
Araştırma Makalesi / Research Article

Yapı Sistemlerinin MATLAB Optimizasyon Araç Kutusu ile Optimum Boyutlandırılması

Nusret BOZKURT^{1*}, Salih YAZICIOĞLU²

¹Bitlis Eren Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Bitlis
²Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İnşaat Mühendisliği, Ankara

Özet

Bu çalışmada mühendislik hesaplamalarında çok kullanışlı olan MATLAB bilgisayar programının optimizasyon araç kutusu kullanılarak yapı sistemlerinin optimum boyutlandırılması yapılmıştır. Çalışmada amaç fonksiyonu ve sınırlayıcıları verilmiş olan yapı sistemlerinin doğrudan çözümü ele alınmıştır. Bu amaçla düzlem çerçeve, düzlem kafes ve çelik I profili olmak üzere üç farklı yapı tipi incelenmiştir. Klasik yöntemler karmaşık ve yinelemeli işlemler gerektirirken, bu çalışmada MATLAB programının optimizasyon araç kutusu kullanılarak çok kısa fonksiyon dosyaları oluşturulmuş ve sonuçlar kolaylıkla elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlarla klasik yöntemlerden elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak, bu çalışmadan elde edilen sonuçların klasik yöntemi yakınsadığı ve MATLAB optimizasyon araç kutusunun bu tip optimizasyon problemlerinde kullanılabilirliği gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler: MATLAB, optimizasyon araç kutusu, optimizasyon

Optimum Design of Structure Systems with MATLAB Optimization Toolbox

Abstract

In this paper, optimum design of structure systems have been investigated by being used optimization toolbox of MATLAB program which is very useful at engineering calculations. In the study, the direct solution of structure systems which were given objective function and constraints has considered. For this purpose, three different structure types composed of plane-frame, plane-truss and steel I-profile have been investigated. While classical methods require complex and iterative operations, in this study using optimization toolbox of MATLAB programme, short function files were prepared and the results were easily obtained. Obtained results were compared with the results attained from the conventional methods. As a result, it showed that obtained results converged the conventional methods and optimization toolbox of MATLAB programme can be useful that kind of optimization problems.

Keywords: MATLAB, optimization toolbox, optimization

1. Giriş

Optimizasyon hesaplamalarında birçok klasik yöntem bulunmaktadır. Bu yöntemlerin dezavantajı, sayısal işlemlerde karışıklığın meydana gelmesi, yinelemeli işlemlerin uzun ve karmaşık olması, kontrol zorluğu ve daha da önemlisi fazla zaman kaybına neden olmasıdır. Bilgisayarların ortaya çıkmasıyla bu dezavantajların çoğu ortadan kalkmıştır. Bu kez de hangi bilgisayar programının optimizasyon problemlerini daha kolay ve elde edilen sonuçlar bakımından hangisinin en uygunu olduğu araştırma konusu olmuştur.

*Sorumlu Yazar: nbozkurt@beu.edu.tr

Bu çalışmada uygulama programı olarak MATLAB seçilmiştir. MATLAB programının sayısal işlemlerdeki üstünlüğü bilinmektedir. MATLAB adı “Matrix Laboratory” kelimelerinin ilk üç harfleri alınarak verilmiştir. Mühendislik işlemlerinin (hesap, uygulama, simülasyon vs.) kolaylıkla gerçekleştirilebildiği matematik tabanlı bir programdır [1]. Çalışmada yapı sistemlerinden örnekler alınarak bunların MATLAB optimizasyon araç kutusunda çözümü incelenmiştir. Bu amaçla üç farklı yapı tipi ele alınarak MATLAB programının optimizasyon araç kutusunun yapı sistemleri üzerindeki performansı değerlendirilmiştir. Sonuçların doğruluğu daha önce yapılmış olan klasik optimizasyon yöntemleri ile kıyaslanmıştır. Amaç fonksiyonu ve sınırlayıcıları belirlenmiş olan bu problemlerin lineerleştirme ve benzeri işlemlere tabi tutulmadan yalnızca MATLAB’ın ilgili fonksiyonları kullanılarak doğrudan çözüm gerçekleştirilmiştir. Çalışmada, bir “T” profilinin boyutlandırılması, bir kafes sistemin boyutlandırılması ve bir çerçeve sistemin boyutlandırılması yapılmıştır. Daha önce klasik optimizasyon yöntemleriyle elde edilen sonuçlar ile MATLAB optimizasyon araç kutusu kullanılarak elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

