ISSN:1306-3111
e-Journal of New World Sciences Academy
2009, Volume: 4, Number: 3, Article Number: 1A0029

**TECHNOLOGICAL APPLIED SCIENCES**
Received: November 2008
Accepted: June 2009
Series : 2A
ISSN : 1308-7223


**Ömer Keleşoğlu**
Firat University
okelesoglu@firat.edu.tr
Elazig-Turkey

# DÜZLEM KAFES SİSTEMLERİN BULANIK DOĞRUSAL PROGRAMLAMA İLE OPTİMUM BOYUTLANDIRILMASI

**ÖZET**

Bu çalışmada, bulanık üyelik fonksiyonu kullanılarak düzlem kafes sistemlerin boyutlandırılması gerçekleştirilmiştir. Özellikle keskin doğrusal programlama yerine yumuşak hesaplama yaklaşımlarından olan bulanık doğrusal programlama tercih edilmiştir. Boyutlandırma problemi üyelik fonksiyonlarını kullanan bir $\alpha$-kesme yaklaşımı olarak, bir optimum karar oluşturularak çözülmüştür. Boyutlandırma probleminin formülasyonunda deplasman, çekme gerilmesi, burkulma gerilmesi ve minimum alan sınırlayıcıları gözönüne alınmıştır. $\alpha$-seviye kesen yaklaşımı, düzlem kafes sistemlerin boyutlandırma problemleri üzerinde örneklenmiş ve sonuçlar tartışılmıştır.
**Anahtar Kelimeler**: Düzlem Kafes Sistem, Bulanık Doğrusal Programlama, Boyutlandırma, Çekme Gerilmesi, Burkulma Gerilmesi

# OPTIMUM DESIGN OF PLANE TRUSS SYSTEMS BY FUZZY LINEAR PROGRAMMING

**ABSTRACT**

In this study, design of plane truss systems has been implemented by fuzzy membership function. Especially it was preferred a fuzzy linear programming which is a soft calculation method, instead of hard linear programming. The design problem is solved by constructing an optimal decision function as a $\alpha$-level cut approach using membership function. The displacement, tensile stress, buckling stress and minimum size constraints are considered in the formulation of the design problem. The $\alpha$-cut approach is illustrated on plane truss systems design problems and the results are discusses.
**Keywords**: Plane Truss System, Fuzzy Linear Programming, Design, Tensile Stress, Buckling Stress

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Mühendislikte ve diğer bilim dallarında sistemler, kesin matematiksel işlemleri kullanmak suretiyle modellenir. Günlük hayatta karşılaşılan problemlerin büyük çoğunluğu bir kesin olmama durumu veya bir tanımlama durumu içerir. Bu problemlerin daha etkin çözülebilmesi için bir yol bulunması gerekmektedir. Günümüzde sistemler genel olarak kararlı, doğrusal ve zaman bağımlı değişmeyen bir yapıya sahiptir. Bu özelliklerin dışına çıkıldığı zaman sistem kontrol edilemeyecek hale gelecektir. Eğer bu sistem insan gibi hareket edebilen bir yapıyla kontrol edilebilirse, kararlı veya kararsız, doğrusal yada doğrusal olmayan, zamanla değişen veya değişmeyen bir özellikte olsa dahi uygun bir şekilde çalıştırılabilir. İşte bu durumlar bilim adamlarını insan gibi algılayabilen, karar verebilen ve hareket edebilen sistemler yapmaya yöneltmektedir [1].

Bulanık mantık ve bulanık küme teorisi, ilk kez 1965 yılında Prof. Lotfi A. Zadeh tarafından ortaya atılmış ve hızla gelişerek bir çok bilim adamının ilgisini çeken araştırmaya açık yeni bir konu olmuştur [2]. Bulanık mantık haberleşme, kontrol, entegre devreleri üretimi, işletme, tıp, psikoloji ve mühendisliğin bir çok dalında uygulanmıştır.

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

Bulanık doğrusal programlama problemlerinin çözümünden bahseden çalışmalar Zimmermann ile Tanaka tarafından yapılmıştır [3 ve 4]. O zamandan beri bulanık doğrusal programlama ile bulanık doğrusal olmayan programlama üzerinde birkaç makale görüldü [5 ve 6]. Rao mekanik sistemlerin optimum boyutlandırma ve tanımını yaptı [7]. Tek bir amaç fonksiyonu ile yapıların optimum tasarımı Yuan ve Quan tarafından ele alındı [8]. Bulanık kümelerin inşaat mühendisliğinde birkaç uygulanması Braun ve Yao tarafından gerçekleştirildi [9]. Mühendislik sistemlerin sonlu elamanlarla çözümden bulanık kümeleri kullanılmıştır [10]. Keleşoğlu doğrusal ve doğrusal olmayan uzay kafes sistemlerin bulanık çok amaçlı optimizasyonu için algoritmalar sunmuştur [11, 12 ve 13].

