Politeknik Dergisi
Cilt: 6 Sayı: 2 s. 505-511, 2003

Journal of Polytechnic
Vol: 6 No: 2 pp. 505-511, 2003

ÇOK AMAÇLI BULANIK OPTİMİZASYON TEKNİĞİ İLE DÜZLEM KAFES SİSTEMLERİN BOYUTLANDIRILMASI

Ömer KELEŞOĞLU[*], Mehmet ÜLKER[**]
[*]Fırat Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi,Yapı Eğitim Bölümü,
23119 ELAZIĞ
[**]Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi,İnşaat Mühendisliği Bölümü,
23119 ELAZIĞ

ÖZET

Bu çalışmada, bulanık kümeler kullanılarak, düzlem kafes sistemlerin optimizasyonu yapılmıştır. Bunun için λ formülasyonu uygulanmıştır. Kafes sistemin analizinde, matris-deplasman yöntemi kullanılmıştır. Bulanık optimizasyon tekniğinin algoritması Ms-Excel'in makroları kullanılarak oluşturulmuştur. Geliştirilen algoritmanın uygulanabilirliği, çözülen sayısal örneklerle gösterilmiştir. Elde edilen optimum boyutlandırma sonuçları, daha önceki yapılan çalışmalardaki sonuçlar ile karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Bulanık mantık**,** Düzlem kafes, Optimizasyon

MULTIOBJECTIVE FUZZY OPTIMIZATION TECHNIQUES FOR PLANE TRUSS SYSTEMS DESIGN

ABSTRACT

In this study plane truss systems were dimensionally optimized by using fuzzy sets. For this aim λ formulation was applied. The analysis of the truss system was made with respect to matrix-displacement method. The alghoritm of multi-objective fuzzy optimisation was formed using the macros of Ms-excell. A number of design examples are presented to demonstrate the application of the algorithm. The optimall results obtained were compared to the ones of the previous studies.

Key Words: fuzzy logic, plane truss, optimization

1. GİRİŞ

Bulanık mantık ve bulanık küme teorisi, ilk kez 1965 Prof. Lotfi A. Zadeh tarafından ortaya atılmış ve hızla gelişerek bir çok bilim adamının ilgisini çeken araştırmaya açık yeni bir konu olmuştur (14). Bulanık mantık haberleşme, kontrol, entegre devreleri üretimi, işletme, tıp, psikoloji ve mühendisliğin bir çok dalında uygulanmıştır.

Mühendislik ve diğer bilim dallarında sistemler, kesin matematiksel işlemler kullanılmak suretiyle modellenir. Yapı boyutlandırma problemi, belirli bir amacı ve sınırlayıcıları sağlayacak bir karar verme işlemi olarak düşünülebilir. Öncelikle yapının şekli üzerinde karar verilerek, yapı elemanlarının kesitleri yapıya etkiyen dış yükler altında çubuklarda doğan gerilmeler ile düğüm noktalarının deplasmanları şartnamede belirlenen yapı davranışı sağlanıncaya kadar kontrol edilir. Optimizasyon işlemi bu şartlar sağlanıncaya kadar devam edilir.

Sistemin hassas bir matematiksel modeli geliştirilirken karşılaşılan yetersiz veri, sistemin sınırlayıcıları, boyutlandırma amaçlarının yetersiz formülasyonu ve amaçlar arası bağıl önemi değerlendirmeme problemi, hassasiyet eksikliğine sebep olur. Sistem karmaşıklaştıkça sistemin davranışı ve sistemin hassas matematiksel terimlerle modellenmesi güçleşir. Boyutlandırma probleminin belirsiz ve karmaşık yapısını modellemek için bulanık kümeleri teorisinin kullanılması bu durumda avantaj sağlar (14).

Geleneksel küme teorisinde, bir elemanın üyelik elemanı ya 0 yada 1 ile gösterilirken, bulanık küme teorisinde, bu değer 0 ile 1 arasında herhangi bir değer olabilir. Bu değer bulanık kümeye ait olma derecesini gösterir.

