Journal of Engineering and Natural Sciences
Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi

Sigma
2006/2

Araştırma Makalesi / Research Article

THE SOLUTION OF MULTI-OBJECTIVE FUZZY OPTIMIZATION PROBLEMS USING GENETIC ALGORITHM

Ömer KELEŞOĞLU*

Fırat Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Yapı Eğitimi Bölümü, ELAZIĞ

Geliş/Received: 14.12.2005 Kabul/Accepted: 25.04.2006

ABSTRACT

In this study, the application of genetic algorithms for solving a fuzzy multi-objective optimization problem is investigated. An algorithm providing the solution of the multi-objective problem was developed. The proposed algorithm was formed by using C/C++ programming language. The solution of a numerical example is presented to demonstrate the application of the algorithm.
Keywords: Multi-objective optimization, fuzzy sets, genetic algorithm.

BULANIK ÇOK AMAÇLI ENİYİLEME PROBLEMLERİNİN GENETİK ALGORİTMA KULLANILARAK ÇÖZÜMÜ

ÖZET

Bu çalışmada bulanık çok amaçlı eniyileme probleminin çözümü için genetik algoritmaların uygulanabilirliği incelenmiştir. Çok amaçlı eniyileme probleminin çözümünü yapan bir algoritma geliştirilmiştir. Önerilen algoritma, C/C++ programlama dili ile oluşturulmuştur. Geliştirilen algoritmanın uygulanabilirliği, çözülen sayısal örnekle gösterilmiştir.
Anahtar Sözcükler: Çok amaçlı eniyileme, bulanık kümeler, genetik algoritma.

1. GİRİŞ

20. yüzyılda, birçok alanda olduğu gibi eniyileme alanında da önemli gelişmeler yaşanmıştır. Bunun sonucu olarak çeşitli eniyileme teknikleri ortaya çıkmıştır. Eniyilemenin klasik yapısı belirli kısıtlayıcılar altında amaç fonksiyonunun minimum veya maksimum hale getirilmesidir. Buna rağmen çoğu boyutlandırma problemleri birçok amaç fonksiyonu ile tanımlanmaktadır. Çok amaçlı eniyileme problemlerinin çözümü ilk olarak Pareto tarafından ele alınmıştır [1-3].

Bilgisayar teknolojisi ve yapay zeka tekniklerinin gelişimine paralel olarak, eniyileme problemlerinin çözümüne yönelik uygulamaların ve bilimsel çalışmaların son yıllarda giderek yaygınlaştığı gözlenmektedir. Bu çerçevede, eniyileme problemlerinin çözümüne yönelik yumuşak ve esnek yaklaşım tekniklerinin kullanımı yaygınlaşmaktadır. Bu kapsamda bulanık mantık, yapay sinir ağları ve genetik algoritmalar gibi yaklaşımlar eniyileme problemlerinin çözümü için yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır [4-8].

* e-mail/e-ileti: okelesoglu@firat.edu.tr, tel: (0424) 237 00 00 / 4265

Yapay zeka yöntemlerinden olan bulanık mantık bir kural tabanlı sistem olarak düşünülebilir. İlk defa Zadeh tarafından ortaya atılan bulanık küme teorisi, esas olarak insan düşünce ve algılamadaki belirsizliği sayısallaştırmaya çalışır [9]. Bulanık mantık, bulanık küme teorisine dayanır ve bu teori aslında daha genel bir matematiksel küme yaklaşımıdır. Bu yaklaşımla çözülmesi çok zor olan problemler genel bir yapıya kavuşturularak daha kolay sonuca gidilir [10].

Mühendislikte ve diğer bilim dallarında problemler, kesin matematiksel formülasyonlar kullanılarak tanımlanırlar. Oluşturulan bu formülasyonlar altında problemin veya sistemin göstereceği davranış biçimi bazen çok karmaşık bir yapıya sahip olabilir. Yetersiz veri, sistemin kısıtlayıcıları, boyutlandırma amaçlarının yetersiz formülasyonu ve amaçlar arası bağıl önemi değerlendirememe hassasiyet eksikliğine sebep olur. Boyutlandırma probleminin belirsiz ve karmaşık yapısını modellemek için bulanık küme teorisi kullanılmalıdır [11,12]. Bulanık küme ile modellenen problemler genetik algoritmalar kullanılarak çok amaçlı eniyileme elde edilmiştir [13-15]. Sakawa, evrimsel algoritmalar ile bulanık çok amaçlı eniyilemenin birleşimi ile yeni bir yöntem önermiştir [16]. Genetik algoritmaların mutasyon ve çaprazlama operatörleri, bulanık parametreler ile lineer olmayan problemlerin çözümü için bir yaklaşım önerilmiştir [17]. Bulanık eniyileme ile karar problemlerinin çözümü için genetik algoritmalar uygulanmıştır [18].

