

## Mühendislik Sistemlerinin Bulanık Çok Amaçlı Eniyilemesi

Ö.KELEŞOĞLU

Fırat Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Yapı Eğitim Bölümü, 23119, ELAZIĞ  
okelesoglu@firat.edu.tr

**Özet:**Bu çalışmada bulanık kümeler kullanılarak mühendislik sistemlerin eniyilemesi gerçekleştirilmiştir. Eniyileme problemi üyelik fonksiyonlarını kullanan bir  $\lambda$ -formülasyonu olarak, bir eniyi karar oluşturularak çözülmüştür. Bulanık eniyileme tekniğinin algoritması MATLAB paket program kullanılarak oluşturulmuştur. Burada bir bulanık çok amaçlı eniyileme probleminin formülasyonundaki çeşitli adımlar açıklanmıştır.  $\lambda$ -formülasyonu, mühendislik eniyileme problemleri üzerinde örneklenmiş ve sonuçlar tartışılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Bulanık kümeler, Çok amaçlı eniyileme, Mühendislik sistemler.

## Multi-Objective Fuzzy Optimization of Engineering Systems

**Abstract:**In this study, optimization of engineering systems has been implemented by fuzzy sets. The optimization problem is solved by constructing an optimal decision function as a  $\lambda$ -formulation using membership function. The algorithm of multi-objective fuzzy optimization was formed using the MATLAB packet programming. The various steps involved in the formulation of a multi-objective fuzzy optimization problem are discussed. The  $\lambda$ -formulation approach is illustrated on engineering optimization problems and the results are discussed.

**Key Words:** Fuzzy set, Multi-objective optimization, Engineering systems.

### Giriş

Eniyileme teknikleri ile son yıllarda çok sayıda çalışma yapılmış ve etkin algoritmalar geliştirilmiştir. Geliştirilen algoritmaların genel olduğu ve mühendislik sistemlerin sürekli ortamların eniyi boyutlandırılmasına başarıyla uygulandığı görülmüştür. Daha sonraları mühendislik sistemlerinde çok amaçlı eniyilemeler görülmüştür. Boyutlandırma ve karar vermede en önemli konulardan biri olmuştur. Çok amaçlı eniyilemeler mühendislikte başarı ile uygulanmıştır [1,2].

Geçmişte araştırmacılar tarafından çalışılan, parametreler arasındaki ilişkiler, genelde deneme yoluyla, zor olan örneklerde karmaşık veya sabit olmayan ilişkiler için yapılmış; fakat parametre sayısı artınca çözümsüzlük veya elde edilen çözümü değerlendirememesi problemini getirmiştir. Bilgisayar tekniğindeki gelişmeler karmaşık ve zor olan bu problemlerdeki çözümsüzlüğünü ortadan kaldırmıştır. Bilgisayar tekniğindeki bu gelişmeler ile farklı eniyileme tekniklerinin ortaya çıkmasını sağlamıştır. Boyutlandırmada, karar vermedeki bazı amaç fonksiyonları sadece belli bir seviyeye kadar bilinebilir. Amaç fonksiyonu ve sınırlayıcılardaki bu belirsiz ve kararsız durumu çözmek için klasik eniyileme yeterli olmayabilir. Eniyileme probleminin belirsiz ve karmaşık yapısını boyutlandırmak için bulanık küme teorisinin kullanılması gerekir [3,4,5]

Bulanık küme teorisi ilk defa Zadeh tarafından ortaya atılmıştır [6,7]. Zimmermann eniyileme probleminde bulanık kümeleri kullanmıştır [8]. Daha sonraları mühendislikte doğrusal, doğrusal olmayan programlama ve genel amaçlı problemlerde kullanılmıştır [9,10,11,12,13,14].

Mühendislik sistemlerin boyutlandırılması için tek ve çok amaçlı eniyileme için birçok uygulama yapılmıştır [15,16,17,18].

Bulanık eniyileme, boyutlandırma problemlerinde oldukça etkilidir, çözüm kümesinden eniyi veya eniyeye yakın çözümleri bulur. Bulanık eniyilemenin çözümünde kullanılan üyelik derecesi olan  $\lambda$  parametresinin maksimum değeri eniyi karara ulaşmamızı sağlar.