Bulanık sistemlerin optimizasyon ile ilgili ilk çalışmalar Zimmermann ve Tanaka tarafından yapılmıştır (8,9). Buradan hareketle, bulanık doğrusal programlama ile bulanık nonlineer programlama üzerinde çalışmalar yoğunlaşmıştır (4,5,22). Rao mekanik sistemlerin optimum boyutlandırma ve tanımlanmasını yaptımıştır (18). Tek bir amaç fonksiyonu ile yapıların optimum boyutlandırılması Yuan ve Quan tarafından ele alınmış olup, bulanık kümelerin inşaat mühendisliğinde uygulanması Braun ve Yao tarafından gerçekleştirilmiştir (2,24,25). Mühendislik sistemlerin sonlu elamanlarla çözümde bulanık kümeleri kullanılmış, Rao mühendislik sistemlerinin çok amaçlı bulanık optimizasyonu için bir formülasyon vermiştir (12,19). Çok amaçlı bulanık optimizasyon tekniği ile ilgili literatürde bir çok çalışmalar mevcuttur (3,13,19,20,21).

Bu makale bulanık mühendislik sistemlerinin çok amaçlı optimizasyonuna yönelik olarak, λ formülasyonunun bir optimum boyutlandırmaya ulaşmak amacıyla kullanabileceğini göstermektedir.

2. ÇALIŞMA TABLO YAZILIMI

Günümüzde, çalışma tablo yazılımı, en popüler bilgisayar yazılımları arasında bulunmaktadır (1,6,7,23). İlk olarak Lotus-123 paket program ile gündeme gelen ve çalışma tablolarında, elektronik hücreler veya hücreler topluluklarından oluşan çalışma tablolarında, istenen işlemler formüller halinde girilir ve otomatik olarak çalıştırılır veya bu işlemlere uygun komutlar kullanılır.

Günümüzde yaygın olarak kullanılan Ms-Excel çalışma tabloları, çeşitli hazır fonksiyonlar ile kendine özgü bir programlama diline sahiptir. Bu dili kullanarak makro adı verilen programlar oluşturulur. Makrolar, çalışma tablosunun programları içerisinde yazılan ve çalıştırılabilen küçük programlar olup, iki türlü tanımlanabilir; komut makroları ve fonksiyon makrolarıdır. Fonksiyon makroları kullanıcının yeni fonksiyonlar yazarak Excel'in fonksiyon kümesini genişletmesini sağlar. Komut makroları ise; doğrudan çalışma tablosu üzerinde kullanılabilen fonksiyonlardan meydana gelir. Oldukça gelişmiş bir makro diline sahip olan Excel'in makro fonksiyonlarını, Excel'e ait diğer fonksiyonlarla birlikte kullanarak, mühendislik sistemlerinde istenecek her türlü operasyonu ve işlemi gerçekleştirebilecek makrolar oluşturmak mümkündür (15,16).

3. ÇALIŞMA TABLOLARI İLE GELİŞTİRİLEN ÇOK AMAÇLI BULANIK OPTİMİZASYON YÖNTEMİ

3.1. Bulanık Optimizasyon

Bulanık matematiksel programlama yöntemlerinden biri olan bulanık optimizasyon, bulanık ortamında karar vermeyi sağlayan bir tekniktir. Bulanık çevrede karar verme deyimiyle, sınırlayıcıların ya da amaçların ya da her ikisinin yapı olarak bulanık olduğu bir karar sürecinde kastedilmektedir. Bu amaçların ya da sınırlayıcıların sınırları kesin olarak tanımlanmamış alternatif gruplar içerdiği anlamına gelir. Amaç fonksiyonu ile sınırlayıcıların kesişimi sonucu elde edilen çözümlere ise bulanık karar denir. Bulanık alternatifler olarak adlandırılırlar. Alternatifler uzayındaki en yüksek üyelik derecesine sahip bulanık karar ya da kararlar ise, optimum karar olarak adlandırılır. Bulanık programlamada amaç optimum karara ulaşmaktı (17).

Bir problem bulanık optimizasyon yöntemi ile çözülürken dikkat edilmesi gereken en önemli noktalardan biri kullanılacak üyelik fonksiyonun biçiminin seçimidir. Çünkü seçilen üyelik fonksiyonu biçiminin doğruluğu ve problemin yapısına uygunluğu, problemin çözümünü doğrudan etkilemektedir.

