

MADENCİLİKTE BULANIK MANTIK UYGULAMASI

FUZZY SET APPLICATION IN MINING

Ataç BAŞÇETİN, Ayhan KESİMAL

İ.U. Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, 34850 Avcılar - İSTANBUL

ÖZ: Optimum amaca ulaşmak için alternatifler kümesinden en iyi alternatifi seçme prosesi olarak tanımlanabilen karar verme aşaması çoğunlukla bir belirsizliği içerir. Ayrıca kararı etkileyen bu belirsiz kriterlere ilaveten rakamsal olarak ifade edilemeyen dilsel değişkenler de söz konusu olabilir. Bu tür bulanık ortamlarda karar vermede maden planlama mühendisleri çoğunlukla geçmiş tecrübelerden yararlanmaktadır. Temeli 1970'li yıllara dayanan Bulanık Küme Teorisi bu noktada oldukça başarılı bir şekilde değerlendirilmektedir. Bu teoride belirsizlik ifade eden, tanımlanması güç veya anlamı zor kavramlara üyelik derecesi atayarak onlara belirlilik getirmekte ve böylece karar vermede büyük kolaylık sağlanmaktadır. Bu çalışmada, bir seramik fabrikasına verilecek feldispati istenen boyuta indirmek için yeni alınan kırıcının optimum bir alana (ocağa ve cevher hazırlama tesisine yakın) yerleştirilmesi kararını vermede bulanık küme teorisinden yararlanılmış ve teorisinin oldukça kolay ve hızlı bir çözüm getirdiği kanıtlanmıştır.

Anahtar Sözcükler : Bulanık Kümeler, Karar Verme, Bulanık Çok Kriterli Karar Verme.

ABSTRACT: Decision making can be defined as a selection process of the best one among the alternatives sets in order to obtain optimum goal, and mostly has an uncertain situation. Additionally, mostly linguistic variables (the weather is raining, soil is wet, etc.) become in question. Mine planning engineers often use of their intuition and experiences in decision making. As the fuzzy set theory was carried out since 1970, these uncertainties in question are easily evaluated in decision making process. Real world study is decision making under vague constraints of different importance, after using uncertain data (linguistic variables), where compromises between antagonistic criteria are allowed. In this paper, we purpose a fuzzy multiple attribute decision making for the optimal place selection of an in-pit crusher system to be established between the quarry and processing plant.

Key Words : Fuzzy Sets, Decision Making, Multiple Attribute Decision Making.

GİRİŞ

L.A. Zadeh'in "From Circuit Theory to System Theory" başlıklı 1962 yılındaki yazısı, bilim dünyasında yeni bir dönüm noktası ve "Fuzzy Sets" başlıklı 1965 yılındaki yazısı da "Bulanık Kümeler" kuramında bir başlangıç olmuştur (Türkşen, 1985). Günümüze kadar da bu konuda oldukça fazla ilerlemeler kaydedilerek; bulanık (fuzzy) mantığı, endüstriyel kontrol, askeriye, ekonomi, mühendislik, tıp, model tanıma ve sınıflandırma gibi pekçok konuda çok geniş problemlerin çözümünde kullanılmaya başlanmıştır. Mevcut referanslar arasında; Maiers ve Sherif (1985) [bulanık küme teorisi uygulamaları], Klir ve Folger (1988) [bulanık kümeler, belirsizlik ve bilgi], Zimmermann (1991) [bulanık küme teorisi uygulamaları], Dubois vd. (1992) [bulanık kümeler ve sistemler], Yüksel vd. (1994) [petrol ve maden arama çalışmaları],

ları], Kömür ve Demir (1996) [bulanık mantık ve yapı mühendisliği], Başçetin ve Kesimal (1998) [bulanık mantık ile selektif madencilik], Başçetin, (1999), [Açık İşletmelerde Optimum Ekipman Seçimi], Cao and Chen (1983) [bulanık mantık ile meteorolojik tahminler], Vila and Delgado (1983) [medikal hastalıklar], Clarke, vd (1990) [açık ocak ekipman seçiminde karar verme araçları], Denby and Schofield (1992) [zeki bilgisayar teknikleri ile dragline seçimi], Haidar and Naom (1996) [genetik algoritma ile serimli madencilikte ekipman seçimi], Schofield and Denby (1990) [zeki bilgisayar teknikleri ile açık ocak sistem dizaynı], Nguyen (1985) [jeomekanikte bulanık küme uygulamaları], Nguyen and Ashworth (1985) [bulanık kümeler ile kaya kütlesi sınıflaması], Bandopadhyay vd. (1986), [bulanık algoritma ile arazinin madencilik sonrası kullanımının seçimi], Bandopadhyay