Bu makalede, I profil kiriş ve helisel yay sistem için çok amaçlı bulanık eniyilemesi için bir algoritma geliştirilmiştir. Geliştirilen bu algoritma MATLAB paket program ortamında yapılarak  $\lambda$  formülasyonunun eniyi boyutlandırılmada kullanılabileceğini göstermektedir.

### Bulanık Eniyileme

Geleneksel ya da keskin matematiksel programlama problemlerinde sınırlayıcılara bağlı olarak amaç fonksiyonu eniyi çözüm ya da çözümler bulmaya çalışılır. Gerçek problemlerde ise, sınırlayıcı ve amaç fonksiyonları genellikle esnekler. Bu esneklik deneyimle, sınırlayıcıların ya da amaçların ya da her ikisinin yapı olarak bulanık olduğu bir karar sürecidir.

Bulanık amaçlar ve bulanık sınırlayıcılar, bulanık kümeler kullanılarak alternatifler uzayında kesin olarak tanımlanabilirler. Bu durumda bulanık bir karar, incelenen problemdeki amaçların ve sınırlayıcıların kesişimi olarak düşünülebilir. Eniyi karar ise en yüksek üyelik derecesine sahip bulanık karardır ve bu karar, doğal olarak alternatifler uzayındaki noktalardan biridir [7].

## Çok Amaçlı Eniyileme İçin Bulanık Yaklaşım

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

Başlangıçta bulanık küme bilgileri ve her bir sınırlayıcı fonksiyonunun yerini tutan üyelik elemanları bulunmaktadır. Üyelik fonksiyonlarının biçimi parabol seçilerek, bulanık geçiş bölgesi en uygun şekilde tanımlanmış. Geliştirilen yöntemin formülasyonu aşağıdaki alt bölümlerde tanımlanmıştır.

Bulanık çok amaçlı fonksiyon  $f(x)$  ve  $x$  boyutlandırma değişkenin durumu:

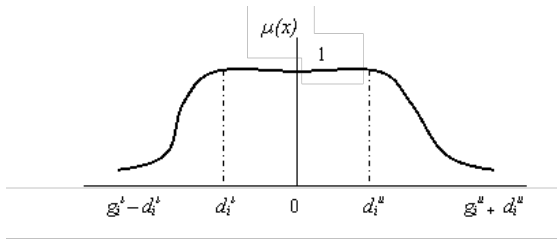
$$\min f(x) = \{f_1(x), f_2(x), \dots, f_k(x)\}^T \quad (1)$$

Boyutlandırma sınırlayıcılarının durumu:

$$g(x) \leq b_j^u + d_j^u, \quad j = 1, 2, \dots, m-1 \quad (2)$$

$$g(x) \geq b_j^l - d_j^l, \quad j = m, \dots, p \quad (3)$$

Burada,  $b_j^l$ ,  $b_j^u$   $j$ . bulanık kısıtlayıcı fonksiyonların alt ve üst sınır değerleri olarak tanımlanır. Üyelik fonksiyonu  $\mu_j(x)$ 'in alt ve üst sınır değerleri olan  $b_j^l$ ,  $b_j^u$  Şekil 1'de gösterildiği gibidir. Şekil 1'de bulanık karar bölgesinin alt ve üst sınır için izin verilebilir bölgesi  $d_j^l$  ve  $d_j^u$  olmalıdır. Bu bulanık karar değerleri, üyelik fonksiyonunu maksimum yapan değerdir.



Şekil 1. Üyelik fonksiyonu

Burada  $i$ . amaç ve  $j$ . sınırlayıcı fonksiyonun üyelik elemanları sırayla  $\mu_{f_i}(x)$  ve  $\mu_{g_j}(x)$  olarak tanımlanır. Eniyi çözüm ( $x^*$ ) değeri:

$$\mu_D(x^*) = \max \mu_D(x) \quad (4)$$

Amaç fonksiyonlarının minimum ve maksimum değerleri, değişkenlerin alt ve üst sınır değeri tarafından  $f_i^{\min}$  ve  $f_i^{\max}$  bulunur. Bulunan bu değerler aşağıdaki denklemde yerine yazılarak, bulanık amaç fonksiyonlarının, üyelik fonksiyonları:

$$\mu_{f_i}(x) = \begin{cases} f_i(x) > f_i^{\max} & \text{ise} & 0. \\ f_i^{\min} < f_i(x) \leq f_i^{\max} & \text{ise} & \frac{-f_i(x) + f_i^{\max}}{f_i^{\max} - f_i^{\min}}, \quad i = 1, 2, \dots, k \\ f_i(x) \leq f_i^{\min} & \text{ise} & 1. \end{cases} \quad (5)$$

olur.