## 2. ÇALIŞMANIN ÖNEMİ (RESEACH SIGNIFICANCE)

Bu çalışmada, bulanık doğrusal programlama kullanılarak düzlem kafes sistemlerin boyutlandırılması yapılmıştır. Boyutlandırma probleminin çözümü için α-seviye kesen yaklaşımı kullanılmıştır. Boyutlandırmada kesit alanları değişken olarak kullanılmış ve bulanık sınırlayıcılar altında yapı hacmi minimize edilmiştir. Bulanık sınırlayıcılar olarak gerilme ve deplasman sınırlayıcıları kullanılmıştır. Sayısal uygulama olarak düzlem kafes sistemler çözülerek literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılmıştır [14, 15, 16, 17, 18, 19 ve 20].

## 3. BULANIK KÜME VE ÜYELİK FONKSİYONLARI (FUZZY SETS AND MEMBERSHIP FUNCTIONS)

Üyelik fonksiyonları (*membership functions*) olarak bilinirler ve *0* ile *1* arasında bir üyelik ağırlığına *(gread of membership)* sahiptirler. Üyelik ağırlığı belirli bir değerin bir bulanık küme içerisinde yer almasının güvenirliliğinin ve eminliğinin bir işaretidir. Üyelik fonksiyonları biçimsel olarak, denetlenen sürecin özelliklerine göre değişik şekillerde olabilir.

Özet olarak, klasik Boolean mantığından bir değer bir kümenin ya elemanıdır *(logic 1)* ya da değildir *(logic 0)*. Buna karşın bulanık mantıkta her değerin her küme için bir üyelik derecesi vardır. Bu üyelik derecesi $[0,1]$ kapalı aralığındadır. Başka bir değişle bir değer bir kümenin kısmi üyesi olabilir. Bu özellik sayesinde bulanık mantık insan düşünce sistemini klasik var/yok mantığına göre daha iyi modelleyebilir ve insanın tecrübelerini matematiksel ifadelere çok daha doğru şekilde dönüştürebilir.

Bu çalışmada ele alınacak bulanık doğrusal programlama problemlerinin çözümü için doğrusal üyelik fonksiyonu biçimi kullanılmıştır. Kolaylık sağlaması bakımından bu tür üyelik fonksiyon biçimi ve kullanılacak çözüm yöntemlerinin karar vericinin kararına ve karar sürecinin rasyonelliğine uygun olduğu ön varsayımı yapılmıştır.

## 4. BULANIK DOĞRUSAL PROGRAMLAMA (FUZZY LINEAR PROGRAMMNG)

Bulanık matematiksel programlama yöntemlerinden biri olan bulanık doğrusal programlama, bulanık ortamda karar vermeyi sağlayan bir tekniktir. Bulanık çevrede karar verme deyimi ile, sınırlayıcıların ya da amaçların ya da her ikisinin yapı olarak bulanık olduğu bir karar süreci 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 ulaşmaktır [11].

## 5. BULANIK DOĞRUSAL PROGRAMLAMANIN MATEMATIKSEL FORMÜLASYONU (THE MATHEMATICAL FORMULATION OF THE FUZZY LINEAR PROGRAMMING)

Boyutlandırma probleminin amaç fonksiyonu, sınırlayıcılarındaki belirsizlik ve karmaşık yapısını çözmek için bulanık kümeler kullanılmıştır. Başlangıçta bulanık küme bilgileri, her bir sınırlayıcı fonksiyonunun yerini tutan üyelik elemanları bulunmaktadır. Üyelik fonksiyonlarının biçimi doğrusal seçilerek, bulanık geçiş bölgesi en uygun şekilde tanımlanmış. Geliştirilen yöntemin formülasyonu aşağıdaki alt bölümlerde tanımlanmıştır.

Bulanık doğrusal programlama amaç fonksiyonu $f(x)$ ve $x$ boyutlandırma değişkenin durumu:

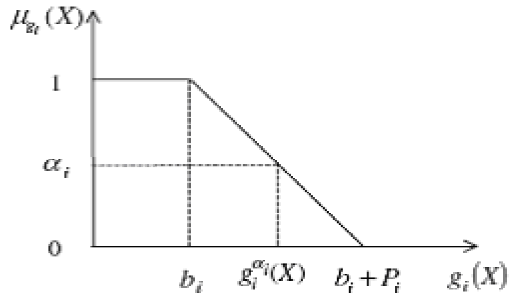
$$\min f(X) \tag{1}$$

Boyutlandırma sınırlayıcılarının durumu:

$$g_i(X) \le \tilde{b}_i, \quad i = 1,2...,m \tag{2}$$

$$X_j^{alt} \le X_j \le X_j^{üst} \quad j = 1,2,...,n$$

Burada, amaç fonksiyonu $f(X)$, $g_i(X)$ bulanık sınırlayıcı fonksiyonu ve boyutlandırma değişkenlerinin alt ve üst sınır değerleri $X_i^{alt}$, $X_i^{üst}$ olarak tanımlanmıştır.