2. Optimizasyon Araç Kutusunda Problemin Çözüm Metodolojisi

MATLAB optimizasyon araç kutusunda bir problemin formülasyonu ve çözüm aşamalarında takip edilecek metodoloji özetle şöyledir:

I. Amaç fonksiyonu ve sınırlayıcılar MATLAB formatına göre tanımlanır.

$$\begin{aligned} \text{Function } f &= \text{fun}(x) \\ f(x), g(x), h(x) \end{aligned} \quad (1)$$

Optimizasyon araç kutusunun çalışma mantığının temelini oluşturan ilk iki unsur bunlardır. Hangi amaca ulaşılacak istendiği “Amaç Fonksiyonu” ile belirtilirken bu optimum amaca hangi sınır şartları altında ulaşılacağı “Sınırlayıcılar” ile belirtilir. Bu denklemde; f: amaç fonksiyonunu temsil edecek değişkeni, fun: herhangi bir fonksiyon ismini, x: tasarım değişkenlerini ve g(x), h(x): eşitsizlik ve eşitlik sınırlayıcılarını belirtmektedir.

MATLAB’ ta bu tanımlama ayrı bir fonksiyon dosyası olarak yazılabileceği gibi MATLAB ana ekranında birer eşitlik olarak da ifade edilebilir [1]. Burada her bir örneğin çözümünde farklı bir fonksiyon dosyası hazırlanmıştır.

II. Dizayn değişkenlerinin alt ve üst sınırları ile değişkenlerin başlangıç değerleri tanımlanır.

$$x^A, x^Ü, x^0 \quad (2)$$

Buradaki üstel değerlerden; A: dizayn değişkenlerinin alt sınırını, Ü: tasarım değişkenlerinin üst sınırını belirtir. 0 (sıfır) ise tasarım değişkenlerinin başlangıç (ilk) değerini belirtmektedir.

III. Problemin çözümünde kullanılacak özel seçim parametreleri tanımlanır.

$$\text{Options} = \text{optimset}(\text{'seçenek'}, \text{'aktiflik durumu'}) \quad (3)$$

Bu denklemde ise problemin çözümü esnasında kullanılacak olan özel seçim parametrelerinin tanımı yapılır. Bunlar yineleme adım boyutu, yinelemelerin gösterilip gösterilmemesi gibi seçeneklerdir [2-4].

VI. Problemin türüne uygun olarak MATLAB optimizasyon araç kutusunun ilgili fonksiyonu yukarıda tanımlanan giriş argümanlarına göre çalıştırılarak çözüm gerçekleştirilir.

$$[y]= \text{fm}(' \text{fun}',x^0,x^A,x^U,\text{options}) \quad (4)$$

(4) denkleminde ifade edilen formülasyonda; y: çıkış argümanını, fm: çözücü fonksiyonu göstermektedir. Parantez içindeki ifadeler ise giriş argümanlarını belirtmektedir [5,6].

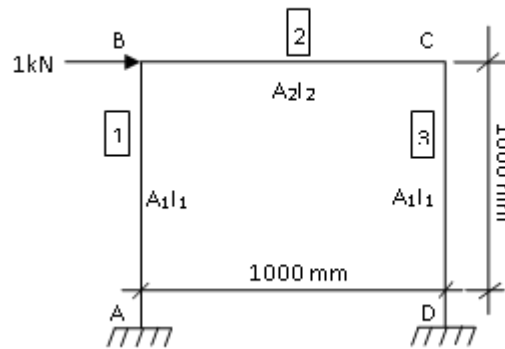
3. Matlab Optimizasyonuna Ait Sayısal Örnekler

3.1. Düzlem Çerçeve Sistem Örneği

Çalışmada kullanılan düzlem çerçeve sistemi Şekil 1’de verilmiştir. Bu sistemin B noktasına yatay yönde 1 kN’luk bir yük etki ettirilmiştir. B noktasındaki deplasmanın üst sınırı 4 mm olarak seçilmiştir. Sistemin elastisite modülü $E=207 \text{ kN/mm}^2$ ’dir. Çerçeve sistemin kiriş ve kolonlarındaki gerilmeler 0.15 kN/mm^2 ile sınırlandırılmıştır. Bu örnekte, çerçeve sistemin minimum hacim ağırlıklı optimum boyutlandırılması istenmektedir. Bu veriler ışığında MATLAB programının optimizasyon araç kutusunda çözülecek sistemin önce amaç fonksiyonu ve sınırlayıcıları için fonksiyon dosyaları hazırlanır.