(1987) [birincil kazı ekipmanlarının sıralanması], Bandopadhyay (1987) [madencilikte karar vermede bulanık algoritma], Herzog and Bandopadhyay (1996) [analitik hiyerarji prosesi yoluyla optimum faydalanma metodlarının sıralanması], Gershon vd. (1993) [madencilik metodu seçimi] gibi yukarıda saydığımız ve benzeri alanlarla ilgili birçok uygulamayı görebiliriz.

BULANIK KÜME TEORİSİ

Özde, bulanık kümeler kuramının amacı belirsizlik ifade eden, tanımlaması güç veya anlamı zor kavramlara üyelik derecesi atayarak onlara belirlilik getirmektedir. Belirlilik getirme yaklaşımı iki değerli kümeler kuramının, çok değerli kümeler kuramına dönüşümünden doğar. Genelde ve özel olarak geçmişte, belirsizlik ifade eden terimler ve kavramlar gelişigüzel bir ayırma tabi tutulmuşlar ve iki değerli kümeler kuramı ile tanımlanmışlardır. Bunun yanısıra son otuz yılda gelişen, bulanık kümeler kuramı yaklaşımı ise belirsizlik ifade eden terimler ve kavramların, gelişigüzel bir ayırma tabi tutulmaksızın belirsizliğe belirlilik dereceleri atayarak, çok değerli kümeler kuramı ve kapsamı içinde tanımlanmalarına yol açar. Bulanık mantığı daha iyi anlayabilmek için Çizelge 1'de görüldüğü gibi dört farklı bulanık alt kümeyle sahip evrensel bir kümenin elemanlarının üyelik derecelerini düşünelim (Başçetin ve Kesimal, 1998). Burada "yaş" ları ifade eden X evrensel kümesi (crisp set) aşağıdaki gibi seçilmiştir:

$$X = \{5, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80\}$$

Burada bebek, çocuk, genç ve yaşlı olarak sıralanan bulanık kümeler, X'in olası bütün bulanık alt kümelerini içeren kuvvet kümesinin dört elemanıdır. Görüldüğü gibi kesin olarak tanımlanamayan bazı kavramlara (genç, yaşlı, vb.) üyelik derecesi atanarak (uzman kişilerin görüşü ile) belirsizlikten belirli bir kavram haline getirilmektedir. Klasik kümede ise bir eleman ya bu kümenin elemanıdır ya da değildir. Yani bu eleman ya 0 ya da 1 değerini alır. Özet olarak, yukarıda açıklandığı gibi bulanık mantık, belirsiz ortamlarda optimum kararlar almaya yarayan, belirli bir mantığa dayalı bir kavramdır (George and Tina, 1988, Baray, 1993, Özçakar, 1995).

Bu daha geniş ifade tarzı ve tanımlama yaklaşımı "Bulanık Kümeler" ve "Olabilirlik" kuramları kapsamında, yukarıda özetlediğimiz temel ve uygulamalı birçok kuramları, bilimleri ve sistemleri etkilemeye başlamıştır. Bulanık Küme Teorisinin endüstriyel uygulamaları için çeşitli örnekler Çizelge 2.'de verilmiştir (Esnaf, 1996).

BULANIK ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME

Karar verme, amaç yada amaçlara ulaşmak için alternatifler kümesinden en iyi alternatifi seçme prosesi olarak karakterize edilebilir. Birçok durumda karar aşaması belirsizliği içerir. Bu yüzden faydalı bir karara ulaşmaya yardımcı olan önemli görüşlerden biri kesin olmayan (imprecise) ve muğlak bilgiyi ("büyük" kazanç, "fazla" hız ve "ucuz" fiyat gibi) elde etme yeteneğini sağlamaktır.