Bulanık sınırlayıcı fonksiyonların  $j$ . sınır değerleri  $b_j$  ve bulanık eniyi karar bölgesinin müsaade edilebilir bölgesi  $d_j$  için

$$\mu_{g_j}(x) = \begin{cases} g_j(x) > b_j + d_j & \text{ise} & 0. \\ b_j < g_j(x) \leq b_j + d_j & \text{ise} & 1 - \left( \frac{g_j(x) - b_j}{d_j} \right), \quad j = 1, 2, \dots, m \\ g_j(x) \leq b_j & \text{ise} & 1. \end{cases} \quad (6)$$

denklemleri verilmiştir.

$\lambda$  parametresinin maksimum olması durumu, bulanık kararın en büyük değere ulaşmasını sağlar.

$$\lambda_i = [ -f_i(x) + f_i^{\max} ] / [ f_i^{\max} - f_i^{\min} ] \quad i = 1, 2, \dots, k \quad (7)$$

elde edilir.

Denklem (7) ile her bir amaç fonksiyonun  $\lambda$  değerleri birbirine eşitleyerek, eşitliği sağlayacak en büyük ( $\max \lambda$ ) bulanık eniyi kararı verir ve amaç fonksiyonlarının minimizasyonu sağlanmış olur.

$$\begin{aligned} \max \lambda \\ \lambda - \mu_{f_i} &\leq 0, \quad i = 1, 2, \dots, k \\ \lambda - \mu_{g_j} &\leq 0, \quad j = 1, 2, \dots, m \end{aligned} \quad (8)$$

değerleri arasında bulunur.

## MATLAB Paket Programı ile Geliştirilen Algoritmanın Adımları

**1. Adım:** Bulanık boyutlandırma değişkenleri ile durum değişkenlerinin, alt ve üst sınır değerleri yazılır

**2. Adım:** Klasik eniyileme ile kesit alanlarının üst sınır değerlerine göre elde edilen amaç fonksiyonlarının minimum ve maksimum değerleri (7)'de yerleştirilerek,  $\lambda_1$  ve  $\lambda_2$  üyelik fonksiyonlarının denklemleri kurulur. Daha sonra bu denklemlerin birbirine eşitliği sağlayan,  $\lambda$  değeri şartı yazılır.

**3. Adım:** Durum değişkenleri olarak amaç fonksiyonların üyelik dereceleri olan  $\lambda_1$  ve  $\lambda_2$  parametreleri de birer sınırlayıcı olarak tanımlanır. Bu parametrelerin birbirine eşitliği sağlanarak, birçok  $\lambda$  parametreleri bulunarak en büyük  $\lambda$  değeri, bulanık eniyi karara ulaşmamızı sağlayacaktır.

MATLAB'ın eniyileme araç kutusu kullanılarak boyutlandırma yapılmıştır.

## Sayısal Uygulamalar

### I Profil Kiriş

Şekil 2'deki I çelik profilden oluşturulan kiriş sistemin açıklık ortasına düşeyde  $P = 600kN$  ve yatayda çelik kiriş gövdesine  $Q = 50kN$  'luk yük etki etmektedir. Bu yüklemeler ile kiriş sistemin gerilme ve yerdeğiştirme sınırlayıcıları altında çelik profilin kesit alanını ve düşey yerdeğiştirmesi minimize etmek için bulanık çok amaçlı eniyileme uygulanmıştır. Kirişin açıklığı  $\ell = 200cm$ , elastisite modülü  $E = 2 \times 10^4 kN / cm^2$  ve müsaade edilebilir eğilme gerilmesi  $\sigma = 16kN / cm^2$  olarak alınmıştır [19].