Bu çalışmada, son yıllarda eniyileme problemlerinde yaygın olarak kullanılmakta olan genetik algoritma ve bulanık küme yaklaşımının birleştirilmesiyle yeni bir algoritma oluşturulmuştur. Çok amaçlı bir eniyileme probleminin çözümü için bir uygulama yapılmıştır. Geliştirilen çok amaçlı eniyileme algoritması için bilgisayar programı yazılmıştır. Bulanık çok amaçlı bir eniyileme probleminin çözümü için geliştirilen genetik algoritmanın etkinliği ve geçerliliği incelenmiştir.

2. ALGORİTMANIN TANIMI

Günümüz eniyileme problemleri eskiye nazaran daha karmaşık ve belirsizdir. Bu problemler, amaç fonksiyonlarının, kısıtların karmaşık ve belirsiz yapısını çözmek için bulanık kümeler kullanılarak modellenmiştir.

Geliştirilen yöntemin matematiksel formülasyonu ve adımları aşağıdaki gibi ifade edilmiştir. Bulanık çok amaçlı fonksiyon $f(x)$ ve x boyutlandırma değişkenin durumu:

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

Boyutlandırma kısıtlayıcılarının durumu:

$$g(x) \leqq b_j^u, \qquad j = 1,2..., p-1 \tag{2}$$

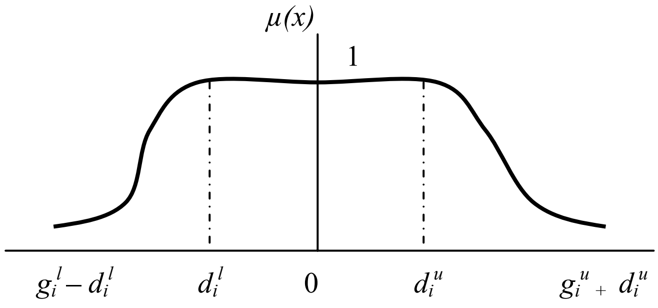
$$g(x) \geqq b_j^l, \qquad j = p, ..., m \tag{3}$$

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.

$$g(x) \leq b_j^u + d_j^u, \qquad j = 1,2, ..., p-1 \tag{4}$$

$$g(x) \geqq b_j^l - d_j^l, \qquad j = p, ..., m \tag{5}$$

olarak tanımlanır.



Şekil 1. Üyelik fonksiyonu

Amaç fonksiyonlarının minimum ve maksimum değerleri, değişkenlerin alt ve üst sınır değeri tarafından $f_i^{\min}$, $f_i^{\max}$ bulunur. Bulunan bu değerler denklem (6)'da yerine yazılır, bulanık amaç fonksiyonlarının, üyelik fonksiyonları:

$$\mu_{fi}(x) = \begin{cases} f_i(x) > f_i^{\max} & ise \quad 0. \\ f_i^{\min} < f_i(x) \le f_i^{\max} & ise \quad \dfrac{-f_i(x) + f_i^{\max}}{f_i^{\max} - f_i^{\min}}, \quad i = 1,2,...,k \\ f_i(x) \le f_i^{\min} & ise \quad 1. \end{cases} \tag{6}$$

şeklinde ifade edilir.

Bulanık kısıtlayıcı fonksiyonların *j.* sınır değerleri b_j ve bulanık eniyi karar bölgesinin müsaade edilebilir bölgesi d_j denklem (7)'de verilmiştir.

$$\mu_{gj}(x) = \begin{cases} g_j(x) > b_j + d_j & ise \quad 0. \\ b_j < g_j(x) \le b_j + d_j & ise \quad 1 - \left(\dfrac{g_j(x) - b_j}{d_j}\right), \quad i = 1,2,...,m \\ g_j(x) \le b_j & ise \quad 1. \end{cases} \tag{7}$$

$$\lambda_i = [f_i^{\max} - f_i\,(x)]/[f_i^{\max} - f_i^{\min}] \quad i = 1,2,...,k \tag{8}$$

elde edilir.

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

Denklem (8) ile, her bir amaç fonksiyonun λ değerlerini birbirine eşitleyerek, bu eşitliği sağlayacak [0,1] aralığında birçok λ değerleri bulunur. Bulunan bu λ değerlerinden en büyüğü *(maxλ)* bulanık eniyi kararı verir. Bu karar boyutlandırma probleminin amaç fonksiyonlarını minimize eder.

$$\begin{aligned} &\max \lambda \\ &\lambda - \mu_{f_i} \le 0, \qquad i = 1,2...,k \\ &\lambda - \mu_{g_j} \le 0, \qquad j = 1,2...,m \end{aligned} \tag{9}$$

değerleri arasında bulunur.