Çizelge 1. Bulanık Küme Örnekleri.

Table 1. Examples of Fuzzy Sets.

Elemanlar (yaşlar)	Bebek	Yetişkin	Genç	Yaşlı
5	0	0	1	0
10	0	0	1	0
20	0	0.8	0.8	0.1
30	0	1	0.5	0.2
40	0	1	0.2	0.4
50	0	1	0.1	0.6
60	0	1	0	0.8
70	0	1	0	1
80	0	1	0	1

Çizelge 2. Bulanık Teknolojinin Endüstriyel Uygulamaları (Esnaf, 1996).

Table 2. Industrial Applications of Fuzzy Technology (Esnaf, 1996).

Ürün	Üretici Firma	Bulanık teknoloji Rolü
Kiima	Hitachi, Matsushita, Mitsubishi, Sharp	Açma kapama sırasında daha az enerji harcamak.
ABS fren sistemleri	Nissan	Araç, tekerlek hızları ve ivmelerine göre tehlikeli durumlarda frenlerin kontrolü
Otomobil motoru	NOK/Nissan	Oksijen, soğutma suyu sıcaklığı, yakıt hacmi, krank açısı, vuruş ve egzoz basıncına göre yakıt püskürtme ve ateşlemesini kontrol etmek.
Otomobil aktarma	Honda, Nissan, Subaru	Motor yükü, kullanım stili ve yol koşullarına göre diğli oranını seçmek
Hız kontrol	Isuzu, Nissan, Mitsubishi	Araç hızı ve ivmesine göre hızı belirlemek için kurbüratör boğazını ayarlamak
Bulaşık makinası	Matsushita	Yıkama periyodu, duymama ve yıkama programlarını, bulaşık sayısına ve bulaşıklardaki kir tipine göre seçmek
Kurutma makinası	Matsushita	Ağırlık, kumaş tipi ve sıcak hava akışını, kurutma programı ve zamanına dâhilgürmek
Çamaşır makinası	Daewoo, Goldstar, Samsung (G. Kore), Hitachi, Matsushita, Sanyo, Sharp	Çamaşır ağırlığı, kumaş tipi, kir düzeyi ve su seviyesine göre yıkama programını seçmek (bazı modeller sinir ağıları kullanarak kullanıcının alışkanlığını öğrenerek bunu yaparlar)
Buzdolabı	Sharp	Kullanıma göre soğutma ve defrost zamanını ayarlamak. Bir sinir ağı kullanıcının alışkanlığını öğrenerek buna uygun bulanık kuralları seçer
Elektrik süpürgesi	Hitachi, Matsushita, Toshiba	Kir miktarı ve halı tipine göre süpürge emişini ayarlamak
Televizyon	Goldstar, Samsung (G.Kore), Hitachi, Sony	Ekran rengini, kontrastını ve farklılığını ayarlamak, izleyicinin odadaki konumuna göre ses sabitlemek
Asansör kontrolü	Fujitec, Mitsubishi Electric, Toshiba,	Kullanıcı trafiğine göre bekleme zamanını azaltmak
Fabrika kontrolü ve otomasyonu	Omron Electronics	İşleri ve montaj hatı stratejilerini belirlemek
Demir tel çekme kontrolü	Nippon Steel	Çırdı karışımını belirlemek, sıcaklık ve zamanları ayarlamak
Video çekimi ve oynatıcı	Canon, Sanyo	Oto-odaklama ve ışık ayarı yapmak

Bellman ve Zadeh (Bellman and Zadeh, 1970)'e göre gerçek dünyadaki birçok karar (karar verme); amaçların, kısıtlamaların ve olası hareketlerin sonuçlarının tam olarak bilinmediği bir ortamda yer almaktadır.