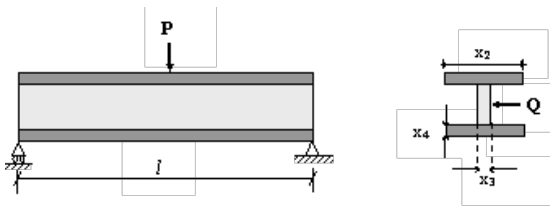
Amaç fonksiyonları:

$$\min \left\{ \begin{array}{l} f_1(X) = 2x_2x_4 + x_3(x_1 - 2x_4) \\ f_2(X) = \frac{5000}{\left[ \frac{1}{12}x_3(x_1 - 2x_4)^3 + \frac{1}{6}x_2x_4^3 + 2x_2x_4 \left( \frac{x_1 - x_4}{2} \right)^2 \right]} \end{array} \right\} \quad (9)$$

Gerilme sınırlayıcısı:

$$g_1(x) = \frac{180000x_1}{x_3(x_1 - 2x_4)^3 + 2x_2x_4(4x_4^2 + 3x_1(x_1 - 2x_4))} + \frac{15000x_2}{(x_1 - 2x_4)x_3^3 + 2x_4x_2^3} \leq 16 \quad (10)$$

Burada profil kirişin alt ve üst tabla genişlikleri  $x_2$ , tabla kalınlıkları  $x_4$ , kirişin gövde genişliği  $x_3$  ve kiriş yüksekliği  $x_1$  olarak tanımlanmıştır. Değişkenlerin sınır değerleri:  $10 \leq x_1 \leq 80$ ,  $10 \leq x_2 \leq 50$ ,  $0,9 \leq x_3 \leq 5$ ,  $0,9 \leq x_4 \leq 5$  olarak alınmıştır.



Şekil 2. I kirişinin en ve boy kesiti

Amaç fonksiyonları olan yapı hacmi ve düşey yerdeğiştirme minimum ve maksimum değerleri klasik eniyileme ile değişkenlerin üst sınır değerlerine göre elde edilir. Bu değerler  $f_1^{\min} = 127.4124$ ,  $f_1^{\max} = 850$ ,  $f_2^{\min} = 0.0059$  ve  $f_2^{\max} = 0.0614$  olarak bulunur. Bulunan bu değerler denklem (5) ile (7)'de yerine yazılırsa

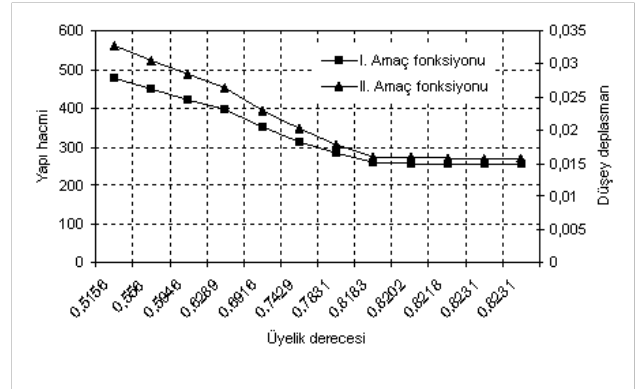
$$\mu_{f_1}(x) = \begin{cases} f_1 > 850 & 0. \\ 127.4124 < f_1 \leq 850 & \frac{-f_1 + 850}{850 - 127.4124} \\ f_1 \leq 127.4124 & 1. \end{cases} \quad (11)$$

$$\mu_{f_2}(x) = \begin{cases} f_2 > 0.0614 & 0. \\ 0.0059 < f_2 \leq 0.0614 & \frac{-f_2 + 0.0614}{0.0614 - 0.0059} \\ f_2 \leq 0.0059 & 1. \end{cases} \quad (12)$$

$$\lambda_1 = [-f_1 + 850] / [850 - 127.4124] \quad (13)$$

$$\lambda_2 = [-f_2 + 0.0614] / [0.0614 - 0.0059] \quad (14)$$

olarak elde edilir.