3.2. Genel Amaçlı Optimizasyon Makrosu

Klasik programlama yöntemleri ile yapıların optimizasyonunda, programlamanın önemli bir kısmını optimizasyon işlemi oluşturmaktadır. Bu çalışmada optimizasyon işlemi, çalışma tablosu paket programları içerisinde yerleşik olarak bulunan genel amaçlı optimizasyon makrosu Solver tarafından yapılmaktadır.

Solver programı belirtilen sınırlayıcılar altında, tanımlanan amaç fonksiyonun maksimum, minimum veya belirli bir değere eşitlenmesini sağlayan, lineer ve lineer olmayan problemlerde ***simplex*** ve ***integer*** (*Tam sayılı*) problemlerde ***branch and bound*** (*Dal-sınır*) çözüm yöntemlerini kullanan bir optimizasyon aracıdır. Solver ile bir bulanık optimizasyon problemi çözülürken aşağıdaki adımlar uygulanmaktadır:

1. Çalışma tablo üzerinde uygun yerlere, bağımsız değişkenlerin başlangıç değerleri rastgele yazılır.
2. Bağımsız değişkenlerin bulunduğu hücreler referans gösterilerek, tablonun uygun yerlerinde amaç fonksiyonu ve sınırlayıcılar ile bulanık üyelik fonksiyonları formülize edilir.
3. Otomatik etkileşim özelliğinden yararlanılarak, en uygun başlangıç değerleri seçilir
4. Solver çalıştırılır ve diyalog kutusunun ilgili yerlerine amaç fonksiyonu ve sınırlayıcılar ile bulanık küme bilgileri girilir.

5. Solver diyalog kutusunun options butonu yardımıyla, solver seçenekleri diyalog kutusundan optimizasyon yöntemi, hassasiyet ve maksimum adım sayısı gibi bilgiler seçilir.
6. Solver butonu yardımıyla bulanık optimizasyon işlemine başlanılır. Optimizasyon işlemi esnasında tablodaki değerlerin değişimi, otomatik etkileşim özelliğinden dolayı, görsel olarak izlenebilir. Yeterli yaklaşım sağlandığında, işlem sona erer.

Yapının deplasman, rijitlik, gerilme sınırlayıcıları altında optimum boyutlandırılmasında yukarıda verilen adımlar uygulanır.

Optimizasyon yapmak için Excel'deki solver parametresinden faydalanarak bulanık küme bilgilerinin işleme katılması ile bulanık optimizasyon yönteminin oluşturulması sağlanılmıştır

3.3. Çok Amaçlı Bulanık Optimizasyon Yöntemi

Bu yöntem çok amaçlı optimizasyon tekniğine uygulanan, çok amaçlı bulanık optimizasyon yöntemidir. Boyutlandırma probleminin amaç fonksiyonları, sınırlayıcılarındaki belirsizlik ve karmaşık yapısını çözmek için bulanık kümeler kullanılarak modellendi.

Başlangıçta bulanık küme bilgileri, her bir sınırlayıcı fonksiyonunun yerini tutan üyelik elemanları bulunmaktadır. Üyelik fonksiyonlarının biçimi seçilerek, bulanık geçiş bölgesi en uygun şekilde tanımlanır.

Geliştirilen yöntemin formülasyonu aşağıdaki alt bölümlerde tanımlanmaktadır.

3.3.1. Çok amaçlı bulanık optimizasyon için genel matematiksel model

Bilindiği gibi (19), klasik çok amaçlı optimizasyon probleminin durumu:

$$\min f(x)$$

$$g_j^{(l)} \leq g_j(x) \leq g_j^{(u)} \qquad j = 1,2,\ldots,m, \tag{1}$$

Burada, x boyutlandırma değişkeni, $f(x) = \{f_1(x), f_2(x), \ldots, f_k(x)\}^T$ amaç fonksiyonunun vektörü, $g_j(x)$ j. sınırlayıcı fonksiyonu ve $\{\ l,\ u\ \}$ alt ve üst sınır değerleri olarak tanımlanır. Bu fonksiyon:

$$\min f(x)$$

$$g_j(x) \in G_j\,; \qquad j = 1,2,\ldots,m, \tag{2}$$

G_j sınırlayıcı fonksiyonları için $g_j;G_j = [g_j^l, g_j^u]$ aralıklarıyla belirtilir. Sınırlayıcılar bulanık küme bilgilerini içerdiği için problem, denklem (2)'dekine benzer olarak:

$$\min f(x)$$

$$g_j(x) \in G_j; \qquad j = 1,2,\ldots,m, \tag{3}$$

tanımlanır.