Kullanışlı bir karar modeli, eksik (incomplete), birbirine uyumsuz (inconsistent) ve kesin olmayan bilgi ve haberi elde etmelidir. Farklı görüş, davranış (attitude) ve inançların (belief) doğruluğu da kabul edilmelidir. Bir karar modeli, bulanık ortamlar altındaki karar ve değerlendirmeler için kriterlerin, alternatiflerin ve niteliklerin belirlendiği, ölçüldüğü ve birleştirildiği bir prosesi içermelidir. Bir modelin doğruluğunda belirsizliğin bulunması, uygun olarak yürütülen tahmin, yorum ve düzeltmeler için kabullerin varolması demektir. Doğruluk, belirsizlik (uncertainty) için bir subjektif model bilgisi olarak düşünülebilir ve bu yüzden hata

olasıdır.

KARAR VERME TEORİLERİNİN BİR FELDSPAT AÇIK OCAĞINDA UYGULANMASI

Bu çalışmada, bulanık bir ortamda karar verme için kullanılan önemli metodlardan biri olan Yager metodu kullanılmıştır. Bu metod Saaty ve Bellman&Zadeh teorilerine dayandığı için öncelikle bu teoriler incelenmiştir.

Saaty (1978a; 1986)-[Non-fuzzy Method]

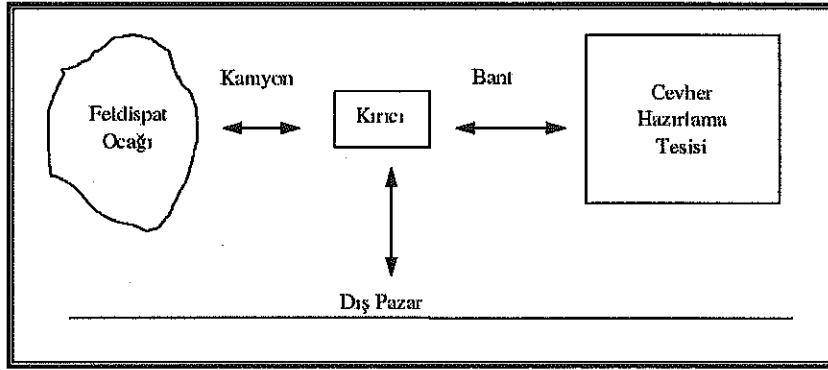
Yazara göre bu metod karar vermedeki belirsizlik için bulanık küme teorisine bir alternatiftir. Bu yaklaşım bulanık kümeleri kullanmamasına rağmen, kriter ve amaçlara (objectives) ağırlık değeri verilmesinde bu metodu kullanan belirli yazarlar bulanık kümelerle ilgili olduğunu düşünür. Sa

aty yaklaşımı "analitik hiyerarşi prosesine*" dayandır (Riberio, 1996).

Bu metod çok kriterli bir çerçevedeki bir sistemin kriter ve amaçlarını (objelerini) hiyerarşik olarak yapılandırarak nispi bulanıklığı ölçer. Saaty, alternatifleri sınıflamak için kriterler ve/veya objeler arasında hiyerarşik çift yöllü karşılaştırmayı (hierarchical pair-wise comparison) kullanır ve sonra ters matrislerin özvektörleri (eigenvectors of reciprocal matrices) ile bunları çözer. Bu yaklaşımın matematik forma ilaveten madencilikle ilgili bir örnek üzerinde açıklanması anlaşılmasını kolaylaştıracaktır.