Şekil 1. $\alpha_i$ seviye kesen ile üyelik fonksiyonu $\mu_{gi}(\text{X})$

(Figure 1. ($\mu_{gi}(\text{X})$ Membership function with cut-level $\alpha_i$))

Şekil 1'deki bulanık bölge $\tilde{b}_i \in [b_i, b_i + p_i]$ ve $p_i$ bulanık tolerans miktarı olarak tanımlanır. Her bulanık sınırlayıcı için $p_i$ bilinir. Dolaysıyla denklem (2) eşitsizliğinin sağ yan değeri $(b_i + \alpha p_i)$ olarak elde edilir ve burada $\alpha \in [0,1]$'dır. Bu durum, bulanık sınırlayıcılar problemi kesin bir parametrik programlama problemine dönüştürülmüştür.

Denklem (1) ve (2) göre bulanık sınırlayıcıların üyelik fonksiyonları

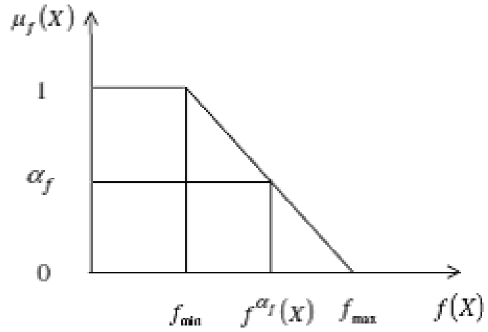
$$\mu_{gi}(X) = \begin{cases} 1 & g_i(X) < b_i \\ 1 - \dfrac{g_i(X) - b_i}{p_i} & b_i \le g_i(X) \le b_i + p_i \\ 0 & g_i(X) > b_i + p_i \end{cases}$$

olmalı. Burada $\mu_{gi}(X)$ üyelik fonksiyonu olarak tanımlanır. Tanımlanmış sürekli ve monoton fonksiyonlar ve bulanık sınırlayıcılar arasında $p_i$ tolerans bölgesidir.

Denklem (1)'i çözmek için amaç fonksiyonları $f_{\max}$ ve $f_{\min}$ olarak tanımlanır.

$$f_{\max} = \min f(X), \quad \text{sınırlayıcı} \quad g_i(X) \le b_i \, \forall_i, \quad X_j^{alt} \le X_j \le X_j^{üst} \tag{4}$$

$$f_{\min} = \min f(X), \quad \text{sınırlayıcı} \quad g_i(X) \le b_i + p_i \, \forall_i, \quad X_j^{alt} \le X_j \le X_j^{üst} \tag{5}$$




Şekil 2. $\alpha_f$ seviye kesen ile üyelik fonksiyonu $\mu_f(\text{X})$

(Figure 2. ($\mu_f(\text{X})$ Membership function with cut-level $\alpha_f$))

üyelik fonksiyonu $\mu_f(X)$, Şekil 2'deki amaç fonksiyonlarının durumu

$$\mu_f(X)=\begin{cases}1 & f(X)<f_{\min}\\ 1-\dfrac{f(X)-f_{\min}}{f_{\max}-f_{\min}} & f_{\min}\le f(X)\le f_{\max}\\ 0 & f(X)>f_{\max}\end{cases} \quad (6)$$

olarak tanımlanmıştır. Dolaysıyla $f_{\max}$, $f_{\min}$ değerlerini kullanarak amaç fonksiyonu için sürekli aratan doğrusal bir üyelik fonksiyonu oluşturulur. Optimal çözüm $f_{\max}$, $f_{\min}$ arasında bir değer alacağı için optimal çözümün değeri arttıkça uygunluk değeri de artacaktır.

$\alpha$-seviye kesen yaklaşımında max$\alpha$ değeri bir optimum çözümünü verir. Yani amaç fonksiyonun üyelik derecesinin en büyük değeri optimum karar ulaşmamızı sağlar. Üyelik derecesi denklem (7)'de verilmiştir.

$$\mu_f(x)=\frac{f_{\max}-f(X)}{f_{\max}-f_{\min}}=1-\frac{f(X)-f_{\min}}{f_{\max}-f_{\min}} \quad (7)$$

Bulanık programlama için $\alpha$-seviye kesen yaklaşımı aşağıda verildiği gibidir. Değişkenler olarak $[X,\alpha]^T$ alınmıştır.

$$\min f(X) \quad (8)$$

Sınırlayıcılar

$$f(X)-[f_{\max}-\alpha(f_{\max}-f_{\min})]=0 \quad \text{doğrusal için } \mu_f(X) \quad (9)$$

Denklem (2)'de her bir sınırlayıcı fonksiyonuna sağ yan değerlerine (1-$\alpha$) eklenir

$$g_i(X)\le b_i+(1-\alpha)p_i,\forall_i \quad (10)$$

elde edilir.

$\alpha\in[0,1]$ ve $X_j^{alt}\le X_j\le X_j^{üst}$

burada denklem (9) doğrusal programlamada kullanılacaktır.

