_{b,i}}{\left(1.0 - \frac{\sigma_{eb,i}}{\sigma_{e,i}}\right)\sigma_{B,i}} - 1 \leq 0 \quad i=1,2,\dots,nb \quad (10)$$

$$g_m = \frac{\sigma_{eb,m}}{0.6\sigma_a} + \frac{\sigma_{b,m}}{\sigma_{B,m}} - 1 \leq 0 \quad m=1,2,\dots,nb \quad (11)$$

eğer $\frac{\sigma_{eb,i}}{\sigma_{bem,i}} \leq 0.15$ ise

Yukarıdaki bağıntılar yerine

$$g_i = \frac{\sigma_{eb,i}}{\sigma_{bem,i}} + \frac{\sigma_{b,i}}{\sigma_{B,i}} - 1 \leq 0 \quad i=1,2,\dots,nb \quad (12)$$

kullanılmaktadır [9].

Yukarıdaki ifadelerde,

σ_{eb} : Hesap edilen aksenal basınç gerilmesi

σ_b : Hesap edilen eğilmeden gelen gerilmeler

σ_{bem} : Aksenal basınç emniyet gerilmesi

σ_B : Eğilme etkisindeki basınç emniyet gerilmesi

σ_e : Kritik burkulma gerilmesi

C_m : Uç ve açıklık momentleri ile yanal desteklemeyi göz önüne alan bir katsayı

nb : Hem aksenal basınca hem de eğilmeye çalışan çubuk sayısı

Yukarıda bahsedilen sınırlayıcılar bulunduktan sonra ceza fonksiyonu, C , aşağıda verilen bağıntı ile hesaplanmaktadır.

$$C = \sum_{i=1}^m c_i \quad (13)$$

Burada c_i sınırlayıcıların ihlal edilme katsayısı olup,

$$g_i(x) > 0 \quad \text{için } c_i = g_i(x),$$

$$g_i(x) \leq 0 \quad \text{için } c_i = 0,$$

olarak hesaplanır.

$$PC = P \sum_{i=1}^m c_i \quad (14)$$

Burada PC ceza fonksiyonu ve P fonksiyona bağlı olarak belirlenen sabit bir değer olup ceza fonksiyonun, sınırlayıcıların ve sistemin ağırlığının ne derece etkili olacağını belirlemede kullanılmaktadır [7]. Bu çalışmada sistemin minimum ağırlıkta tasarımı için P değeri olarak 10 alınmıştır [7,10].

Böylece cezalandırılmış amaç fonksiyonu, $\Phi(x)$, aşağıdaki gibi olmaktadır.

$$\phi(x) = W(1 + PC) \quad (15)$$

Buna göre popülasyondaki her birey için uygunluk bağıntısı (16) bağıntısı ile verilmektedir.

$$F_i = (\phi(x)_{\max} + \phi(x)_{\min}) - \phi(x)_i \quad (16)$$

Popülasyondaki her bireye ait uyum faktörü ise

$$F_{c,i} = F_i / F_{ort} \quad (17)$$

bağıntısı ile hesaplanır [11]. Burada F_{ort} uyum derecelerinin ortalamasıdır. Bağıntı (17) ile bulunan değer, 0,5'den küçük ise birey popülasyondan çıkarılır, eğer büyük ise kalır. Çıkarılan birey kadar en iyi uyum derecelerine sahip bireyler kopyalanır ve popülasyondaki birey sayısının sabit kalması sağlanır [8].

Kopyalama operatöründen sonra değişen nesil rastgele ikili eşleştirilerek çaprazlama operatörü uygulanır. Çaprazlama operatörü aritmetik çaprazlama, lineer çaprazlama, tek noktalı, çift noktalı, düzgün çaprazlama ve çok noktalı çaprazlama olmak üzere birçok türde uygulanabilir [7]. Bu çalışmada çift noktalı çaprazlama operatörü uygulanmıştır.