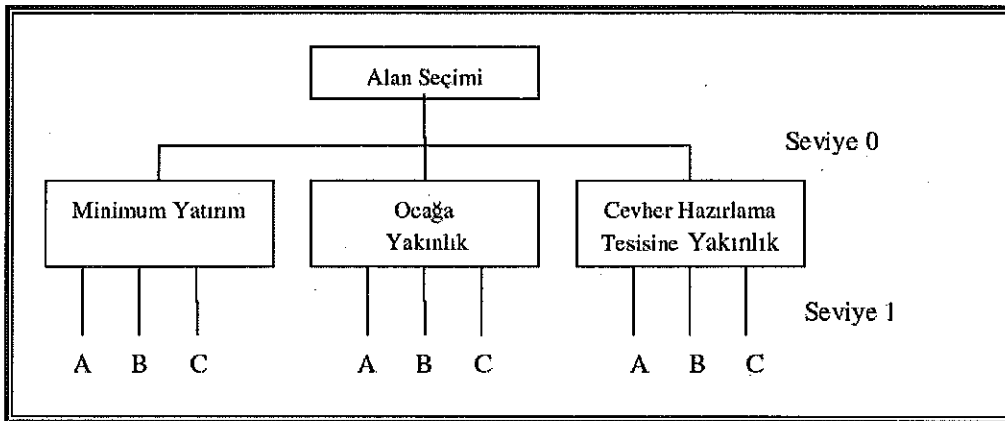
Bir feldspat ocağına yeni alınan bir kırıcının; mümkün minimum yatırımla (amaç, G; enerji ge-

reksinimi, ulaşım, pazarlama, işçilik vb.), yerleştirileceği alanın {A, B, C} alternatif alanlar kümesinden seçimi problemini düşünelim. Burada kırıcının ocağı (1. Kriter/C1) ve cevher hazırlama tesisine en yakın (2. Kriter/C2) olacak şekilde yerleştirilmesi planlanmaktadır. Şekil 1'de bu seramik fabrikasına ait feldspat ocağında üretilen malzemenin istenilen boyuta indirilmesi için yeni alınan kırıcının konumu şematik olarak görülmektedir. Ocak ile tesisler arası mesafe 40 km. olup, ocaktan üretilen malzeme kamyonlar ile kırıcıya ve oradan bant nakliyatı ile cevher hazırlama tesisine taşınmasının en ekonomik yöntem olacağı yapılan hesaplamalar ile tespit edilmiştir. Analitik hiyerarşi ise Şekil 2'de verilmektedir.



Şekil 1. Sistemin Şematik Olarak Temsili Görünümü.

Figure 1. Schematic View of The System.



Şekil 2. Saaty Hiyerarşisine Bir Örnek (Riberio, 1993).

Figure 2. An Example of Saaty Hierarchy (Riberio, 1993).

*"Kompleksliği azaltan bir metod, bileşenleri yapılanmamış durumda; bu parçaları ve değişkenlerini hiyerarşik bir sırada düzenler; her bir değişkenin nispi önemi üzerindeki subjektif kararlara nümerik değerler tayin etmek; en yüksek önceliğe sahip değişkeni belirleyen kararları sentezlemek; sonuç hükmünü etkilemek".

Kullanılan karar ölçeği Saaty tarafından önerilmiştir (karar verici bu ölçeği kendisi oluşturabilir) : 1. önemli (equally important); 3. biraz önemli (weakly more important); 5. kuvvetlice önemli (strongly more important); 7. ispat edilebilir şekilde çok önemli (demonstrably more important); 9. tamamen çok önemli (absolutely more important). Aradaki değerler (2, 4, 6, 8) uzlaştırıcı kararları gösterir. Hiyerarşide (Şekil 2), yukarıdaki merkez noktasının matrisi sıfır seviyesine (kriterlerin karşılaştırılması) denk gelir, diğerleri 1 seviyesine denk gelir.

Kare ters matrislerin (square reciprocal matrices) yapılması; i elemanı j elemanı ile karşılaştırmak için karar vericiye sorularak uygulanır. Ayrıca belirli bir kriter veya amaca göre a_{ij} değerini ortaya koymak için de aynı sorgulama yapılır. Diğer değerlere aşağıdaki gibi değer atanır :

$$(a) a_{ji} = 1/a_{ij}; (b) a_{ii} = 1.$$

Yukarıdaki örnek için Saaty'ın ters matrisi şöyledir :

Kriterlerin Karşılaştırılması	Minimum Yatırım			Ocağa Yakınlık			Cevher Hazırlama Tesisine Yakınlık					
	G	C1	C2	A	B	C	A	B	C	A	B	C
G	1	1/7	1/7	1	1/5	1/5	1	3	3	1	1	7
C1	7	1	1	5	1	1	1/3	1	1	1	1	5
C2	7	1	1	5	1	1	1/3	1	1	1/7	1/5	1