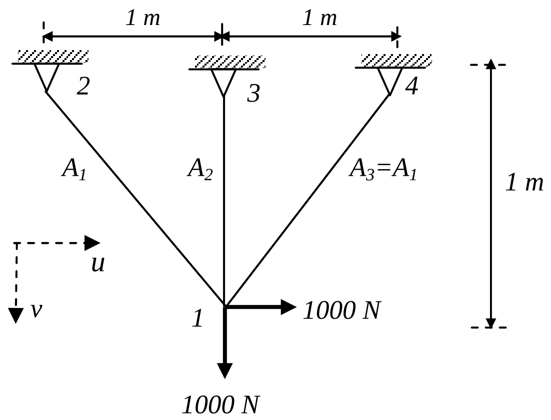
## 6. SAYISAL UYGULAMALAR (THE NUMERICAL APPLICATIONS)

Doğrusal Programlama ile boyutlandırma, değişkenler, sınırlayıcılar ve amaç fonksiyonu yardımı ile tanımlanmakta ve boyutlandırma ise bilinen şartlar altında yapılmaktadır. Belirsizlik altında bir boyutlandırma durumunda ise amaç fonksiyonu ve sınırlayıcılar belirsiz veya bulanıktır. Bulanık amaç fonksiyonu ve bulanık sınırlayıcılar, üyelik fonksiyonu yardımı ile karakterize edilebilir. Bir boyutlandırma probleminin Doğrusal Programlama ile kurulan modelinde yer alan değişkenlerin katsayıları, sağ taraf sabitleri ve amaç fonksiyonu boyutlandırmadan elde edilen bilgiler ışığında bulanık ortamda incelenmekte ve Bulanık Doğrusal Programlama algoritması ile bulandırılarak alternatifler araştırılmaktadır.

Bu çalışmada, $\alpha$-seviye kesen yaklaşımı kullanılarak Bulanık Doğrusal Programlama algoritması geliştirilmiştir. Geliştirilen algoritma ANSYS paket programında yazılmış ve algoritma düzlem kafes sistemlerin optimum boyutlandırılmasına uygulanmıştır.

### 6.1. Üç Çubuklu Düzlem Kafes Sistemin Optimum Boyutlandırılması (The Optimum Design Of The 3-Bars Plane Truss System)

Şekil 3'deki üç çubuklu kafes sistemin *1* düğüm noktasına yatayda ve düşeyde $P=1000N$ yükler etki etmektedir. Bu yükler altında kafes sistemin bulanık doğrusal programlama kullanılarak optimum boyutlandırılması istenmektedir. Amaç fonksiyonu olarak yapı hacmi alınmış, bulanık sınırlayıcılar olarak çubuklarda oluşan gerilmeler ile yatay (*u*) ve düşey (*v*) deplasmanlar göz önüne alınmıştır. Yükleme noktasının yataydaki müsaade edilebilir deplasmanı $7.5x10^{-6} m$ ve bulanık tolerans bölgesi $5.0x10^{-6} m$ olarak verilmiştir. Aynı düğüm noktasının düşeydeki müsaade edilebilir deplasmanı $5.0x10^{-6} m$ ve bulanık tolerans bölgesi $2.5x10^{-6} m$ olarak verilmiştir. *1* ve *2* nolu çubuklardaki gerilmeler $1.25x10^{6} Pa$ ve bulanık tolerans bölgeleri $5.0x10^{5} Pa$ olarak alınmıştır. *3* nolu çubuktaki, Euler burkulma gerilmesi $\sigma_{Euler} = 0.1Pa$ ve bulanık tolerans bölgesi $0.9x\sigma_{Euler}$ olarak verilmiştir. Bu sınırlayıcılar altında kafes sistemin optimum boyutlandırılması istenmektedir. Boyutlandırma değişkenleri $X = [A_1 = A_3, A_2, \alpha]^T = [x_1, x_2, x_3]^T$ dir.




Şekil 3. Üç çubuklu düzlem kafes sistem
(Figure 3. 3-Bars plane truss system)

$\alpha - seviye\, kesen$ yaklaşımının bulanık matematiksel formülasyonu aşağıdaki gibi ifade edilmiştir.