Kod zincir uzunluğu 12 haneli olan A ve B bireyi

A bireyi: 0 1 0 0 1 1 0 0 1 1 1 1

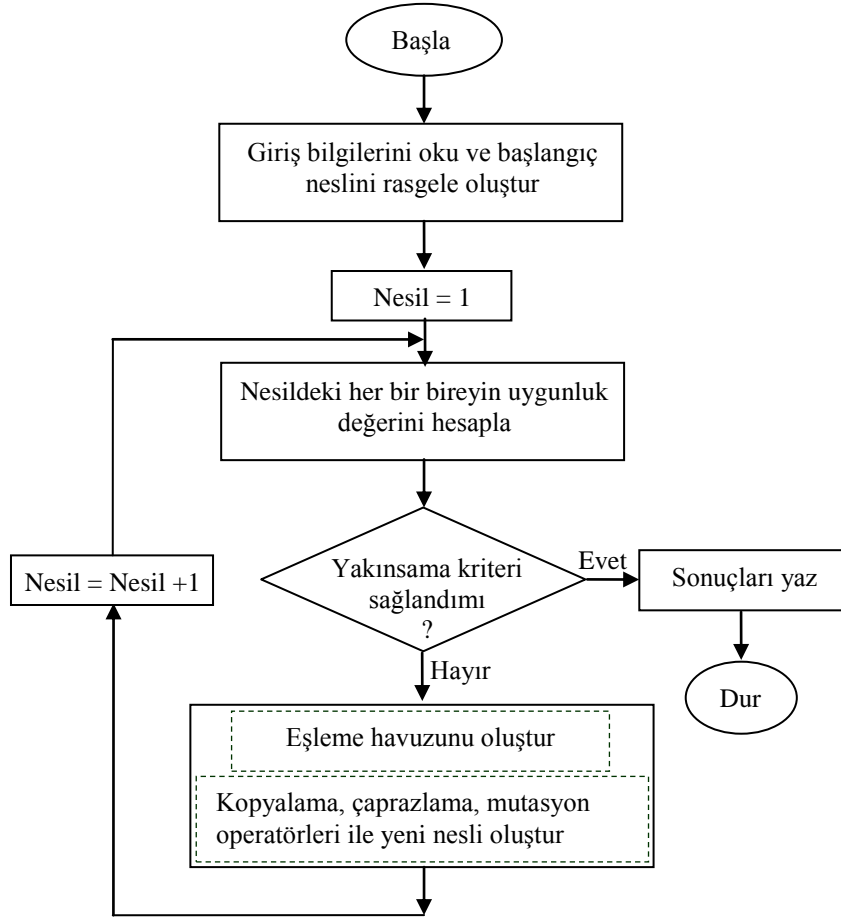


B bireyi: 1 1 0 1 1 0 0 1 1 0 1 0 ise, 3. ve 8. noktalar arasında yapılan çaprazlama işlemi sonrasında yeni bireyler;

A' bireyi: 0 1 0 1 1 0 0 1 1 1 1 1

B' bireyi: 1 1 0 0 1 1 0 0 1 0 1 0 şeklindedir.

Çaprazlama operatöründen sonraki işlem mutasyon işlemidir. Mutasyon operatörü popülasyondaki her yeni bireye önceden belirlenmiş bir olasılıkla uygulanır. Bu operatörle bireyden rastgele seçilen bir gen 0'dan 1'e veya 1'den 0'a değiştirilir. Bu operatörlerin uygulanması ile artık yeni popülasyon elde edilmiştir. İşlemlere belirlenen iterasyon sayısına veya belirlenen sonlandırma kriterlerinin sağlanmasına kadar tekrar edilir. Bu durumda popülasyondaki maksimum uygunluk değerine sahip bireylerle optimum çözüm elde edilir. Yukarıda bahsedilen adımları içeren bilgisayar programı MATLAB kullanılarak geliştirilmiştir. Buna göre Genetik Algoritmaya ait akış diyagramı Şekil 1'de verilmektedir.



Şekil 1. GA akış diyagramı

2.2. Dinamik Sınırlayıcı

Yapıya ait 1. Doğal periyot değeri aşağıdaki gibi bulunmaktadır.

$$K\phi - \omega^2 M\phi = 0 \quad (18)$$

ω^2 yerine λ yazılırsa

$$(K - \lambda M)\phi = 0 \quad (19)$$

bağıntısı elde edilir.

Bu bağıntıda K ve M yerlerine yazılarak özdeğer, açısal frekans, frekans ve periyot değerlerine ulaşılır [13, 14].

$$\begin{aligned} \lambda_i &= \omega_i^2 \\ T_i &= 2\pi/\omega_i \\ f_i &= 1/T_i \end{aligned} \quad (20)$$

- K : Yapının rijitlik matrisi
 M : Yapının kütle matrisi
 ω_i : Yapının i . Açısal titreşim frekansı (rad/s)
 ϕ_i : Yapının i . titreşim mod vektörü
 λ_i : i . özdeğer
 T_i : Yapının i . titreşim periyodu (s)
 f_i : Yapının i . titreşim frekansı (Hertz)

Bu çalışmada geleneksel sınırlayıcıların yanı sıra 1.doğal periyot değeri dinamik sınırlayıcı olarak optimizasyon sürecine dahil edilmiştir. $T_1 = 1$.doğal periyot değeri ve $T_{sd} = 1$.doğal periyot için sınır değeri olmak üzere dinamik sınırlayıcı aşağıdaki gibidir.

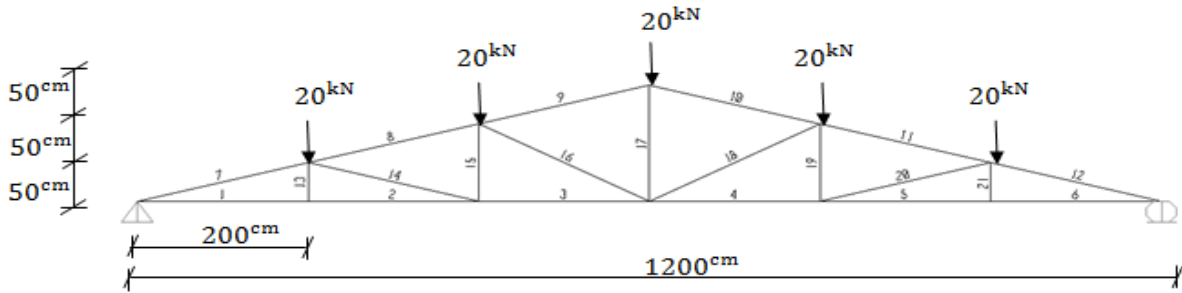
$$g_{periyot} = \frac{T_1}{T_{sd}} - 1 \leq 0 \quad (21)$$