Belirtilen bu operatörler, bulanık küme değişken bilgilerinin sınırlayıcı değerlerine kadar kullanılır. Bundan dolayı $g_j(x) \in G_j$ sınırlayıcısı, $\mu_{G_j}(g_j) > 0$'ın yönündeki G_j bulanık kümesinin bir elemanıdır. Bulanık optimum karar $\underset{\sim}{D}$, bütün sınırlayıcıların kesişim kümesi olarak tanımlanır.

$$\underset{\sim}{D} = \bigcap_{j=1}^{m} G_j \tag{4}$$

ve üyelik derecesi bir x boyutlandırma değişkeninin bulanık optimum karar $\underset{\sim}{D}$, tarafından elde edilir ve aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$\mu_{\underset{\sim}{D}}(x) = \min_{j=1,2,\ldots,m} \{\mu_{G_j}[g_j(x)]\}, \tag{5}$$

Bütün sınırlayıcılar, x boyutlandırma değişkeninin minimum değeri hesaba katılarak $\mu_{\underset{\sim}{D}}(x) > 0$ ifadesini sağlamalıdır.

3.3.2. λ-Formülasyonu

Denklem (5) de belirtildiği gibi bulanık optimum kararın üyelik fonksiyonu $\mu_D(x) > 0$ dır. Tek amaçlı fonksiyon, $f(x)$'in bulanık karar. S ($\underset{\sim}{D}$), bulanık amaç ve bulanık sınırlayıcıların kesişimidir:

$$S = \{\mu_f(x)\} \cap \left\{\bigcap_{j=1}^{m} \mu_{G_j}\left[g_j(x)\right]\right\} \tag{6}$$

Bulanık optimum karar S, optimum çözümü elde edilen bulanık optimum kararlar arasındaki en büyük üyelik derecesine sahip olan değer

$$\mu_S(x) = \max \mu_S(x) \text{ dir.} \tag{7}$$

veya

$$\mu_S(x) = \min\{\mu_f(x), \mu_{G_1}[g_1(x)], \mu_{G_2}[g_2(x)], ..., \mu_{G_m}[g_m(x)]\}$$

olarak tanımlanır. (8)

Yukarıdaki yaklaşım göz önüne alınarak, çok amaçlı bulanık optimizasyon probleminin formülasyonu, amaç fonksiyonu ve sınırlayıcıların

$$\mu_{f_i}(x) = \begin{cases} f_i(x) > f_i^{\max} & \Rightarrow \\ f_i^{\min} < f_i(x) \le f_i^{\max} & \Rightarrow \\ f_i(x) \le f_i^{\min} & \Rightarrow \end{cases}$$

kesişiminden oluşan bulanık karar aşağıdaki gibi yazılır.

$$S = \left(\bigcap_{i=1}^{k} \mu_{f_i}(x) \right) \cap \left(\bigcap_{j=1}^{m} \mu_{G_j}[g_j(x)] \right) \quad (9)$$

Buradan

$$\mu_S(x) = \min_{i,j}\{\mu_{f_i}(x), \mu_{G_j}[g_j(x)]\} \quad (10)$$

elde edilir.

Burada *i.* amaç ve *j.* sınırlayıcı fonksiyonun üyelik elemanları sırayla $\mu_{fi}(x)$ ve $\mu_{Gj}[g_j(x)]$ olarak tanımlanır. Optimum çözüm *(x^*)* değeri:

$$\mu_S(x^*) = \max \mu_S(x) \quad (11)$$

olarak tanımlanır.

3.3.3. İşlem sırası

Genel olarak aşağıdaki adımlardan oluşur:

1- Başlangıçta herhangi bir boyutlandırma değişkeni x_s, $f_i(x)$ amaç fonksiyonunun minimizasyonundaki sınırlar $g_j^{(l)} \le g_j(x) \le g_j^{(u)}; j = 1,2,...,m$ klasik optimizasyon yöntemini kullanır. Çözüm için $x_i^*, i = 1,2,...,k$ dır.