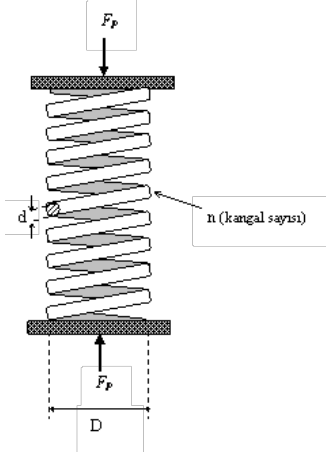


Şekil 3. Amaç fonksiyonları-Üyelik derecesi ilişkisi

Bu problemin eniyi değerleri düzenlenirse  $f_2^{\min} < f_2^{\max} < f_1^{\min} < f_1^{\max}$  ve  $[f_1^{\min}, f_1^{\max}] [f_2^{\min}, f_2^{\max}]$  kapalı aralığında gösterilir. Sistemin eniyi yapı hacmi  $f_1^{\min} = 127.4124 \leq f_1 \leq f_1^{\max} = 850$  çözüm kümesi aralığında aranır. Aynı şekilde eniyi düşey deplasman ise  $f_2^{\min} = 0.0059 \leq f_2 \leq f_2^{\max} = 0.0614$  aralığında aranır. Bu iki amaç fonksiyonunun birçok değeri vardır. Burada bulanık parametre olan  $\lambda$  üyelik fonksiyonu kullanılır. Her bir amaç fonksiyonunun üyelik derecesi denklem [8]'daki bulanık eniyi karar oluşturularak üyelik fonksiyonları eşitlenerek ( $\lambda_1 = \lambda_2$ ) birçok  $\lambda$  değerleri elde edilir. Bu değerler Şekil 3'de gösterilmiştir. Amaç fonksiyonlarının üyelik fonksiyon değerinin başlangıç eşitlik değeri  $\lambda=0,5156$  olarak bulunmuş ve sekizinci eşitlik değeri olan  $\lambda=0,8183$ 'e kadar amaç fonksiyonları arasında paralel bir değişim gözlenmiştir. Bu paralellik üyelik fonksiyon değerlerinin eşitliğinden kaynaklanmaktadır. Sekizinci adımdan sonra bulanık parametrelerde deki değişim fazla olmamaktadır. On ikinci adımda bulanık parametrenin en büyük değeri olan  $\max \lambda = 0.8231$  bulunarak eniyi karar sağlanmıştır. Bulanık eniyi kararda boyutlandırma değişkenleri  $x_1 = 80cm$ ,  $x_2 = 50cm$ ,  $x_3 = 0.9cm$ ,  $x_4 = 1.865cm$  olarak bulunmuştur. Bulunan bu değer ile amaç fonksiyonlarının minimum değerleri  $f_1 = 255.21cm^3$  ve  $f_2 = 0.0157cm$  olarak elde edilir.

### Helisel Yay

Şekil 4’de görülen helisel yayın boyutlandırılmasında üyelik fonksiyonları kullanılarak bulanık çok amaçlı eniyileme yapılmıştır. Bulanık eniyileme için amaç fonksiyonları olarak yapı hacmi ve kayma gerilmesi göz önüne alınmıştır. Amaç fonksiyonlarının minimizasyonu için iki boyutlandırma değişkeni kullanılmıştır. Bunlar çelik telin çapı ( $d$ ) ve helisel yayın çapıdır ( $D$ ). Kangal sayısı  $n=9$  alınmıştır. Sayısal örnek literatürden alınmıştır (20,21).



Şekil 4. Helisel yay

Değişkenler olarak:

$$X = \begin{Bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} d \\ D \end{Bmatrix} \quad (15)$$

Amaç fonksiyonları:

$$\min \left\{ \begin{array}{l} f_1(X) = \frac{\pi^2 x_2 x_1 (n+2)}{4} \\ f_2(X) = \frac{8C_f F_{\max} x_2}{\pi x_1^3} \end{array} \right\} \quad (16)$$

Sınırlayıcılar:

$$g_1(X) = \frac{8C_f F_{\max} x_2}{\pi x_1^3} - S \leq 0 \quad (17)$$

$$g_2(X) = \ell_f - \ell_{\max} \leq 0 \quad (18)$$

$$g_3(X) = d_{\min} - x_1 \leq 0 \quad (19)$$

$$g_4(X) = x_2 - D_{\max} \leq 0 \quad (20)$$

$$g_5(X) = 3.0 - \frac{x_2}{x_1} \leq 0 \quad (21)$$

$$g_6(X) = \delta_p - \delta_{pm} \leq 0 \quad (22)$$

$$g_7(X) = \delta_p + \frac{F_{\max} - F_p}{K} + 1.05(n+2)x_1 - \ell_f \leq 0 \quad (23)$$

$$g_8(X) = \delta_w - \frac{F_{\max} - F_p}{K} \leq 0 \quad (24)$$

$$3d_{\min} \leq x_2 \leq D_{\max} \quad (25)$$

$$d_{\min} \leq x_1 \leq \frac{D_{\max}}{3} \quad (26)$$

$$0.5 \leq d \leq 2.5$$

$$1.5 \leq D \leq 7.5$$

Formüllerde kullanılan parametrelerin değerleri:

$$C_f = \frac{4(x_2/x_1) - 1}{4(x_2/x_1) - 4} + \frac{0.615x_1}{x_2}, \quad K = \frac{Gx_1^4}{8nx_2^3}, \quad \delta_p = \frac{F_p}{K},$$

$$\ell_f = \frac{F_{\max}}{K} + 1.05(n+2)x_1$$

denklemleri verilmiştir.