3. SAYISAL ÖRNEKLER

İlk olarak 21 çubuklu izostatik düzlem kafes sistem 4 farklı profil türü arasından, çubuklar arasında gruplandırma yapılmadan ve gruplandırma yapılarak optimum boyutlandırılmıştır. Daha sonra 8 farklı profil için çubuklar arasında gruplandırma yapılarak işlem tekrarlanmıştır. İkinci örnek olarak kafes ve dolu gövdeli karma bir sistem seçilmiştir. 15 çubuklu kafes gövdeli kiriş, alttan ankastre mesnetlenmiş kolonlar üzerine yerleştirilmiştir. Boyutlandırmada 16 farklı profil listelenmiştir. Her iki örnek mevcut sınırlayıcılara dinamik sınırlayıcı ilave edilerek yeniden optimum boyutlandırılmıştır. Elde edilen sonuçlar, SAP2000 programı yardımıyla doğrulanmıştır.

3.1.1. 21 Çubuklu Düzlem Kafes Sistem

Şekil 2'de gösterilen 21 çubuklu düzlem kafes sistem örneğinde, malzemenin elastisite modülü $E=20000$ kN/cm², yoğunluğu $\rho =7.850$ ton/m³, emniyet gerilmesi $\sigma_{em}=14$ kN/cm² ve deplasman sınır değeri (mesnetler arası açıklık/400) =3.0 cm olarak alınmıştır.



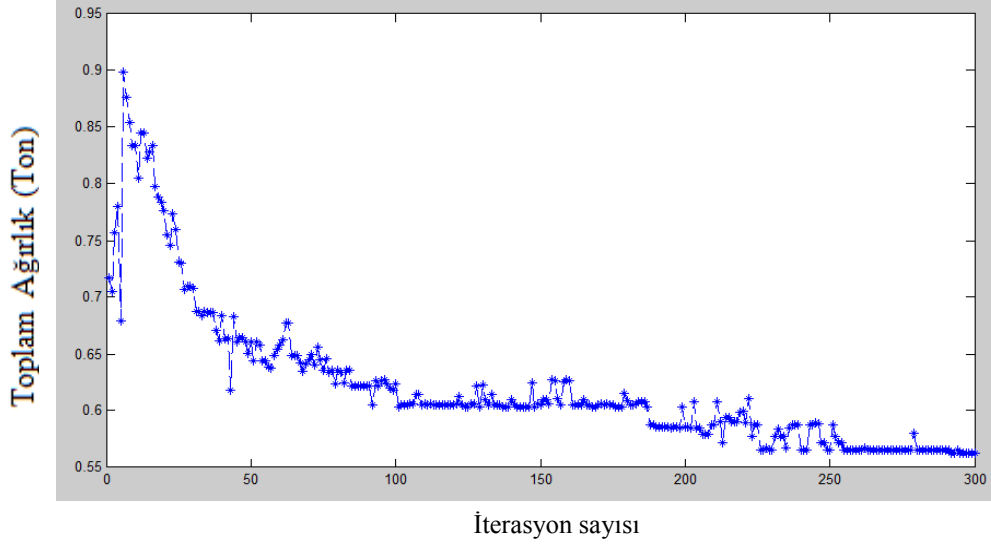
Şekil 2. 21 Çubuklu Düzlem Kafes Sistem

- 4 Alternatif profil arasından optimum boyutlandırma

Şekil 2'de belirtilen 21 çubuklu izostatik kafes sistem DIN1029'dan alınan eşit kollu çift L (köşebent) kesit alanları ile incelenmiştir. Dört alternatif kesit alanı arasından (2L100.100.10 ($A=38.31$ cm²), 2L80.80.8 ($A=24.53$ cm²), 2L60.60.6 ($A=13.82$ cm²), 2L50.50.5 ($A=9.605$ cm²)) optimum kesitler belirlenmiştir.

- Geleneksel sınırlayıcılara göre;

Şekil 2'deki sistem ilk olarak çubuklar arasında gruplandırma yapılmadan geleneksel sınırlayıcılara göre incelenmiştir. 42 birey ve %70 lik yakınsama kriteri esas alınarak 300. iterasyona ait bulunan analiz sonuçları Tablo 1'de gösterilmiştir. Ayrıca SAP2000 optimum boyutlandırma analizi ile bulunan sonuçlar da Tablo 1'de sunulmuştur. Optimizasyon adımlarına göre kafes sistemin toplam ağırlık değişimi Şekil 3'de sunulmaktadır.



Şekil 3. Yapı ağırlığının iterasyon sayısı ile değişimi

Tablo 1'de görüldüğü gibi 14 ve 20 nolu çubuklar dışında ki tüm çubuklar MATLAB ve SAP2000 optimum boyutlandırmalarında aynı profiller ile boyutlandırılmıştır. Bu örnekte sistem MATLAB ile çözüldükten TS 648'de [9] yer alan tasarım koşullarına uyulmaktadır. SAP2000 optimum boyutlandırma analizi AISC-ASD89'a [12] göre yapılmaktadır. SAP2000 optimum boyutlandırma analizindeki gibi 14 ve 20 nolu çubukların kesitleri eğer 2L50.50.5 olursa bu çubuklarda oluşan basınç gerilmesi 4.29 kN/cm^2 dir ve TS648'e [9] göre bu çubukların basınç emniyet gerilmesi 4.2416 kN/cm^2 dir. Diğer bir ifade ile 14 ve 20 nolu çubukların için 2L50.50.5 kesiti TS648'deki kriterlere göre uygun değildir. Bu sebeple bu iki çubuk MATLAB'da 2L60.60.6 ile boyutlandırılmıştır.