2- Amaç fonksiyonunun minimum ve maksimum değerleri:

$$\left. \begin{aligned} f_i^{\min} &= \min_j f_i(x_j^*) = f_i(x_i^*) \\ f_i^{\max} &= \max_j f_i(x_j^*), \end{aligned} \right\}, i = 1,2,...,k, \quad (8) \quad (12)$$

3- Denklem (12) de belirtilen f_i 'nin sınır değerlerindeki, bulanık amaç fonksiyonlarının, üyelik fonksiyonları:

0.

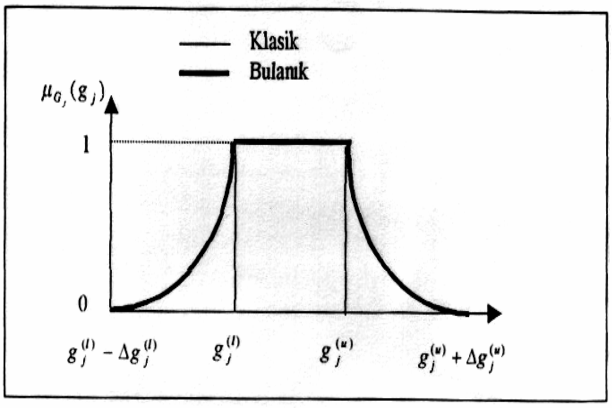
$$\left(\frac{f_i^{\max} - f_i(x)}{f_i^{\max} - f_i^{\min}} \right), i = 1,2,,...,k. \quad (13)$$

1.

4- λ-parametresinin maksimum olması durumu, bulanık kararın en büyük değere ulaşmasını sağlar.

$$\lambda = [f_i^{\max} - f_i(x)]/[f_i^{\max} - f_i^{\min}] \quad (14)$$

elde edilir .



Şekil 1. Klasik ve bulanık sınırlar

5- Bulanık sınırlayıcıların durumu:

$$g_j^{(l)} - \Delta g_j^{(l)} \le g_j(x) \le g_j^{(u)} + \Delta g_j^{(u)}, \; j = 1,2,...,m, \quad (15)$$

Burada $\Delta g_j^{(l)}$ ve $\Delta g_j^{(u)}$ sınır aralığı. *j.* sınırlayıcının üyelik fonksiyonları:

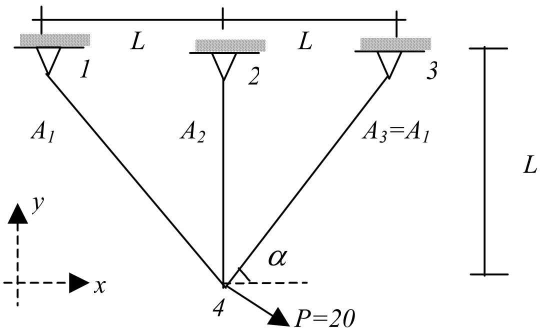
$$\mu_{g_j(l)}(x)=\begin{cases} g_j(x)\geq g_j^{(l)} & \Rightarrow \quad 1 \\ g_j^{(l)}-\Delta g_j^{(l)}<g_j(x)<g_j^{(l)} & \Rightarrow \quad \left(\dfrac{g_j(x)-g_j^{(l)}+\Delta g_j^{(l)}}{\Delta g_j^{(l)}}\right) \\ g_j(x)\leq g_j^{(l)}-\Delta g_j^{(l)} & \Rightarrow \quad 0 \end{cases} \tag{16}$$

$$\mu_{g_j(u)}(x)=\begin{cases} g_j(x^*)\leq g_j^{(u)} & \Rightarrow \quad 1 \\ g_j^{(u)}<g_j(x)<g_j^{(u)}+\Delta g_j^{(u)} & \Rightarrow \quad \left(\dfrac{-g_j(x)-g_j^{(u)}+\Delta g_j^{(u)}}{\Delta g_j^{(u)}}\right) \\ g_j(x)\geq g_j^{(u)}+\Delta g_j^{(u)}, & \Rightarrow \quad 0 \end{cases} \tag{17}$$

λ parametresinin maksimum değeri, çok amaçlı bulanık optimizasyon problemlerinde amaç ve sınırlayıcı fonksiyonlarının optimum çözümünü verir ve

$$\begin{aligned} &\max \lambda \\ &\lambda \leq \mu_{f_i}(x), i=1,2...,k \\ &\lambda \leq \mu_{g_{jl}}(x), j=1,2...,m \\ &\lambda \leq \mu_{g_{ju}}(x), j=1,2...,m. \end{aligned} \tag{18}$$

değerleri arasından bulunur.