$$\text{Amaç fonksiyonu: } \min V = 2000A_1 + 1500A_2 \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \text{Sınırlayıcılar: } & (345A_1^2 + 1035A_2^2) - 0.15(6A_2^2\sqrt{A_1^3} + A_1^3) \leq 0 \\ & 1032\sqrt{A_2} - 0.15(A_1^2 + 6A_2^2) \leq 0 \\ & 1.257 \cdot 10^5 (2A_1^2 + 3A_2^2) - 4(A_1^4 + 6A_1^2A_2^2) \leq 0 \\ & A_1, A_2 \geq 0 \end{aligned} \quad (6)$$



Şekil 1. Düzlem çerçeve sistem

Bu düzlem çerçeve sistemin çözümünde, amaç fonksiyonu için “cerceve” (7 denklemi) adında ve sistemin sınırlayıcı fonksiyonları için “concer” (8 denklemi) adında iki ayrı fonksiyon dosyası hazırlanmıştır. Bu fonksiyon dosyaları ayrı ayrı olmayıp tek bir fonksiyon dosyası içinde de yazılabilir. Yazılım programcılığı bakımından herbirine ayrı program hazırlamak daha uygun görülmektedir [3-6].

```

function V=cerceve(a)
V=2000*a(1)+1000*a(2);
function [c,ceq]=concer(a);
c=[(345*a(1)^2+1035*a(2)^2)-0.15*(6*a(2)^2*a(1)^(3/2)+a(1)^3);...
(1032*a(2)^(1/2))-0.15*(a(1)^2+6*a(2)^2);...
1.257*10^5*(2*a(1)^2+3*a(2)^2)-4*(a(1)^4+(6*a(2)^2*a(1)^2)];
ceq=[];

```

MATLAB program formatına göre çözümü istenen sistemin amaç fonksiyonu ve sınırlayıcıları tanımlandıktan sonra “options” parametresi (9 denklemi) tanımlanır. Bu parametrede tercih ettiğimiz seçim operatörlerine göre, MATLAB problemin çözümü esnasında bize bilgiler verecektir. Bu örnekte options parametresi kullanılarak yapılacak iterasyonların ekranda gösterilmesi, geniş çaplı algoritmaların kullanılmaması, amaç fonksiyonu ve sınırlayıcıların ikinci türevlerinin alınmaması tercih edilmiştir. Eğer programda bu seçenekler tanımlanmayacak olursa MATLAB bu seçim operatörlerinin varsayılan değerlerini alacaktır [4,5,6].

```
options=optimset('Display','iter','LargeScale','off','GradObj','off','GradConstr','off')
```

Daha sonra çözümün gerçekleştirilmesi için optimizasyon çalışma aracının uygun fonksiyonu seçilip kullanım formatına göre yazılarak problemin çözümü gerçekleştirilmiştir. Bu örneğin çözümünde optimizasyon çalışma aracının “fmincon” fonksiyonu tercih edilmiş ve çeşitli giriş-çıkış argümanlarıyla birlikte kullanılmıştır. Burada eşitliğin sağ tarafı giriş argümanları sol tarafı ise çıkış argümanları olarak tanımlanır.

```
[a,fval,exitflag,output]= fmincon ('cerceve',[100 150],[ ],[ ],[ ],[ ],[100 130],[inf inf],'concer',options)
```

MATLAB optimizasyon araç kutusunda hemen hemen her fonksiyon için ayrı giriş-çıkış argümanları vardır. Burada kullanılan argümanların kısaca tarifleri şöyledir:

a: Bu çıkış argümanı içerisine, bulunan değişken değerleri aktarılır. Herhangi bir harf veya kelime ile de ifade edilebilir,

fval: Bu çıkış argümanı içerisine fonksiyonun hesaplanan değeri aktarılır, exitflag: Çözücü fonksiyonun çözüm durumlarını tanımlar. “exitflag” çıkış operatörü MATLAB programında her fonksiyon için tanımlı değildir. “exitflag” argümanı problemin çözümünde sıfırdan büyükse dizayn değişkenleri için bir noktada çözüm var demektir; sıfıra eşitse fonksiyon değerinin maksimum değere ulaştığı anlaşılır; sıfırdan küçük çıkarsa “fmincon” un çözümü yakınsamadığı anlaşılır.