Problem ayrıca kafes çubuklarının, alt başlık, üst başlık, dikme ve diagonal olarak dört grupta toplanarak geleneksel sınırlayıcılara göre tekrar çözülmüştür. 20 birey ve %70 lik yakınsama kriteri esas alınarak 300. iterasyona ait bulunan analiz sonuçları Tablo 2'de gösterilmiştir. Ayrıca SAP2000 optimum boyutlandırma analizi ile bulunan sonuçlar da bu tabloda sunulmaktadır.

Tablo 2'de görüldüğü gibi MATLAB'da genetik algoritma için kodlanan program ile bulunan optimum boyutlandırma sonuçları, SAP2000 programında yapılan optimum boyutlandırma sonuçları ile aynıdır. Bununla birlikte, MATLAB ile bulunan max. yerdeğiştirme, max. çekme-basınç gerilme ve 1.doğal periyot değerleri SAP2000 programı ile elde edilen sonuçları ile uyusmaktadır.

- Geleneksel ve Dinamik sınırlayıcılara göre;

Problem, kafes çubuklarının gruplandırılmış çözümüne ilişkin kafes sistemin periyodunu belirli bir periyot değerinin altında tutmak için geleneksel sınırlayıcılara dinamik sınırlayıcı olarak 1.doğal periyot değeri (s_n) < 0.23 (s_n) ilave edilerek, 4 alternatif profil arasından %80 yaklaşım ile tekrar çözülmüş ve 60. iterasyona ait MATLAB'da bulunan optimum çubuk boyutları ve 1.doğal periyot değeri Tablo 3'de gösterilmiştir. Ayrıca MATLAB'da belirlenen bu profiller ile yapılan SAP2000 analizinden elde edilen 1. doğal periyot değeri de bu tabloda gösterilmiştir. (Bu örnekte düğüm noktalarında ki 20 kN'luk yükler dinamik analiz yapılırken bu düğüm noktalarına kütle olarak eklenmiştir.)

Tablo 1. 4 Alternatif profil arasından geleneksel sınırlayıcılara göre yapılan optimizasyon (gruplandırma yok)

| Eleman No | Profil tipi | Bu çalışma MATLAB | Bu çalışma SAP2000 |
|--|-------------|----------------------|-----------------------|
| 1 | | 2L80.80.8 | 2L80.80.8 |
| 2 | | 2L80.80.8 | 2L80.80.8 |
| 3 | | 2L60.60.6 | 2L60.60.6 |
| 4 | | 2L60.60.6 | 2L60.60.6 |
| 5 | | 2L80.80.8 | 2L80.80.8 |
| 6 | | 2L80.80.8 | 2L80.80.8 |
| 7 | | 2L80.80.8 | 2L80.80.8 |
| 8 | | 2L80.80.8 | 2L80.80.8 |
| 9 | | 2L80.80.8 | 2L80.80.8 |
| 10 | | 2L80.80.8 | 2L80.80.8 |
| 11 | | 2L80.80.8 | 2L80.80.8 |
| 12 | | 2L80.80.8 | 2L80.80.8 |
| 13 | | 2L50.50.5 | 2L50.50.5 |
| 14 | | 2L60.60.6 | 2L50.50.5 |
| 15 | | 2L50.50.5 | 2L50.50.5 |
| 16 | | 2L60.60.6 | 2L60.60.6 |
| 17 | | 2L50.50.5 | 2L50.50.5 |
| 18 | | 2L60.60.6 | 2L60.60.6 |
| 19 | | 2L50.50.5 | 2L50.50.5 |
| 20 | | 2L60.60.6 | 2L50.50.5 |
| 21 | 2L50.50.5 | 2L50.50.5 | |
| Maksimum yerdeğiştirme (cm) | | -2.0057 | -2.0038 |
| Maksimum çekme gerilmesi (kN/ cm ²) | | 8.1633 | 8.153 |
| Maksimum basınç gerilmesi (kN/ cm ²) | | -8.4145 | -8.404 |

Tablo 2. 4 Alternatif profil arasından geleneksel sınırlayıcılara göre yapılan optimizasyon (gruplandırma var)

| | | Bu çalışma MATLAB | Bu çalışma SAP2000 |
|--|------------|----------------------|-----------------------|
| Profil tipi | Alt başlık | 2L80.80.8 | 2L80.80.8 |
| | Üst başlık | 2L80.80.8 | 2L80.80.8 |
| | Dikme | 2L50.50.5 | 2L50.50.5 |
| | Diagonal | 2L60.60.6 | 2L60.60.6 |
| Maksimum yerdeğiştirme (cm) | | -1.8038 | -1.8016 |
| Maksimum çekme gerilmesi (kN/ cm ²) | | 8.1633 | 8.163 |
| Maksimum basınç gerilmesi (kN/ cm ²) | | -8.4145 | -8.415 |
| 1.doğal periyot değeri (sn) | | 0.2682 | 0.2680 |