Kriter	$\begin{bmatrix} .1005 \\ .7035 \\ .7035 \end{bmatrix}$	normalleştirilmiş	$\begin{bmatrix} .08 \\ .46 \\ .46 \end{bmatrix}$	Minimum yatırım	$\begin{bmatrix} .14 \\ .7 \\ .7 \end{bmatrix}$	normalleştirilmiş	$\begin{bmatrix} .09 \\ .455 \\ .455 \end{bmatrix}$
Ocağa Y	$\begin{bmatrix} .9045 \\ .3015 \\ .3015 \end{bmatrix}$	normalleştirilmiş	$\begin{bmatrix} .6 \\ .2 \\ .2 \end{bmatrix}$	Cevher H. T. Y.	$\begin{bmatrix} .7403 \\ .6618 \\ .1183 \end{bmatrix}$	normalleştirilmiş	$\begin{bmatrix} .49 \\ .43 \\ .08 \end{bmatrix}$

Nihai sonuç kriter karşılaştırmaları için tabiileştirilmiş vektörler düşünülerek elde edilir.

Inv. O.Y. C.Y.

$$\begin{bmatrix} .09 & .6 & .49 \\ .455 & .2 & .43 \\ .455 & .2 & .08 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} .08 \\ .46 \\ .46 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} .51 \\ .33 \\ .16 \end{bmatrix} \quad \begin{array}{l} A = .51 \\ B = .33 \\ C = .16 \end{array}$$

Not: Inv (minimum yatırım/ min. invest); O.Y. (ocağa yakınlık); C.Y. (cevher hazırlama tesisine yakınlık)

Böylece en iyi alternatif A' 'dir. Yani A alanının seçimi amaç ve kriterleri en iyi sağlayan alternatiftir.

Sonuçlar şunu göstermektedir; A alternatifi ocağa yakınlık kriteri açısından B ve C'den (3,3) daha önemli (more important), cevher hazırlama tesisine yakınlık kriteri için C'den (7) çok daha önemli (much more important) ve ocağa yakınlık kriteri ve cevher hazırlama tesisine yakınlık kriteri (7,7) minimum yatırım kriterinden çok daha önemli olduğu için A alternatifi en iyi seçenektir.

Özet olarak, bu yaklaşım oldukça sabit (uyumlu), yapısal ve sezgiseldir. Buradaki problem bütün karşılaştırmaların önem karşılaştırması ile yapılmasından kaynaklanmaktadır. Bu, bulanık küme olarak kriterin tanımlanmasında olası ince farkları kaybettirmektedir. Örneğin, minimum yatırım A ve B alternatifleri için sırasıyla 30.000 \$ ve 32.000 \$ olsun; minimum yatırım bulanık kümesine ait derece kaçırılmaktadır. Sadece onların birbirlerine göre nispi önemi ölçülür. Bütünlüğü sağlamak için mükemmel bir çift yöllü karşılaştırma yapılması diğer bir sakıncalı sayılabilecek bir konudur. Eğer çok sayıda kriter varsa bu çok zaman alacaktır. Bununla birlikte, analitik hiyerarşi prosesi, belirsizlikle ilgili çok kriterli problemlerde alternatif sınıflamasını elde etmek için bulanık küme yaklaşımlarına bir alternatif sunar.

Bellman and Zadeh (1970)

Literatürde tartışılan ilk gerçek bulanık metodur. Çok kriterli karar verme problemlerine yoğunlaşmada düşünülen tek amaç, alternatifler kümesinden en iyisini seçmektir. Diğer amaçlar kriter olarak düşünülür.