Bulanık parametre ile verilen kısıt ve amaç fonksiyonlarının, üyelik fonksiyonları yardımı ile doğrusal olmayan programlama problemi oluşturulmuştur. Bu oluşum ile ortaya çıkan dışbükey olmayan problem sezgisel bir metot olan genetik algoritma ile çözüm yapılmıştır. Bireyler 0,1 değerlerinden oluşan diziler şeklinde kodlanmıştır.

Önerilen algoritmanın adımları:

1. Adım Rasgele bir başlangıç populasyonu oluştur.

2. Adım Populasyondaki her bir bireyin, üyelik fonksiyonlarını denklem (8)' göre hesapla.

3. Adım Bulanık çok amaçlı eniyi çözümler kümesini belirle.

4. Adım Turnuva seçimine göre ebeveyn bireyleri belirle, bu bireylere çaprazlama uygula ve oluşan bireyleri mutasyona uğrat.

5. Adım Yeni populasyonun üyelik değerlerini hesapla. Bir önceki populasyonda her bir amacı eniyi yapan bireyleri yeni nesil populasyona ekle. Bulanık çok amaçlı eniyi çözümler kümesini yenile.

6. Adım Maksimum jenerasyon sayısına kadar işleme devam et ve en büyük üyelik fonksiyonu olan $\max\lambda$ 'yı getir. Aksi takdirde jenerasyon sayısını 1 artırarak 2. adıma geri dön.

3. ÖRNEK PROBLEM

Geliştirilen bulanık çok amaçlı algoritmayı test etmek için literatürdeki örnek problem seçilmiştir [10,11,19].

$$\min\begin{cases} f_1 = 2\sqrt{2}x_1 + x_2 \\ f_2 = 20\left(\dfrac{1}{x_1+\sqrt{2}x_2}\right) \end{cases} \tag{10}$$

$$g_1(x) = 20\left(\frac{x_2+\sqrt{2}x_1}{\sqrt{2}x_1^2+2x_1x_2}\right) \tag{11}$$

$$g_2(x) = 20\left(\frac{1}{x_1+\sqrt{2}x_2}\right) \tag{12}$$

$$g_3(x) = -20\left(\frac{x_2}{\sqrt{2}x_1^2+2x_1x_2}\right) \tag{13}$$

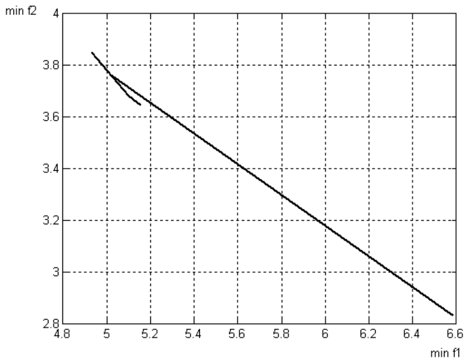
Eniyileme değişkenleri $0.1 \le x_i \le 5 \quad i=1,2$ bulanık kısıtlayıcıların alt ve üst değerleri $-15 \le g_j(x) \le 20 \quad j=1,2,3$ alınmıştır. Klasik eniyileme ile değişkenlerin alt ve üst sınır değerlerine göre $f_1^{\max} = 19.1421$, $f_1^{\min} = 2.6335$, $f_2^{\max} = 14.6719$, ve $f_2^{\min} = 1.6569$ değerleri elde edilir. Bulunan bu değerleri üyelik fonksiyonu denklem (8)'de yerine yazılırsa,

$$\lambda_1 = [19.1421 - f_1]/[19.1421 - 2.6335] \tag{14}$$

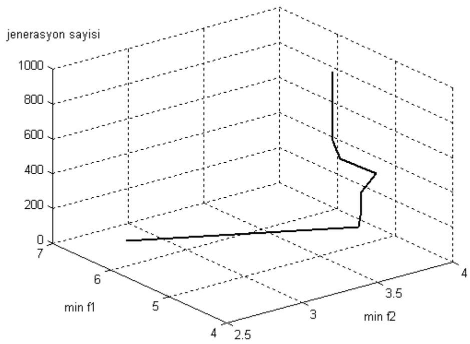
$$\lambda_2 = [14.6719 - f_2]/[14.6719 - 1.6569] \tag{15}$$

elde edilir. Burada, λ_1 ve λ_2 bulanık parametreleri, genetik algoritma içerisine yerleştirilerek parametrelerin eşitlik şartı $\lambda_1 = \lambda_2$ için birçok λ değeri bulunur. Bulunan bu değerlerden en büyük parametre $(\max\lambda)$, amaç fonksiyonlarının minimum değere ulaşmasını sağlayacaktır.