Şekil 2. Üç çubuklu kafes sistem

Amaç fonksiyonları;

$$\min\begin{cases} W(x)=\sum_{J=1}^{3}\rho A_J \ell_I \\ \delta_4(x)=\sqrt{\delta_{4x}^2+\delta_{4y}^2} \end{cases}$$

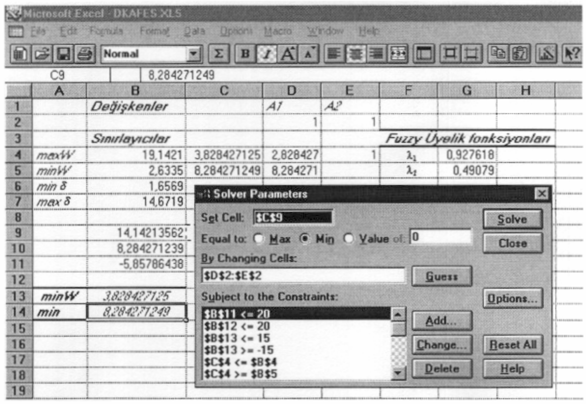
olarak tanımlanmış olup

Sınırlayıcılar; ise

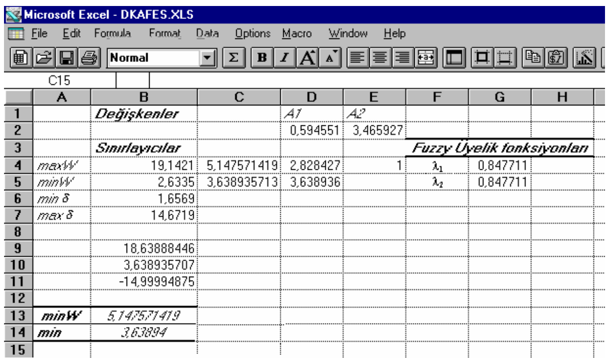
$\sigma_1 \leq \sigma^{(üst)}, \sigma_2 \leq \sigma^{(üst)}, \sigma_3 \geq \sigma^{(alt)}$

Boyutlandırma değişkenlerinin sınırları $A_i^{(alt)} \leq A_i \leq A_i^{(üst)}; i=1,2,$ değerleri $A_i^{(alt)}=0.1,(i=1,2), A_i^{(üst)}=5,(i=1,2)$ dir.

Gerilme sınırlayıcılarının sınırları ise $\sigma_i^{(alt)} \leq \sigma_i \leq \sigma_i^{(üst)}; i=1,2,3,$ değerleri $\sigma^{(alt)}=-15;(i=1,2,3), \sigma^{(üst)}=20;(i=1,2,3)$ ile verilmiştir.



Şekil 3. Çok amaçlı bulanık optimum boyutlandırma



Şekil 4. Sınırlayıcı denklemleri, bulanık küme bilgileri ve solver diyalog kutusu

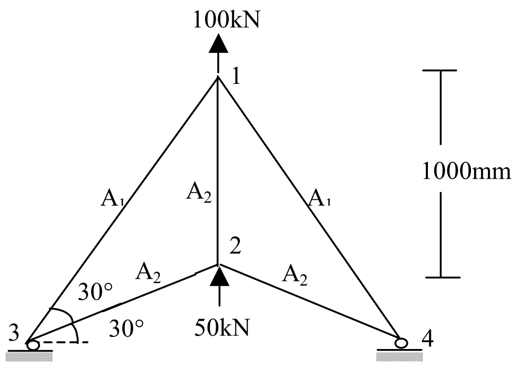
Çok amaçlı bulanık optimizasyon ile üç çubuklu kafes sistemin çözümünden elde edilen sonuçlar Rao'nun ve Shih sonuçları tablo2'de karşılaştırılmıştır (3,19).