Tablo 3. 4 Alternatif profil arasından geleneksel ve dinamik sınırlayıcılara göre yapılan optimizasyon

| | | Bu çalışma MATLAB | Bu çalışma SAP2000 |
|-----------------------------|------------|----------------------|-----------------------|
| Profil tipi | Alt başlık | 2L100.100.10 | 2L100.100.10 |
| | Üst başlık | 2L100.100.10 | 2L100.100.10 |
| | Dikme | 2L50.50.5 | 2L50.50.5 |
| | Diagonal | 2L60.60.6 | 2L60.60.6 |
| 1.doğal periyot değeri (sn) | | 0.2191 | 0.21905 |

Tablo 3’de görüldüğü gibi geleneksel sınırlayıcılara dinamik sınırlayıcı ilave edilerek optimum boyutlandırma gerçekleştirilmiştir. Dinamik sınır değeri olarak Tablo 2’deki değerden (0.2682 sn) daha az olan 0.23 (sn) alınmış ve bu durum Tablo 3’de görüldüğü gibi alt ve üst başlık profillerinin daha büyük seçilmesine neden olmuştur. Bu sonuçlar, dinamik sınırlayıcının geleneksel sınırlayıcılarının yanı sıra boyutlandırmada etkili olabileceğini göstermiştir.

- 8 Alternatif profil arasından optimum boyutlandırma;
 - Geleneksel sınırlayıcılara göre;

21 çubuklu düzlem kafes sistem daha sonra DIN1029’dan alınan 8 alternatif profil arasından 20 birey ile yeniden optimum boyutlandırılmıştır. Bu adımda kullanılan 8 adet alternatif profil listesi 2L100.100.10, 2L80.80.8, 2L60.60.6, 2L50.50.5, 2L70.70.7, 2L90.90.9, 2L110.110.10, 2L120.120.12 şeklindedir. Geleneksel sınırlayıcılara göre yapılan optimizasyonda yakınsama 300 iterasyon adımı sağlanmıştır. Buna göre MATLAB’da bulunan optimum çubuk boyutları ve analiz sonuçları Tablo 4’de gösterilmektedir. Ayrıca MATLAB ile belirlenen bu kesitlere göre yapılan SAP2000 analizi sonuçları da bu tabloda gösterilmiştir.

Tablo 4. 8 Alternatif profil arasından geleneksel sınırlayıcılara göre yapılan optimizasyon

| | | Bu çalışma MATLAB | Bu çalışma SAP2000 |
|------------------------------------|------------|----------------------|-----------------------|
| Profil tipi | Alt başlık | 2L70.70.7 | 2L70.70.7 |
| | Üst başlık | 2L80.80.8 | 2L80.80.8 |
| | Dikme | 2L50.50.5 | 2L50.50.5 |
| | Diagonal | 2L60.60.6 | 2L60.60.6 |
| Maksimum yerdeğiştirme (düşey)(cm) | | -2.058 | -2.07 |
| 1.doğal periyot değeri (sn) | | 0.2887 | 0.28863 |
| 2.doğal periyot değeri (sn) | | 0.1280 | 0.12794 |

Tablo 4'deki sonuçlar Tablo 2'deki sonuçlar ile karşılaştırıldığında görüldüğü gibi MATLAB, 8 alternatif arasından geleneksel sınırlayıcıları saylayan daha hafif bir sistem için alt başlık grubunu daha küçük bir boyut olan 2L70.70.7 ile boyutlandırmıştır.

- Geleneksel ve Dinamik sınırlayıcılara göre;

Boyutlandırma kriterlerine dinamik sınırlayıcı olarak 1.doğal periyot değeri(sn) <0.23 (sn) ilave edildiğinde %80 yaklaşım, 120.iterasyonda sağlanmıştır. MATLAB ile bulunan optimum çubuk boyutları ve dinamik analiz sonucu Tablo 5'de sunulmuştur. Ayrıca MATLAB ile belirlenen profillere göre yapılan SAP2000 analizinden elde edilen 1.doğal periyot değeri de bu tabloda gösterilmiştir.

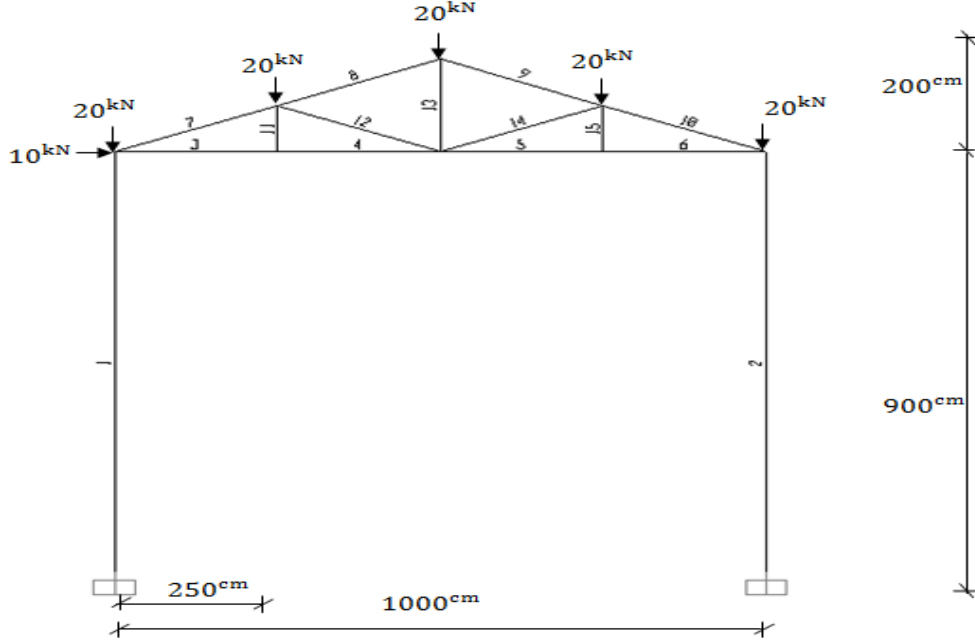
Tablo 5. Geleneksel ve dinamik sınırlayıcılara göre yapılan optimizasyon