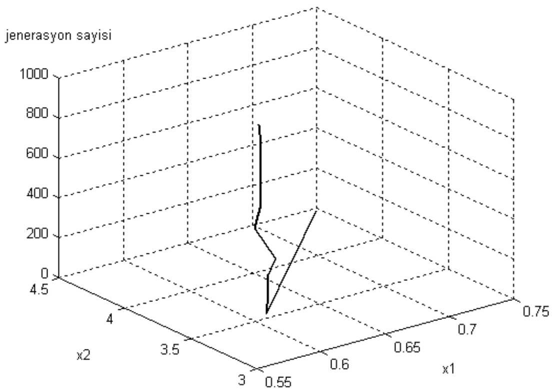
Problemin eniyi boyutlandırmasında kullanılan genetik parametreler; populasyon büyüklüğü 100, çaprazlama tipi üniform, çaprazlama olasılığı *0.85*, mutasyon olasılığı *0.005* olarak alınmış ve *1000* jenerasyon işlemine tabi tutulmuştur. Şekil 2'de görüldüğü gibi her bir amaç fonksiyonun bulanık parametrelerinin eşitliklerini $\lambda_1 = \lambda_2$ sağlayan bir çok değer elde edilir. Elde edilen bu değerlerin en büyük olanı, $\lambda = 0.8473$ ve amaç fonksiyonlarımızın minimum değerleri $f_1 = 5.1534$ ve $f_2 = 3.6441$ olarak elde edilmiştir. Şekil 3'de görüleceği gibi jenerasyon sayısına bağlı olarak amaç fonksiyonları arasındaki değişim gösterilmiştir. Bulanık parametrenin en büyük değeri $\lambda = 0.8473$ olduğu zaman, amaç fonksiyonlarını minimize edecek değişken değerleri, $x_1 = 0.5999$ ve $x_2 = 3.4566$ olarak bulunur. Bu değişkenlerin jenerasyona bağlı değişimi Şekil 4'de gösterilmiştir.



Şekil 2. Amaç fonksiyonlarının karşılaştırılması



Şekil 3. Jenerasyon sayısı – Amaç fonksiyonları değişimi



Şekil 4. Jenerasyon sayısına bağlı olarak $x_1 - x_2$ değişimi

Genetik parametrelerin probleme uygulanması ile birlikte, genetik algoritmanın pratik ve hızlı çözüm veren yapısının birleşimi sonucu, Çizelge 1'deki eniyi sonuçlara ulaşılmıştır. Çizelge 1'de C/C++ programlama dili ile geliştirilen algoritma sonuçları ile literatürdeki sonuçlar karşılaştırılmıştır. Rao ve arkadaşları α-kesme yaklaşımı ile λ-formülasyonunu kullanmış, Shih ve Chang ise ağırlıklı katsayı kullanmış ve Keleşoğlu ise λ-formülasyonunu kullanmıştır. Geliştirilen algoritma ile literatürdeki eniyileme sonuçlarının yüzdeleri karşılaştırıldığında her üç çalışma sonucuna göre %99 yakınsama başarısı gösterilmiştir. Eniyileme sonucu; Pentium IV 2.40 Ghz bir PC'de hazırlanmış ve hesaplama zamanı 18 saniye olarak belirlenmiştir.

Çizelge 1. Bulanık çok amaçlı eniyileme sonuçlarının karşılaştırılması

	Rao ve diğerleri [11]	Shih ve Chang [19]	Keleşoğlu ve Ülker [10]	Fuzzy + Genetik Bu Çalışmada
λ	0,8484	0,8400	0.8477	0.8473
f_1	5.12636	5.28761	5.14757	5.1534
f_2	3.62905	3.48677	3.63894	3.6441
x_1	0.57956	0.58061	0.59455	0.5999
x_2	3.48710	3.64540	3.46593	3.4566

4. SONUÇLAR

Sonuç olarak; bu çalışmada karmaşık ve belirsiz problemlerin çözümü için üyelik fonksiyonları kullanılarak bir genetik algoritma oluşturulmuştur. Geliştirilen bu algoritma genel olup çok amaçlı eniyileme problemine uygulanabilirliği gösterilmiştir. Bulanık çok amaçlı eniyileme problemlerine, genetik algoritmaların uygulanması üzerinde durulmuştur.