$$\min f(X) = 2\sqrt{2}\rho x_1 + \rho x_2 \qquad (11)$$

Sınırlayıcılar

$$g_1(X) = u(X) \le 7.5x10^{-6} + 5x10^{-6}(1-\alpha) \qquad (12)$$

$$g_2(X) = v(X) \le 5x10^{-6} + 2.5x10^{-6}(1-\alpha) \qquad (13)$$

$$g_3(X) = \sigma_1(X) \le 1.25x10^{6} + 5x10^{5}(1-\alpha) \qquad (14)$$

$$g_4(X) = \sigma_2(X) \le 1.25x10^{6} + 5x10^{5}(1-\alpha) \qquad (15)$$

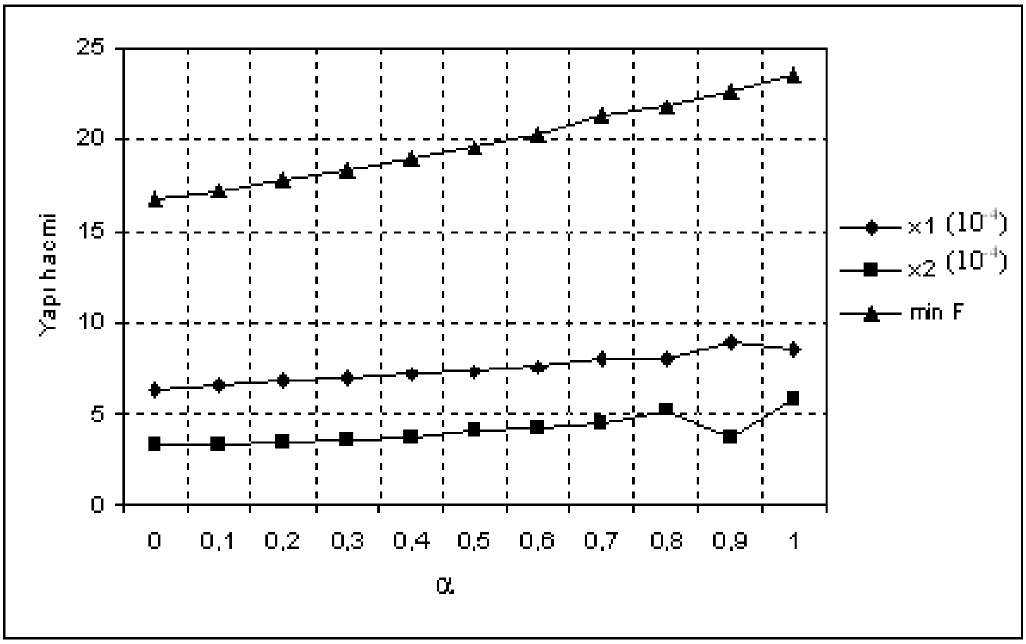
$$g_5(X) = \sigma_3 / \sigma_{Euler}(X) \le 0.1 + 0.9(1-\alpha) \qquad (16)$$

Problemin çözümü için gerekli olan malzeme özellikleri; elastisite modülü $E = 2.05x10^{11} Pa$, çubukların malzeme yoğunluğu $\rho = 7.86x10^{3}\ kg/m^{3}$ olup, malzeme iki grupta toplanmıştır. Boyutlandırma değişkenlerinin aralığı $10^{-4} \le x_i \le 10^{-2} \quad i = 1,2$ olarak verilmiştir.

Tablo 1. Üç çubuklu kafes sistemin optimum boyutlandırılması
(Table 1. Optimum Design for 3-bars plane truss system)

| | Bu çalışmada | | | Shih [14] | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $\alpha$ | $x_1\ (x10^{-4})$ m² | $x_2\ (x10^{-4})$ m² | $f(X^*)$ kg | $x_1\ (x10^{-4})$ m² | $x_2\ (x10^{-4})$ m² | $f(X^*)$ kg |
| 0 | 6.37 | 3.30 | 16.76 | 6.33 | 3.44 | 16.77 |
| 0.1 | 6.56 | 3.40 | 17.26 | 6.51 | 3.54 | 17.26 |
| 0.2 | 6.76 | 3.50 | 17.78 | 6.71 | 3.64 | 17.78 |
| 0.3 | 6.97 | 3.61 | 18.33 | 6.92 | 3.75 | 18.34 |
| 0.4 | 7.19 | 3.76 | 18.93 | 7.15 | 3.86 | 18.93 |
| 0.5 | 7.36 | 4.08 | 19.56 | 7.39 | 3.99 | 19.56 |
| 0.6 | 7.60 | 4.26 | 20.24 | 7.64 | 4.12 | 20.23 |
| 0.7 | 8.00 | 4.50 | 21.32 | 7.91 | 4.27 | 20.96 |
| 0.8 | 8.00 | 5.16 | 21.84 | 8.21 | 4.42 | 21.73 |
| 0.9 | 8.87 | 3.68 | 22.60 | 8.62 | 4.32 | 22.57 |
| 1.0 | 8.55 | 5.79 | 23.55 | 9.20 | 3.89 | 23.50 |

Tablo 1'de üç çubuklu kafes sistemin doğrusal davrandığı gözönüne alınarak $\alpha - seviye\,kesen$ yaklaşımının $[0,1]$ aralığındaki değerlerinin farklı seviyelerine tekabül eden $x_1$ ve $x_2$ için optimum boyutlandırma değerleri verilmiştir. Bu optimum boyutlandırma sonuçları Shin'nin [14] çalışmasındaki sonuçlar ile karşılaştırmış ve uygun değerler elde edildiği görülmüştür.