Amaç fonksiyonları  $f_1(X)$  ve  $f_2(X)$  olan çelik yayın boyutlandırma değişkenlerinin sınır değerleri aşağıdaki gibi verilmiştir.

Maksimum yük,  $F_{\max} = 1000 \text{ lb}$

Müsaade edilebilir kayma gerilmesi,  $S = 189000 \text{ psi}$

Maksimum serbest uzunluk,  $\ell_{\max} = 14 \text{ inch}$

Çelik telin minimum çapı,  $d_{\max} = 0.2 \text{ inch}$

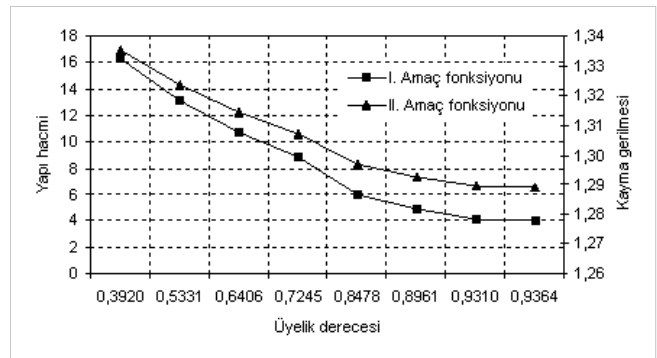
Helisel yayın maksimum çapı,  $D_{\max} = 3 \text{ inch}$

İlk yükleme basınç kuvveti,  $F_p = 300 \text{ lb}$

İlk yükleme altındaki müsaade edilebilir maksimum yer değiştirme,  $\delta_{pm} = 6 \text{ inch}$

İlk yükleme ile maksimum yükleme arasındaki yer değiştirme,  $\delta_w = 1.25 \text{ inch}$

Malzemenin kayma modülü,  $G = 11.5 \times 10^6 \text{ psi}$



Şekil 5. Amaç fonksiyonları-Üyelik derecesi ilişkisi

Helisel yayın yapı hacmi ve kayma gerilmesinin üyelik fonksiyonuna bağlı olarak değişimi Şekil 5’de gösterilmiştir. Üyelik fonksiyonunun ilk değeri  $\lambda = 0,3920$  olarak bulunmuş ve yedinci adımdan sonra bulanık parametrede yakınsama tespit edilmiştir. Bulanık çok amaçlı eniyileme ile elde edilen boyutlandırma değişkenleri  $x_1 = 0.3041 \text{ inch}$ ,  $x_2 = 1.6178$  olarak bulunmuştur. Amaç fonksiyonları olarak helisel yayın

hacmi  $f_1(X) = 4.0601 \text{ inch}^3$  ve kayma gerilmesi  $f_2(X) = 1.2892 \text{ lb}$  elde edilmiştir. Bulunan bu değerlerin en büyük üyelik derecesi  $\lambda = 0.9364$  veya %93.64'lük değere ulaşmıştır. Bu sonuçlardan anlaşılacağı gibi  $\lambda$ 'nın maksimum olması sistemin hacmini ve kayma gerilmesinin minimum değere ulaşmasını sağlamıştır.

## Sonuçlar

Bulanık küme kavramı, klasik matematiğin standartlarına göre pek çok bakımdan belirsiz olan yada kesin olmayan karar süreçlerine matematiksel bir kesinlik kazandıran kavramlar ve yöntemler bütünüdür.

Bilgisayarın tüm bilim dallarında hakim olduğu günümüzde, belirsiz ve karmaşık problemlerin çözümü için algoritmalar geliştirilmiştir. Yapılan bu çalışma ile bulanık çok amaçlı eniyileme algoritması karmaşık mühendislik problemlerin boyutlandırılmasında kullanılabilirliği ortaya konmaktadır.