Tablo 1. Çok amaçlı bulanık optimum çözüm

Üç çubuklu düzlem kafes	Üyelik fonksiyonu	Kesit alanları		Yapı hacmi	Yapı deplasmanı
	λ^*	A_1^*	A_2^*	W^*	δ_4^*
Rao [19]	0.8484	0.57956	3.48710	5.12636	3.62905
Shih [3]	0.8400	0.58061	3.64540	5.28761	3.48677
Bu Çalışmada	0.8477	0.59455	3.46593	5.14757	3.63894

4.2. Beş Çubuklu Düzlem Kafes Sistem

1 ve 2 düğüm noktasındaki düşey deplasman *5mm* ile sınırlandırılmıştır. Kafes sistem şekil-2 de görülmektedir. Elemanlardaki düğüm noktaları şekilde görüldüğü gibi numaralandırılmıştır. *1* ve *2* düğüm noktaları sadece düşey olarak hareket edebilirler ve düğüm deplasman vektörleri $\delta_y = \{\delta_{y1}, \delta_{y2}\}$ dir (10,11).



Şekil 5. Beş çubuklu kafes sistem

Amaç fonksiyonları;

$$\min \begin{cases} W(x) = \sum_{J=1}^{5} \rho A_J \ell_I \\ \delta_y(x) = \delta_{y1}, \delta_{y2} \end{cases}$$

olarak tanımlamış olup

*Sınırlayıcılar;*ise

Boyutlandırma değişkenlerinin sınırları $A_i^{(alt)} \leq A_i \leq A_i^{(üst)}; i = 1,2,$ değerleri $A_i^{(alt)} = 50mm^2, (i = 1,2), A_i^{(üst)} = 250mm^2, (i = 1,2)$ dir.

Gerilme sınırlayıcılarının sınırları ise $\sigma_i^{(alt)} \leq \sigma_i \leq \sigma_i^{(üst)}; i = 1,2,3,$ değerleri $\sigma^{(alt)} = -0.50kN/mm^2; (i = 1,2,3), \sigma^{üst)} = 0.50kN/mm^2; (i = 1,2,3)$ ile belirtilmiştir.

Bu problemde düğüm noktası deplasmanlarının, sınır değerlerin çok altında kaldığı görülmüştür. Boyutlandırmada deplasman ve kesit alan sınırlayıcıları hakim olmuştur.

Tablo 2. Çok amaçlı bulanık optimum çözüm

Beş çubuklu düzlem kafes	Üyelik fonksiyonu	Kesit alanları (mm^2)		Çubuk gerilmeleri (kN/mm^2)			Yapı deplasmanı (mm)	Yapı hacmi (mm^3)
	λ	A_1	A_2	$\sigma_{1,2}$	σ_3	$\sigma_{4,5}$	$\min\delta$	minW
	0.6596	203.62	96.93	0.39	0.50	0.32	3.37	996128

5. SONUÇLAR

Düzlem kafes sistemlerin belirsiz ve karmaşık yapısını optimum boyutlandırmak için, bulanık kümeler kullanılarak bir yöntem geliştirilmiştir. Geliştirilen bu yöntem Rao'nun [19] mühendislik sistemlerin çözümü için vermiş olduğu çok amaçlı bulanık optimizasyon parametresi olan λ formülasyonu kullanılmıştır.

1. Düzlem kafes sistemlerin bulanık optimizasyon ile çözümü için Ms-Excel'deki makroları kullanarak bir algoritma geliştirilmiştir. Geliştirilen algoritma genel amaçlı olup, uzay kafes sistemlere de uygulanabilir.

2. Bulanık optimizasyonundaki amaç en yüksek üyelik derecesine sahip bulanık optimum karara ulaşmaktır. Ulaşılan bu optimum karar amaç fonksiyonlarını minimize eder.

3. Bulanık küme kullanarak optimizasyon yapma işleminin küçük bir yazılımla, daha hızlı bir sonuca ulaşıldığı görülmüştür.

4. Bulanık optimizasyonundaki amaç fonksiyonları da, birer sınırlayıcı olarak işleme katılmıştır.

5. Boyutlandırma probleminin belirsiz ve karmaşık yapısını modellemek için bulanık küme teorisi kullanımının uygun olduğu görülmüştür.