Önerilen algoritmanın en temel avantajı küçük bir yazılım ile çok kısa sürede sonuca ulaşmasıdır. Ayrıca, geliştirilen algoritmanın eniyileme probleminde daha etkili çözüm verdiği görülmüştür.

Geliştirilen algoritma ile, doğrusal olmayan problemlerin çözümünde kullanılan üyelik fonksiyonunun en büyük değeri en iyi performansı sağlamıştır. Bu nedenle dışbükey olmayan problemlerin bu metotla etkili çözüm vereceği gözlenmektedir.

KAYNAKLAR

[1] Pareto, V., 1906, "Manuale di Economica Polittica, Societa Editric Libraia, Milan, Italy; Translated into English by A.S. Schwier, as Manual of Political Economy", Macmillan, New York, 1971.

[2] Koski, J., "Multicriteria Optimization in Structural Design", Proceedings of The International Symposium on Optimum Structural Design 11th ONR Naval Structural Mechanics Symposium. Tucson, AZ ,1981.

[3] Koski, J., "Multicriterion Optimization in Structural Design", in New Directions in Optimum Structural Design. pp.483-503. John Wiley New York, 1984.

[4] Eddy, J., Lewis, K., "Effective Generation of Pareto Sets Using Genetic Programming", ASME 2001 Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference Pittsburgh, PA, September 9-12, 2001.

[5] Mattson, C.A., Messac, A., "Concept Selection Using s-Pareto Frontiers", AIAA Journal Vol. Vol. 41, No. 6. June, 2003.

[6] Eshwar, K., Kumar, Vellanki, S.S., "Optimal Deployment of Construction Equipment Using Linear Programming with Fuzzy Coefficients", Advances in Engineering Software, Vol. 35, 27-33, 2004.

[7] Xiong, Ying., Rao, S.S., "Fuzzy Nonlinear Programming for Mixed-Discrete Design Optimization Through Hybrid Genetic Algorithm", Fuzzy Sets and Systems, 2003.

[8] Keleşoğlu, Ö., "Çok Amaçlı Bulanık Optimizasyon Tekniği için Bir Algoritma", SAÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, Cilt 7(3), 37-42, 2003.

[9] Zadeh, L., "Fuzzy Sets", Information and Control Vol. 8, 338-353, 1965.

[10] Keleşoğlu, Ö., Ülker, M., "Çok Amaçlı Bulanık Optimizasyon Tekniği ile Düzlem Kafes Sistemlerin Boyutlandırılması", Politeknik Dergisi,Cilt 6(2), 505-511, 2003.

[11] Rao, S.S., Sundararaju, K., Prakash, B.G., Balakrishna,, C., "Multiobjective Fuzzy Optimization Techniques for Engineering Design", Computers & Structures, Vol. 42, No. 1, pp. 37-44, 1992.

[12] Keleşoğlu, Ö., "Lineer Olmayan Uzay Kafes Sistemlerin Bulanık Mantık Yöntemi ile Optimizasyonu", Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 2002.
[13] Sakawa, M., Inuiguchi, M., Sunada, H., Sawada, K., "Fuzzy Multiobjective Combinatorial Optimization Using Improved Genetic Algorithms", J. of the Japan Fuzzy Society, Vol.6, No. 1, pp. 177-185, 1994.
[14] Sakawa, M., Kato, K., Sunada, H., Sonoda, Y., "Interactive Fuzzy Satisfaction Method by Improved Genetic Algorithms for Multiobjective 0-1 Programming Problems", J. of the Japan Fuzzy Society, Vol. 7, No. 2, pp. 361-370 1995.
[15] Sasaki, M., Gen, M., "Fuzzy Multiple Objective Optimal System Design by Hybrid Genetic Algorithm", Applied Soft Computing, Vol. 2/3F, pp. 189-196, 2003.
[16] Sakawa, M., "Genetic Algorithms and Fuzzy Multiobjective Optimization", Kluwer Academic Publisher, Boston, 2001.
[17] Mondal, S., Maiti, M., "Multi-Item Fuzzy EOQ Models Using Genetic Algorithm", Computers & Industrial Engineering, Vol. 44, pp. 102-117, 2002.
[18] Lin F.T., Yao, J.S., "Applying Genetic Algorithm to Solve the Fuzzy Optimal Profit Problem", J. of Information Science and Engineering, Vol. 18, pp. 563-580, 2002.
[19] Shih, C.J., Chang, C.J., "Pareto Optimization of Alternative Global Criterion Method for Fuzzy Structural Design", Computers & Structures, Vol. 54, No. 3, pp. 455-460, 1995.