| | | Bu çalışma MATLAB | Bu çalışma SAP2000 |
|-----------------------------|------------|----------------------|-----------------------|
| Profil tipi | Alt başlık | 2L100.100.10 | 2L100.100.10 |
| | Üst başlık | 2L90.90.9 | 2L90.90.9 |
| | Dikme | 2L50.50.5 | 2L50.50.5 |
| | Diagonal | 2L60.60.6 | 2L60.60.6 |
| 1.doğal periyot değeri (sn) | | 0.2288 | 0.22857 |

Tablo 5'de gösterilen sonuçlar, Tablo 3'deki sonuçlar ile karşılaştırıldığında görüldüğü gibi MATLAB, 8 alternatif arasından geleneksel ve dinamik sınırlayıcıları sağlayan daha hafif bir sistem boyutlandırmıştır. Ayrıca Tablo 5'de gösterilen sonuçlar, Tablo 4'deki sonuçlar ile karşılaştırıldığında dinamik sınırlayıcının geleneksel sınırlayıcılarının yanı sıra boyutlandırmada etkili olduğu ve sistemin ağırlaşmasına neden olduğu görülmektedir.

3.2. Kafes ve Dolu Gövdeli Karma Sistem

Şekil 4’de görülen karma sistem ankastre mesnetler üzerine oturan 15 çubuklu kafes sistemdir. Malzemenin elastisite modülü $E=21000 \text{ kN/cm}^2$, emniyet gerilmesi $\sigma_{em}=14 \text{ kN/cm}^2$, yoğunluğu $\rho=7.850 \text{ ton/m}^3$, deplasman sınır değeri (mesnetler arası açıklık / (300 \square 400)) = 3cm alınmıştır.



Şekil 4. Ankastre mesnetli kolonlar üzerine oturan kafes

Şekil 4’deki sistem elemanları Tablo 6’da belirtilen 16 farklı profil arasından ilk olarak geleneksel sınırlayıcılara göre optimum boyutlandırılmış daha sonra dinamik sınırlayıcı ilave edilerek işlem tekrarlanmıştır. Yapı elemanları Tablo 7’de gösterildiği gibi kolon, kafes alt başlık, üst başlık, dikme ve diyagonal olarak gruplandırılmış ve analizde TS 648’de [9] yer alan tasarım koşullarına uyulmuştur.

Tablo 6. 16 farklı profil kesit

| DIN 1029’den alınan 8 adet çift L köşebent | DIN 1025’den alınan 8 adet I profil |
|---|--|
| 2L50.50.5 (A=9.605 cm ²) | HE200A (A=53.8 cm ²) |
| 2L60.60.6 (A=13.82 cm ²) | HE240A (A=76.8 cm ²) |
| 2L70.70.7 (A=18.79 cm ²) | HE260A (A=86.8 cm ²) |
| 2L80.80.8 (A=24.53 cm ²) | HE300A (A=113 cm ²) |
| 2L90.90.10 (A=34.26 cm ²) | HE320A (A=124 cm ²) |
| 2L100.100.10 (A=38.31 cm ²) | HE360A (A=143 cm ²) |
| 2L110.110.10 (A=42.31 cm ²) | HE400A (A=159 cm ²) |
| 2L120.120.12 (A=55.08 cm ²) | HE450A (A=178 cm ²) |

- Geleneksel sınırlayıcılara göre;

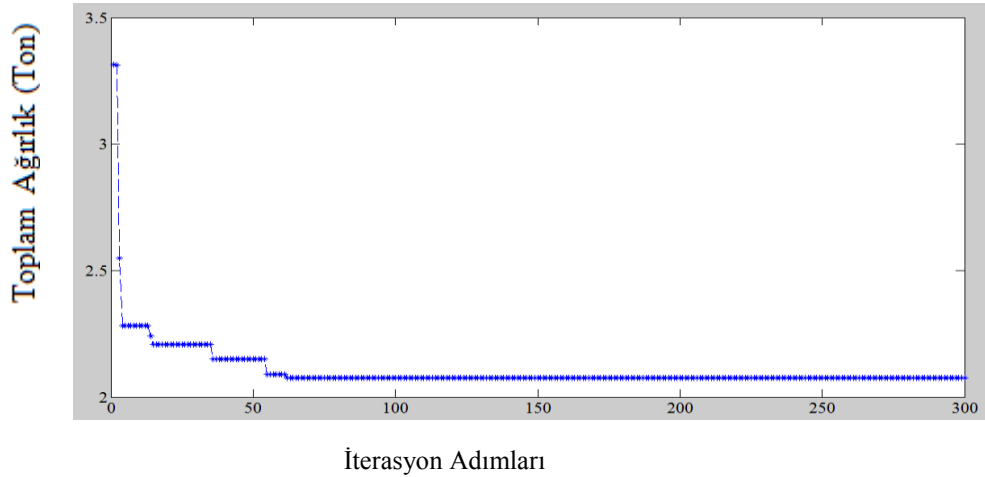
Şekil 4’de gösterilen sistem 40 birey ile %55’lik yakınsama kriteri ile boyutlandırılmıştır. 300. iterasyonda elde edilen sonuçlar Tablo 7’de gösterilmektedir. MATLAB ile belirlenen kesitlere göre yapılan SAP2000