Output: Yapılan iterasyon sayısı, adım büyüklüğünün ne olduğu, hangi çözüm algoritmalarının kullanıldığı konusunda kullanıcıya bilgi verir [3-6]. Bu fonksiyon için giriş argümanları olarak amaç fonksiyonu adı,sınırlayıcı fonksiyon dosyalarının adı, başlangıç-bitiş noktaları ve “options” parametreleri tanımlanmıştır.

Yukarıda bu örnek için hazırlanmış olan çözüm fonksiyon dosyaları (7), (8) ve giriş-çıkış argümanlarının (9), (10) denklemi ışığında program MATLAB’ın komut kumanda ortamında çalıştırılır. Program çalıştırıldığında aşağıdaki sonuçlar elde edilir:

Iter	max		Directional			Procedure
	F-count	f(x)	constraint	Step-size	derivative	
1	3	350000	5.199e+009	1	9.87e+004	
2	7	448724	0	1	-2.19e+003	Hessian modified
.
.
3	11	446536	-0.4603	1	-6.96	Hessian modified
12	50	446514	0.0002689	1	4.04e-010	Hessian modified
13	54	446514	0.000267	1	4.58e-009	Hessian modified

Optimization terminated successfully:

Search direction less than 2*options.TolX and

maximum constraint violation is less than options.TolCon

Active Constraints: 5

a = 157.3439 131.8262

fval = 4.4651e+005

exitflag = 1

output = iterations: 13

funcCount: 56

stepsize: 1

algorithm: 'medium-scale: SQP, Quasi-Newton, line-search'

firstorderopt: []

cgiterations: []

Programın çalıştırılması sonucu MATLAB programı belirlenen giriş-çıkış argümanlarına göre yukarıdaki verileri ekrana program çıktısı olarak vermiştir. Elde edilen sonuçlar Tablo 1'de Majid [7,8]'in çalışma sonuçları karşılaştırılmıştır. Tablo 1 incelendiğinde sonuçlar arasında büyük bir yakınsama olduğu gözlenmiştir.

Tablo 1. Düzlem çerçeve sistem için sonuçların karşılaştırılması

	Kesit Alanları (mm ²)		Yapı Hacmi (mm ³)
	a ₁	a ₂	V
Başlangıç değerleri	100	150	350
Majid [7,8]	155	136.3	446.3
Bu çalışmada	157.34	131.82	446.5

3.2. Düzlem Kafes Sistem Örneği

Çalışmada örnek olarak 3 çubuklu bir düzlem kafes sistem seçilmiş ve Şekil 2'de sunulmuştur. Düzlem kafes sistemin düğüm noktasına yatayla 45°'lik açı yapacak şekilde bir P yükü etki ettirilmiştir. Bu düzlem kafes sistemin minimum ağırlığı ve verilen gerilme sınırlayıcıları ile müsaade edilebilir sınır değerleri göz önüne alınarak MATLAB optimizasyonunda optimum boyutlandırılması amaçlanmıştır. Bu veriler ışığında MATLAB programının optimizasyon araç kutusunda çözülecek sistemin önce amaç fonksiyonu ve sınırlayıcıları için fonksiyon dosyaları hazırlanır. Daha sonra ilk sunulan örneğe benzer bir MATLAB programı yazılarak program çalıştırılır ve sonuçlar elde edilir.

Amaç Fonksiyonu: $W = 2\sqrt{2}A_1 + A_2$ (11)

Müsaade edilebilir sınırlar: $\sigma^{(u)}=20, \sigma^{(l)}=-15, A_i^{(u)}=5 (i=1,2), A_i^{(l)}=0.1 (i=1,2),$ (12)