Şekil 4. α-seviye kesenin amaç fonksiyonuna ve boyutlandırma değişkenine bağlı değişim
(Figure 4. The variation of α cut-level related to objective function and design variable)

Şekil 3'de $\alpha[0,1]$ değerleri arasındaki değişime bağlı olarak yapı hacmi ve kesit alanlarının değişim grafiği verilmiştir. Bu çalışmada amaç fonksiyonunun $f_{\min}$ ve $f_{\max}$ olarak ifade edilen değerleri sırasıyla 16.76 ve 23.55 kg olarak elde edilmiştir. Bu değerler denklem (7) yerine yazılırsa

$$\mu_f(x) = 1 - \frac{f(X) - 16.76}{23.55 - 16.76} \tag{17}$$

amaç fonksiyon değeri elde edilir. Bu üyelik fonksiyonu ve bulanık parametreler ANSYS paket program içerisine yazılarak bulanık doğrusal boyutlandırma algoritması oluşturulmuştur. Optimum boyutlandırma sonuçları Shih'in [14] çalışması ile karşılaştırılarak Tablo2'de verilmiştir.

Tablo 2. Üç çubuklu kafes sistemin bulanık dogrusal programlama ile boyutlandırması
(Table 2. The design of 3-bars truss system with fuzzy linear programming)

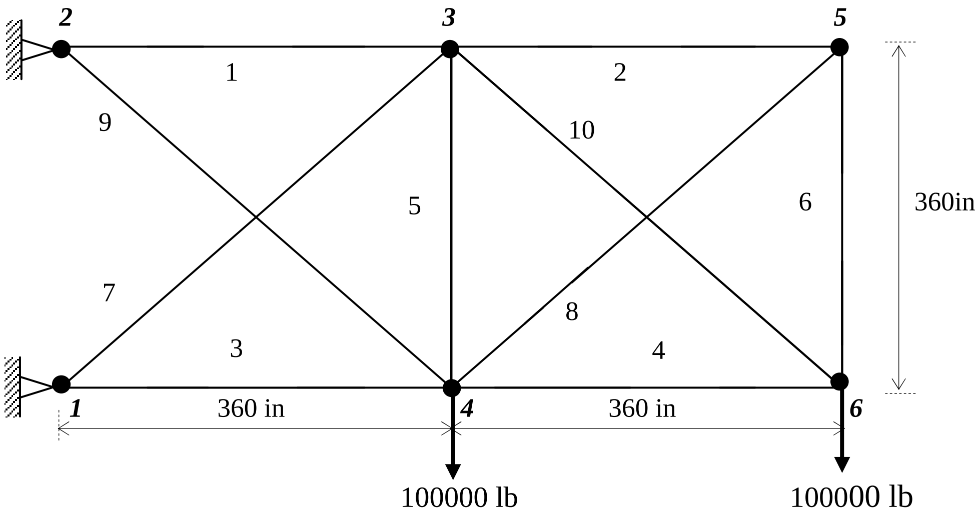
| **Değişkenler, Amaç Fonksiyonu** | **Bu Çalışmada** | **Shih** [14] |
|---|---|---|
| $x_1\ (x10^{-4})$ m$^2$ | 7.58 | 7.494 |
| $x_2\ (x10^{-4})$ m$^2$ | 3.89 | 4.049 |
| $\alpha$ | 0.553 | 0.543 |
| Bulanık Doğrusal $\mu_f(x)$ kg | 19.909 | 19.843 |

Tablo 2'de geliştirilen algoritma ile literatürdeki çok amaçlı optimizasyon sonucu karşılaştırıldığında %99.98 yakınsama başarısı gösterilmiş ve kısa sürede uygun sonuç elde edilmiştir.

### 6.2. On Çubuklu Kafes Sistemin Optimum Boyutlandırılması (The Optimal Design Of The 10-Bars Plane Truss System)

Bulanık doğrusal programlama ile optimum boyutlandırma için ikinci örnek olarak Şekil 5'de görülen *10* çubuklu düzlem kafes sistem alınmıştır. Sistemin mesnet olmayan düğüm sayısı 4, elastisite modülü $1x10^7$ *psi* olup çubuklar on grupta toplanmıştır. Başlangıç kesit alanı 20 in$^2$ olarak seçilmiştir. Sistemin 4 ve *6*'lu düğüm noktalarının *y* yönünde yüklemeler mevcuttur. Amaç fonksiyonu olarak sistemin minimum yapı hacmi istenmekte ve sınırlayıcı olarak çubukların gerilmeleri ile 4 ve 6 düğüm noktalarının *x, y* yönündeki deplasmanları *2 in* olarak gözönüne alınmıştır.