analizi sonuçları da aynı tabloda sunulmaktadır. Ayrıca optimizasyon adımlarına göre kafes sistemin toplam ağırlık değişimi Şekil 5’de gösterilmektedir.

Tablo 7. Geleneksel sınırlayıcılara göre yapılan optimizasyon

| | | Bu çalışma MATLAB | Bu çalışma SAP2000 |
|------------------------------|--------------|--|-----------------------|
| Profil tipi | Gruplandırma | Eleman1,2 : A ₁ (kolonlar) | HE320A |
| | | Eleman3,4,5,6: A ₂ (Kafes alt başlık) | 2L50.50.5 |
| | | Eleman7,8,9,10:A ₃ (Kafes üst başlık) | 2L70.70.7 |
| | | Eleman11,13,15: A ₄ (Kafes dikme) | 2L50.50.5 |
| | | Eleman12,14:A ₅ (Kafes diagonal) | 2L60.60.6 |
| Maksimum yerdeğiştirme (cm) | | 2.6959 | 2.7159 |
| Maksimum eksenel kuvvet (kN) | | -80.8 | -80.78 |
| Maksimum kesme kuvveti (kN) | | 5.3 | 5.34 |
| Maksimum moment (kNcm) | | 4808 | 4805.55 |
| 1.doğal periyot değeri (sn) | | 0.3456 | 0.3470 |

Tablo 7’de görüldüğü gibi MATLAB, 16 farklı profil arasından geleneksel sınırlayıcıları sağlayan en hafif sistemi boyutlandırmaya çalışmış ve bunu gerçekleştirirken de kolonlara I profilini, kafes çubuklara ise köşebent profillerini otomatik olarak atayabilmiştir. Ayrıca, MATLAB ile SAP2000 analiz sonuçları birbirleri ile oldukça uyuşmaktadır.



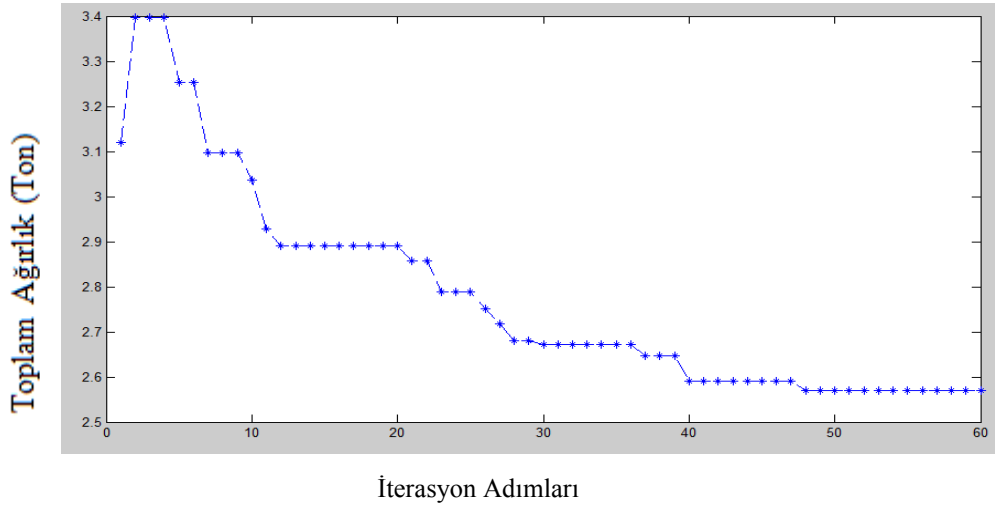
Şekil 5. Optimizasyon adımlarına göre kafes sistemin toplam ağırlık değişimi

- Geleneksel ve Dinamik sınırlayıcılara göre;

Şekil 4’de gösterilen sistem, geleneksel sınırlayıcılara dinamik sınırlayıcı olarak 1.doğal periyot değeri (sn) <0.32 (sn) ilave edilerek tekrar boyutlandırılmıştır. %60 lik yakınsama kriteri esas alınarak 60. iterasyona ait MATLAB’da bulunan optimum çubuk boyutları ve 1.doğal periyot değeri Tablo 8’de gösterilmektedir. Bu kesitlere göre yapılan SAP2000 analizinden bulunan 1.doğal periyot değeri de bu tabloda sunulmuştur. Ayrıca toplam ağırlığın iterasyon adımları ile değişimi Şekil 6’da gösterilmiştir.