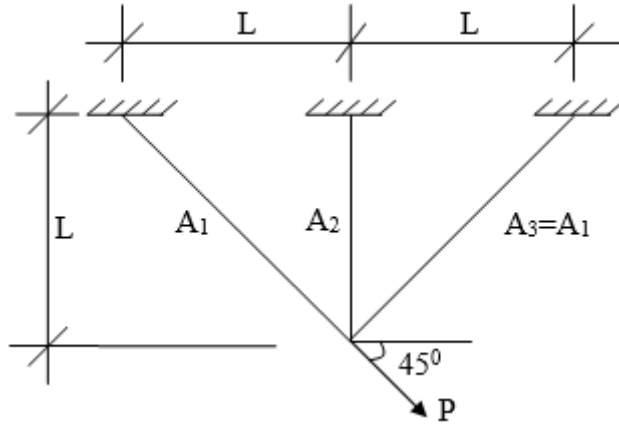
Sınırlayıcılar:

$$P\left(\frac{A_2 + \sqrt{2}A_1}{\sqrt{2}A_1^2 + 2A_1A_2}\right) \leq \sigma^{(u)}$$

$$P\left(\frac{1}{A_1 + \sqrt{2}A_2}\right) \leq \sigma^{(u)}$$

$$-P\left(\frac{A_2}{\sqrt{2}A_1^2 + 2A_1A_2}\right) \leq \sigma^{(l)}$$

$$A_i^{(u)} \geq A_i \geq A_i^{(l)}, i = 1,2$$
 (13)



Şekil 2. Üç çubuklu düzlem kafes sistem

```
function [f,g]=cubuk(A)
f=((2*sqrt(2))*A(1))+A(2);
g(1)=((A(2)+A(1)*sqrt(2))/(sqrt(2)*A(1)^2+2*A(1)*A(2)))-1;
g(2)=(1/(A(1)+sqrt(2)*A(2)))-1;
g(3)=abs(-4*((A(2))/(sqrt(2)*A(1)^2+2*A(1)*A(2))))-3; (14)
```

```
» A0=[0 0];
» options(13)=0;
» vlb=[0.1 0.1];
» vub=[5 5];
A=constr('cubuk',A0,options,vlb,vub) (15)
```

Elde edilen sonuçlar, Rao [9,10] tarafından daha önce yapılmış olan çalışma sonuçları ile karşılaştırılmıştır (Tablo 2). Her iki çalışma sonuçlarının birbirini yakınsadığı görülmüştür.

Tablo 2 Düzlem kafes sistem için sonuçların karşılaştırılması

	Bu çalışmada	Rao [9,10]
A_1	0.7887	0.7871
A_2	0.4082	0.4074
W	2.6390	2.6335

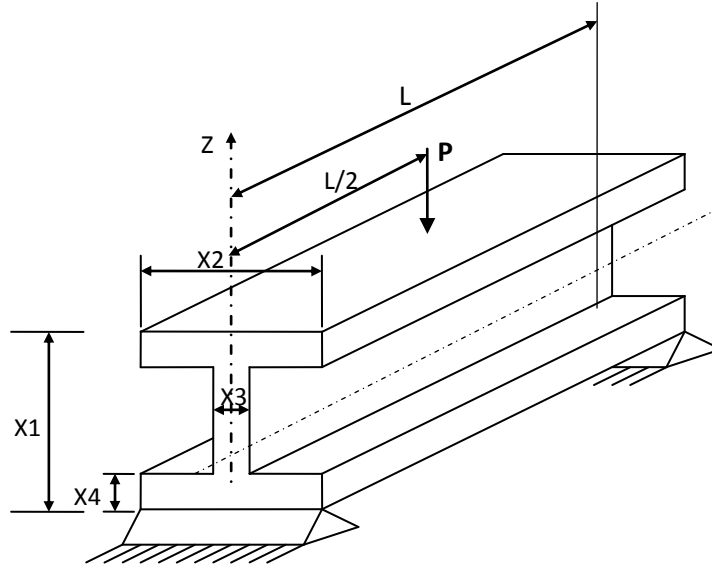
3.3 Tekil Eleman Boyutlandırma Örneği

Çalışmada tekil eleman olarak bir I-profilini seçilmiştir. I-profiline dair boyut dizayn değişkenleri Şekil 3'de verilmiş ve I-profilinin alanının optimum boyutlandırmasını MATLAB optimizasyonu ile hesaplamak amaçlanmıştır. Bu amaçla önce yapının amaç fonksiyonu (16) ve sınırlayıcıları (17) belirlenmiştir.