6. Çok amaçlı bulanık optimizasyon yöntemi olan λ formülasyonu ile çözülen örnekler daha önce yapılmış çalışmalar ile karşılaştırılıp sonuçlar irdelenmiştir.

KAYNAKLAR

1. Bayburan, B., Bayburan, O., Sıdık, K., "Ms-Excel Makro", İstanbul 1. sayı, Mart, 1994
2. Brown, C.B., and Yao, J.T.O., Fuzzy sets and structural engineering. Asce J. Struct.Engng 109, 1211-1225-1983

3. Shih, C.J., Chang, C.J., Pareto optimization of alternative global criterion method for fuzzy structural design. Computers &Structural Vol. 54, No. 3, 455-460, 1995
4. Shih, C.J., Tseng, T.J., Robus feasible engineering optimization using fuzzy nonlinear programming. Derp. of Mech. Engng. Tamaka Universty, Tamsui, Taiwan 25137, R.O.C.
5. Jung, C.Y., Pulmano, V.A., İmproved fuzzy linear programming model for structure designs. Computers &Structural Vol. 58, No. 3, 471-477, 1996
6. Özmen, G., Elektronik Tablolar İle Diferansiyel Denklemlerin Çözümü. İMO Teknik Dergisi, 1995
7. Akpınar, H., Excel'de Fonksiyonlar, Veri Analizleri ve Problem Çözme, İ.Ü. İşletme Fak. 1.sayı, Ocak, 1996
8. Tanaka, H., Okuda T., Asia, K., On fuzzy mathematical programming. J. Cybernetics 3, 37-46, 1974
9. Zimmermann, H.J., Optimization in fuzzy environment. XXI International TIMS and 46th Conference, San Juan, Perto Rico, 1974
10. Majid, K.I., Introduction to Matrix and Numarical Methods for Civil Engineers, London, s,1., 1980
11. Majid, K.I., Optimum Design of Structures, London, 1974
12. Chen, L., Rao, S.S., Fuzzy finite-element appraoch for the vibration analysis of imprecisely-defined systems. Finite Elements in Analysis and Design, 27, 69-83, 1997
13. Quanyong, L., Wei, Z., Ying, Z., A nonlinear progranning for multi-objective fuzzy optimal design. J. of Guilin İnst. Of Elec. Technology, Vol.19, No.1, 1999
14. Zedah, L., Fuzzy sets. Information and Control 8, 338-353, 1965
15. Ülker, M., Hayalioğlu, M.S., Optimum design of space trusses with buckling constraints by means of spreadsheets. Turk J Engin. Environ Sci, Tübitak, 25, 355-367, 2001
16. Ülker, M., Uzay Kafes Sistemlerin Çalışma Tablolarıyla Optimum Boyutlandırması, Fırat Ünv. İnşaat Müh. Fak. Elazığ, 1996
17. Bellman, R.E., Zadeh, L.A. Decision-making in a fuzzy environment. Management Science, Vol. 17, 141-164, 1970
18. Rao, S.S., Description and optimum design of fuzzy mechanical systems. J. Mech. Trans. Automation Design 109, 126-132, 1987
19. Rao, S.S., Sundararaju, K., Prakash, B.G., Balakrishna, C., Multiobjective fuzzy optimization techniques for engineering design. Computers &Structural, Vol. 42, No. 1, 37-44, 1992
20. Rao, S.S., Multiobjective optimization in structural design with uncertain parameters and stochastic processes. AIAA JI 22, 1670-1678, 1984
21. Rao, S.S., Multiobjective optimization of fuzzy structural systems. Int. J. Numer. Meth. Engng 24, 1157-1171, 1987
22. Mohandas, S.U., Phelps, T.A., Ragsdell, K.M., Structural optimization using a fuzzy goal programming approach. Computers &Structural, Vol. 37, No. 1, 1-8, 1990
23. Yurt, T. Bilim ve teknoloji için excel uygulamaları. Alkım Kitapçılık Yayıncılık, 1994
24. Yuan, W.G., and Quan, W.W., Fuzzy optimum design of structures. Engng. Optimiz. 8, 291-300, 1985
25. Yuan, W.G., Quan, W.W., Fuzzy optimum design of aseimic structures. Earthquake Engng. Struct. Dyn. 13, 827-837, 1985