Tablo 8. Geleneksel ve dinamik sınırlayıcılara göre yapılan optimizasyon

| | | Bu çalışma MATLAB | Bu çalışma SAP2000 |
|------------------------------|-----------------------------------|----------------------|-----------------------|
| Profil tipi | A ₁ (kolonlar) | HE400A | HE400A |
| | A ₂ (Kafes alt başlık) | 2L50.50.5 | 2L50.50.5 |
| | A ₃ (Kafes üst başlık) | 2L70.70.7 | 2L70.70.7 |
| | A ₄ (Kafes dikme) | 2L50.50.5 | 2L50.50.5 |
| | A ₅ (Kafes diagonal) | 2L60.60.6 | 2L60.60.6 |
| 1. doğal periyot değeri (sn) | | 0.2707 | 0.27214 |

**Şekil 6.** Optimizasyon adımları ile sistemin ağırlığındaki değişim

Tablo 8'deki sonuçlar, Tablo 7'deki sonuçlar ile karşılaştırıldığında görüldüğü gibi MATLAB, geleneksel ve dinamik sınırlayıcıları sağlayan optimum boyutlara sahip sistemi elde edebilmek için kolon boyutlarını büyütmüş ve sistemi ağırlaştırmıştır.

4. SONUÇ

Birinci örnekteki kafes sistemin optimum boyutlandırması, elemanlar arasında gruplandırma yapılması ve yapılmaması durumları için ayrı ayrı yapılırken, ikinci örnekteki ankastre mesnetler üzerine oturan kafes sistem örneği için elemanlar arasında gruplandırma yapılarak optimizasyon gerçekleştirilmiştir. Her iki örnekte de, yapı optimizasyonu için genelde göz önünde bulundurulmuş deplasman, gerilme ve minimum kesit alanı gibi geleneksel sınırlayıcılara 1. doğal periyot değeri dinamik sınırlayıcı olarak ilave edilmiştir. Elde edilen bulgular dinamik sınırlayıcıların ilavesi ile sistem ağırlığında artış olduğunu göstermektedir. Dinamik sınırlayıcıların ihmal edilmesi durumunda daha küçük kesitler yeterli olmaktadır. İkinci örneğe ilişkin, sadece eksenel kuvvet aktaran kafes sistem elemanı ve hem eksenel kuvvet hem de moment aktaran eğilmeli burkulma etkisindeki kolon, yani çerçeve elemanı barındıran karma sistemlerin boyutlandırılmasında tamamen rastgele kesit seçilmesine rağmen kolonlar için I profili, kafes sistem elemanları için ise çift korniyerler otomatik olarak

atanabilmiştir. Böylece genetik algoritma ile elde edilen sonuçların pratik açıdan geçerli ve ayrık tasarım değişkeni olması nedeniyle çelik yapılar için oldukça elverişli olduğu bir kez daha ispatlanmıştır.

5. KAYNAKLAR

- [1] GOLDBERG, D. E., Genetic Algorithm in Search, Optimization and Machine Learning, Addison-Wesley Publishing Company, New York, 1989.
- [2] DEB, K. , GÜLATI, S., Design of Truss Structures for Minimum Weight using Genetic Algorithms, Kanpur Genetic Algorithms Laboratory (KanGAL), Department of Mechanical Engineering, Indian Institute of Technology, Kanpur, India, KanGAL Report No. 99001, 2001.
- [3] ISENBERG, J., PEREYRA, V., and LAWVER, D., “Optimal Design of Steel Frame Structures”, Applied Numerical Mathematics, 40, 59–71, 2002.
- [4] TOĞAN, V., DALOĞLU, A., “Genetik Algoritma ile Üç Boyutlu Kafes Sistemlerin Şekil ve Boyut Optimizasyonu”, İMO Teknik Dergi, 251, 3809 -3825, 2006.
- [5] DEDE, T., BEKİROĞLU, S., and AYVAZ Y., “Weight Minimization of Trusses with Genetic Algorithm”, Applied Soft Computing, 11, 2565–2575, 2011.
- [6] AMINIFAR, F., AMINIFAR, F. and NAZARPOUR, D., “Optimal Design of Truss Structures Via an Augmented Genetic Algorithm”, Turkish Journal of Engineering & Environmental Sciences, College of Engineering, 37, 56 – 68, 2013.
- [7]BEKİROĞLU, S., Genetik Algoritma İle Çelik Çerçevelerin Optimum Boyutlandırılması, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Trabzon, 2003.
- [8]AYDIN, Z., DALOĞLU, A.,“Kafes Sistemlerin Uygulamaya Yönelik Optimum Tasarımı”, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 5(1), 951-957, 1999.
- [9] TS 648, Çelik Yapıların Hesap Ve Yapım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1980.
- [10] AYDIN, Z., Düzlem Kafes Sistemlerin Genetik Algoritma İle Minimum Ağırlıklı Boyutlandırılması, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Trabzon, 1997.
- [11] ARMUTÇU, M., Çelik Çerçevelerin Genetik Algoritma ile Optimizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Trabzon, 1997.
- [12] AISC-ASD89, Allowable Stress Design American Institute of Steel Construction, Chicago, 1989.
- [13] TOPCU, A., Bilgisayar Destekli Nümerik Analiz Ders Notları, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 2013.
- [14] ERDOĞAN, Y. S., Genetik Algoritmalar Kullanılarak Sonlu Elemanlar Güncellenmesi Yöntemiyle Hasar Tespiti ve Parametre Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ,2007.