$$\text{Amaç fonksiyonu: } f = 2x_2x_4 + x_3(x_1 - 2x_4) \quad (16)$$

$$\text{Sınırlayıcı:} \quad (17)$$

$$g = 16 + \left(\frac{180000 x_1}{x_2 x_1^3 - (x_2 - x_3)(x_1 - 2x_4)^3} \right) + \left(\frac{15000 x_2}{2x_4 x_2^2 + (x_1 - 2x_4)x_3^3} \right) \geq 0$$



Şekil 3. Boyutlandırılacak I-profilini ve boyut dizayn değişkenleri

$$\begin{aligned}
& \text{function [f,g]=profil(x)} \\
& f=2*x(2)*x(4)+x(3)*(x(1)-2*x(4)); \\
& g=((180000*x(1))/(x(2)*x(1)^3-(x(2)-x(3))*(x(1)- \\
& 2*x(4))^3)+(15000*x(2)/(2*x(4)*x(2)^3+(x(1)-2*x(4))*x(3)^3))-16); \\
& x0=[5;5;1;1]; \\
& \text{options}(13)=0; \\
& \text{vlb}=[10 \ 10 \ .9 \ .9]; \\
& \text{vub}=[80 \ 50 \ 5 \ 5]; \\
& x=\text{constr}('profil',x0,\text{options},\text{vlb},\text{vub})
\end{aligned} \tag{18}$$

Daha sonra (18) ve (19) denklemleri oluşturulmuş ve MATLAB programı çalıştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar Osyczka [11]'nin daha önce elde ettiği sonuçlar ile karşılaştırılmıştır (Tablo 3). Karşılaştırma sonucunda bu çalışmada elde edilen sonuçların daha optimum olduğu gözlenmiştir.

Tablo 3. Tekil eleman boyutlandırması için sonuçların karşılaştırılması

Dizayn değişkenleri ve Amaç fonksiyonu	Bu çalışmada	Osyczka[11]
X_1	60.5	60.8
X_2	41.4	40.5
X_3	0.90	0.90
X_4	0.90	0.93
A	127.4	128

4. Sonuç ve Öneriler

Yapılan çalışmada MATLAB optimizasyon araç kutusu ile tek amaçlı optimizasyon problemlerinin çözümü ele alınmıştır. Örneklerden de anlaşılacağı gibi amaç fonksiyonu ve sınırlayıcıları tanımlayıp uygun olan fonksiyonu çalıştırmak yeterli olmaktadır. Bu ise MATLAB optimizasyon araç kutusunun diğer karmaşık optimizasyon yöntemlerine ve metotlarına göre çok daha kolay bir yöntem olduğu sonucunu ortaya koymaktadır. Ayrıca MATLAB optimizasyonu ile çok geniş zaman alacak optimizasyon problemleri de kısa zamanda yazılıp çözülebilir. Yapılan bu çalışma, tüm mühendislik alanlarındaki benzer optimizasyon problemlerine de çözüm yöntemi ve önerisi de sunmuştur.

Kaynaklar

1. Yüksel İ, 2014. MATLAB İle Mühendislik Sistemlerinin Analizi ve Çözümü. Dora Yayıncılık, Bursa.
2. Etter DM, 1993. Engineering Problem Solving With MATLAB, Prentice Hall, USA.
3. The Mathworks Inc, 1993. MATLAB Reference Guide.
4. The Mathworks Inc, 1999. Using MATLAB Version 5.3.
5. The Mathworks Inc, 1999. Optimization Toolbox User's Guide Version 2.0.
6. The Mathworks Inc, 1997. The Student Edition Of MATLAB Version 5.0, Prentice Hall, USA.

7. Majid KI, 1980. Introduction to Matrix and Numarical Methods for Civil Engineers. Woodstock Books, London.
8. Majid KI, 1974. Optimum Design of Structures. Newnes-Butterworth, London.
9. Rao SS, 1984. Optimization: Theori and Applications. Wiley, 2nd edition, New York.
- 10.Rao SS, 1987. Optimum Design of Structures in a Fuzzy Environment. Technical Notes, 25 (12): 1633-1636.
- 11.Osyczka A, 1978. An Approach to Multicriterion Optimization Problems for Engineering Design. Computer Methods in Applied Mech. and Eng., 15 (3): 309-333.

Geliş Tarihi: 06/08/2015

Kabul Tarihi: 19/11/2015