Yapılan bu çalışmada I profil giriş ve helisel yay sistemlerin bulanık çok amaçlı eniyi boyutlandırılması yapılmıştır. Algoritmanın temeli MATLAB paket program içerisinde yerleşik olarak bulunan genel amaçlı eniyilemeye bulanık küme bilgileri ve üyelik fonksiyonu olan  $\lambda$  parametresi katılarak çok amaçlı eniyileme yapılmıştır. Bu yöntem genel amaçlı olup mühendislik sistemlerin çok amaçlı eniyi boyutlandırılmasını yapabilmektedir. Bu program küçük bir yazılım ile kısa sürede sonucu verdiğinden, zamandan tasarruf sağladığı gibi uzun iterasyon işlemleri yapmaya gerek kalmayacaktır.

## Kaynaklar

- (1) Koski, J., 1981, Multicriteria Optimization in Structural Design, Proceedings of the International Symposium on Optimum Structural Design 11<sup>th</sup> ONR Naval Structural Mechanics Symposium. Tucson, AZ .
- (2) Koski, J., 1984, Multicriterion Optimization in Structural Design, In New Directions in Optimum Structural Design, pp.483-503, John Wiley New York.
- (3) Rao, S.S., Sundararaju, K., Prakash, B.G., Balakrishna, C., 1992, Multiobjective Fuzzy Optimization Techniques for Engineering Design, Computers & Structures, Vol. 42, No. 1, pp. 37-44.
- (4) Shih, C.J., Chang, C.J., 1995, Pareto Optimization of Alternative Global Criterion Method for Fuzzy Structural Design, Computers & Structures, Vol. 54, No. 3, pp. 455-460.
- (5) Keleşoğlu, Ö., 2003, Çok Amaçlı Bulanık Optimizasyon Tekniği İçin Bir Algoritma, SAÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, Cilt 7(3), 37-42.

- (6) Zadeh, L., 1965, Fuzzy Sets, Information and Control, 8, 338-353.
- (7) Bellman, R.E., Zedah, L.A., Decision-making in a Fuzzy Environment, Management Science, Vol. 17 p.141-164, 1970.
- (8) Zimmermann, H.J., 1974, Optimization in Fuzzy Environment, XXI International TIMS and 46<sup>th</sup> Conference, San Juan, Perto Rico.
- (9) Tanaka, H., Okuda, T., and Asia, K., 1974, On Fuzzy Mathematical Programming, J. Cybernetics, 3, 37-46.
- (10) Jung, C.Y., and Pulmano, VA., 1996, Improved Fuzzy Linear Programming Model for Structure Designs, Computers & Structures, 58(3), 471-477.
- (11) Eshwar, K., Kumar, Vellanki, S.S., 2004, Optimal Deployment of Construction Equipment Using Linear Programming with Fuzzy Coefficients, Advances in Engineering Software, 35, 27-33.
- (12) Dhingra, A.K., Rao, S.S., and Kumar, V., 1992, Nonlinear Membership Function in Multiobjective Fuzzy Optimization to Mechanical and Structural Systems, AIAA J, 30, 251-260.
- (13) Kim, S.J., Kim, W.D., and Goo, N.S., 1994, Identification of Nonlinear Membership Function for Failure of Structural Material and its Application to Structural Optimization, Fuzzy sets and systems, 66, 15-23.
- (14) Şen Z., 2002. Bulanık Mantık ve Modelleme İlkeleri, Bilge Kültür Sanat, İstanbul.
- (15) Keleşoğlu, Ö., 2002, Lineer Olmayan Uzay Kafes Sistemlerin Bulanık Mantık Yöntemi ile Optimizasyonu, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- (16) 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.
- (17) Rao, S.S., 1987, Multiobjective Optimization of Fuzzy Structural systems, Int. J. Numer. Meth. Engng., 24, 1157-1171.
- (18) Keleşoğlu, Ö. ve Ülker, M., 2003, Çok Amaçlı Bulanık Optimizasyon Tekniği ile Düzlem Kafes Sistemlerin Boyutlandırılması, Politeknik Dergisi, Cilt 6(2), 505-511.
- (19) Shan, S., and Wang, G. G., 2004, Design Space Reduction for Multi-objective Optimization and Robust Design Optimization Problems, Accepted by Transactions of SAE, Journal of Materials & Manufacturing.
- (20) Sandgren, E., 1996, Nonlinear Integer and Discrete Programming in Mechanical Design Optimization, Transactions of The ASME, Journal of Mechanical Design, 112(2), 223-229, June 1990. ISSN 0738-0666.
- (21) S.S. Rao., 1996, Engineering Optimization Theory and Practice, John Wiley & Sons. Inc., New York, 24-27.