Boyutlandırma değişkenlerinin $A_i^{(alt)} \le A_i \le A_i^{(üst)}; i = 1,2,...,10$ sınır değerleri $A_i^{(alt)} = 0.1 in^2$, $A_i^{(üst)} = 50 in^2, (i = 1,2,3...,10)$ olarak verilmiştir. Gerilme sınırlayıcılarının $\sigma_i^{(alt)} \le \sigma_i \le \sigma_i^{(üst)}; i = 1,2,3,$ sınır değerleri $\sigma^{(alt)} = -25000 psi, \sigma^{(üst)} = +25000 psi, (i = 1,2,3,...,10)$ olarak verilmiş ve bulanık tolerans bölgesi $\sigma^{(alt)} = -10000 psi, \sigma^{(üst)} = +10000 psi, (i = 1,2,3,...,10)$ olarak alınmıştır. Sistemin bulanık optimum boyutlandırılması istenmektedir.




Şekil 4. On çubuklu düzlem kafes system
(Figure 4. 10-Bars Plane Truss System)

Tablo 3. On çubuklu kafes sistemin bulanık doğrusal programlama ile boyutlandırması
(Table 3. The design of 10-bars truss system with fuzzy linear programming)

| | $\alpha=0$ **için** | $\alpha=1$ **için** | **Optimum Boyutlandırma** |
|---|---|---|---|
| A1 | 29.45 | 29.33 | 27.30 |
| A2 | 0.10 | 0.55 | 0.72 |
| A3 | 24.90 | 25.01 | 25.67 |
| A4 | 15.14 | 15.10 | 13.56 |
| A5 | 0.11 | 0.10 | 0.10 |
| A6 | 0.10 | 0.55 | 0.72 |
| A7 | 20.59 | 21.4 | 19.16 |
| A8 | 0.10 | 0.59 | 1.58 |
| A9 | 5.98 | 6.02 | 10.76 |
| A10 | 21.47 | 21.21 | 18.65 |
| α | 0 | 1 | 0.733 |
| $\mu_f(x)$ | 4964.08 | 5049.13 | 4972.47 |

Tablo 3'de $\alpha=0$ durumunda gerilmenin tolerans sınırlayıcı değerleri göz önünde alınarak optimum boyutlandırma yapıldığında amaç fonksiyonu $f_{\min}=4964.08lb$ olarak bulunmuştur. $\alpha=1$ olması durumunda ise optimum boyutlandırma $f_{\max}=5049.13lb$ elde edilmiş ve bu durum aynı zamanda klasik optimizasyon sonucuna eşittir. Bulanık doğrusal programlama için gerekli optimum karar fonksiyonu denklem (7)'de yerine yazılırsa

$$f(X)-\left[5049.13-\alpha(5049.13-4964.08)\right]=0 \tag{18}$$

elde edilir. Bu denklem aynı zamanda bulanık amaç fonksiyonu $\mu_f(X)$'dir. Denklem (18) ANSYS paket programında oluşturulan algoritma içerisinde yazılarak üyelik fonksiyon değeri $\alpha=0.733$ elde edilmiş ve amaç fonksiyonun bulanık optimum değeri $\mu_f(X) = 4972.47lb$ olarak elde edilir.

Tablo 4. On çubuklu düzlem kafes sistemin literatürdeki çalışmalar ile karşılaştırılması
(Table 4. The compression of 10-bars truss system with the results of literature studies)

| Kesit Alanları ($in^2$) | Gelleatly [15] | Venkayya [16] | Schmit [17] | Qian [18] | Belegundu [19] | Camp [20] | Bu Çalışmada $\alpha = 0.733$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $A_1$ | 22.21 | 23.416 | 23.76 | 23.545 | 25.70 | 24.07 | 27.30 |
| $A_2$ | 15.6 | 14.904 | 14.56 | 14.96 | 0.10 | 13.96 | 0.72 |
| $A_3$ | 0.24 | 0.53 | 0.53 | 0.297 | 25.11 | 0.56 | 25.67 |
| $A_4$ | 0.10 | 0.128 | 0.10 | 0.10 | 19.39 | 0.10 | 13.56 |
| $A_5$ | 31.35 | 30.416 | 30.67 | 30.90 | 0.10 | 28.92 | 0.10 |
| $A_6$ | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0.72 |
| $A_7$ | 22.06 | 21.08 | 21.07 | 21.28 | 15.40 | 21.95 | 19.16 |
| $A_8$ | 8.35 | 8.578 | 8.578 | 7.611 | 20.32 | 7.69 | 1.58 |
| $A_9$ | 0.14 | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 20.74 | 0.10 | 10.76 |
| $A_{10}$ | 20.03 | 21.08 | 20.96 | 21.16 | 1.14 | 22.09 | 18.65 |
| Yapı Hacmi *minF(X)* ($in^3$) | 5112 | 5084.9 | 5076.85 | 5069.4 | 5472 | 5076.35 | 4972.47 |

Tablo 4'da on çubuklu kafes sistemin geleneksel optimizasyon yöntemlerine karşı bulanık sınırlayıcılar ve üyelik fonksiyonu altında daha uygun sonuç verdiği görülmüştür.

## 7. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bulanık doğrusal programlama yöntemi, kesin (klasik) doğrusal programlama yöntemi kullanılarak çözülebilen problemlere bir karar sürecinde görülen belirsizlik dahil edildiğinde kullanılan bir yöntemdir. Günümüzde birçok karar sürecinin belirsiz bir yapıya sahip olduğu düşünülürse, bulanık doğrusal programlamanın etkin ve kullanışlı bir yöntem olduğu sonucuna varılabilir.

Yapılan bu çalışma ile bulanık doğrusal programlama algoritması ANSYS paket programlama ortamında oluşturulmuş ve düzlem kafes sistemlerin boyutlandırılmasında kullanılabilirliği ortaya konulmuştur. Yapılan bu çalışmanın ilk örneği literatürde sıklıkla karşımıza çıkan üç çubuklu düzlem kafes sistem ele alınmış. Bu kafes sistem geliştirilen algoritma ile çözülerek, Shih [14] çalışmasındaki sonuçlarla karşılaştırılmış ve %99.98 bir yakınsama sağlanarak geliştirilen algoritmanın geçerliliği kanıtlanmıştır. Sayısal çözümlerdeki kafes sistemlerin sonuçları kesin (klasik) çözümlerle karşılaştırılmış ve iyi sonuçlar elde edilmiştir.

Bu yöntem genel amaçlı olup mühendislik sistemlerin optimum boyutlandırılmasını yapabilmektedir. Bu program küçük bir yazılım ile kısa sürede sonucu verdiğinden, zamandan tasarruf sağladığı gibi uzun iterasyon işlemleri yapmaya gerek kalmayacaktır.

## KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Peker, H., (1995). Fuzzy (Bulanık) Lojik Uygulamaları, Osman Gazi Üniversitesi, Fen bilimleri, Yüksek lisans tezi.
2. Zadeh, L., Fuzzy Sets, Information and Control 8, 338-353.
3. Zimmermann, H.J., (1974). Optimization In Fuzzy Environment. XXI International TIMS and 46th Conference, San Juan, Perto Rico,
4. Tanaka, H., Okuda, T., and Asia, K., (1974). On Fuzzy Mathematical Programming, J. Cybernetics 3, 37-46.

5. Jung, C.Y. and Pulmano, V.A., (1996). Improved Fuzzy Linear Programming Model For Structure Designs. Computers &Structures Vol. 58, No. 3, 471-477.
6. Zimmermann, H.-J., (1978). Fuzzy Programming and Linear Programming with Several Objective Functions, Fuzzy Sets and Systems, 1,45-55.
7. Rao, S.S., Sundararaju, K., Prakash, B.G., and Balakrishna, C., (1992). Multiobjective Fuzzy Optimization Techniques for Engineering Design, Computers &Structures, Vol. 42, No. 1, pp. 37-44.
8. Yuan, W.G. and Quan, W.W., (1985). Fuzzy Optimum Design of Structures. Engineering Optimiz. 8, 291-300.
9. Brown, C.B. and Yao J.T.O., (1983). Fuzzy Sets and Structures Engineering. ASCE J. Struct.Engng., 109, 1211-1225.
10. Chen, L. and Rao, S.S., (1997). Fuzzy Finite-Element Approach for The Vibration Analysis of Imprecisely-Defined Systems. Finite Elements in Analysis and Design, 27, 69-83.
11. Keleşoğlu, Ö., (2002). Lineer Olmayan Uzay Kafes Sistemlerin Bulanık Mantık Yöntemi ile Optimizasyonu, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
12. Kelesoglu, O. and Ulker, M., (2005). Multi-Objective Fuzzy Optimization of Space Trusses by Ms-Excel, *Advances in Engineering Software*, 36, 549-553.
13. Keleşoğlu, Ö. ve Ülker, M., (2005). Fuzzy Optimization of Geometrical Nonlinear Space Truss Design, *TUBITAK, Turkish J. Eng. Env. Sci.*, 29, 321-329.
14. Shih, C.S., Chi C.C., and Hsiao, J.H, (2003). Alternative $\alpha$-Level-Cuts Methods for Optimum Structural Design with Fuzzy Resources, Computers & Structures, 81, 2579-2587.
15. Gelleatly, R.A. and Berke, L., (1971). Optimal Structural Design, Report No. AFFDL-TR-70-165, Air Force Flight Dynamics Laboratory, Wright Patterson Air force Base, Ohio.
16. Venkayya, VB.., (1971). Design of Optimum Structures. Int J Computers & Structures, 1265-309.
17. Schmit, L.A., (1975). Miura II. Approximation Concepts for Efficient Structural Synthesis, NASA CR-2552, 1975.
18. Qian, L.X., Zhang, W.X., Siu, Y.K., and Zhang, J.T., (1982). Efficient Optimum Design of Structures-Program DDDU.
19. Belegundu, A.D., (1986). Study of Mathematical Programming Methods for Structural Optimization, PhD thesis, University of Iowa City, Iowa.
20. Camp, C., Shahram, P., and Guozhong, C., (1998). Optimized Design of Two-Dimensional Structures Using Genetic Algorithm, J Struct Eng., 124(5):551-9.