Saaty yaklaşımında verilen örneği bu yaklaşımı açıklamak için kullanabiliriz. Karar, kurulacak yeni bir kırıcı için, ocağa (1.kriter/C1) ve cevher hazırlama tesisine yakınlık (2. Kriter/C2) ve minimum yatırım (amaç/kriter) gerekleri ile bir alan seçmektir. Formüsel olarak; $A = \{A_1, A_2, \dots, A_n\}$ alternatifler alanlar kümesi;

$C = \{C_1, C_2, \dots, C_m\}$ alternatifler uzayında bulanık kümeler olarak açıklanabilen kriterler kümesi ve bir bulanık küme olarak açıklanabilen amaç G olsun. Böylece, üyelik karar fonksiyonu;

$$\mu_D(A) = \min(\mu_G(X), \mu_{C_1}(X), \mu_{C_2}(X), \dots, \mu_{C_m}(X),$$

Burada $\mu^\circ(A)$; bu kriter ve amacı tatmin eden bir alternatifi derecesi olarak yorumlanabilir. Burada kriter önemlerinin eşit olarak benzemediği (kriter önemlerinin farksız olduğu) ve ağırlık katsayılarının gerektiği durumlar vardır. Bu durumda kriterlerin nispi önemi ile bu karar fonksiyonu aşağıdaki gibi olacaktır (basitleştirme için üyelik işareti μ atılmıştır).

$$D = \min(w_0G, w_1C_1, w_2C_2, \dots, w_mC_m) \sum_{g=1}^m w_g = 1.$$

Daha anlaşılır olması için, kararın; yeni bir kırıcı için, ocağa ve cevher hazırlama tesisine yakınlık kriterleri ve olası minimum yatırımla bir alan seçimi olduğu daha önce verdiğimiz örneği kullanalım. $A = \{A_1, A_2, A_3\}$ mevcut alanların kümesi olsun, G yatırımın minimizasyonu ve C_1, C_2 kriterleri sırasıyla ocağa yakın ve cevher hazırlama tesisine yakın yerleşim olsun. A_i alternatifinin üyelik derecesini göstermek için $\{\mu(A_i)/A_i\}$ çiftini kullanarak, nihai karar fonksiyonu :

$$G = \{0.5/A_1, 0.8/A_2, 0.3/A_3\}$$

$$C_1 = \{0.7/A_1, 0.9/A_2, 0.5/A_3\}$$

$$C_2 = \{0.4/A_1, 0.2/A_2, 0.9/A_3\}$$

Sonra;

$$D = \min(G(A_i), C_1(A_i), C_2(A_i))$$

$$D = \{0.4/A_1, 0.2/A_2, 0.3/A_3\}$$

ve maksimum-minimum karar prosedürünü kullanarak nihai karar A_1 'dir. Kriter önemi düşüldüğünde kriterin hassasiyetini kuvvetlendirmek için, C_1 ve C_2 kriterlerinin çok önemli G'nin ise o kadar önemli olmadığını farzedelim (örneğin $w_G = 0.1, w_{C_1} = 0.45, w_{C_2} = 0.45$ gibi). Böylece;

$$D = \min(0.1*G, 0.45*C_1, 0.45*C_2)$$

$$G = \{0.05/A_1, 0.08/A_2, 0.03/A_3\}$$

$$C_1 = \{0.315/A_1, 0.405/A_2, 0.225/A_3\}$$

$$C_2 = \{0.18/A_1, 0.09/A_2, 0.405/A_3\}$$

$$D = \{0.05/A_1, 0.08/A_2, 0.03/A_3\}$$

Şimdi nihai optimal karar 0.08 üyelik derecesi (maksimum) ile A_2 'dir. Bu örnek, bu metodun tamamlanmasının oldukça basit olduğunu gösterir. Buradaki sakınca (çekince) bütün kriter, amaç ve ağırlık üyeliklerinin karar verici tarafından verilme

zorunluluğudur. Ayrıca, küçük bir ağırlık önemi, kriteri; nihai minimizasyon bazında, çok önemli (most important) kriter haline dönüştürebilecektir. Örnekte bu açıkça görülebilir. Diğer önemli bir sakınca bütün kriterlerin "ve" operatörü ile tamamlanması zorunluluğudur. Bu alternatif 2'de görülebilir. Alternatif 2 kriter 1 ve amaç (G-değerlerinden daha iyi) için oldukça iyi bir değere sahiptir; fakat sonra kriter 2 için iyi olmadığından elimine edilmiştir. Daha sonra Zadeh (Zadeh, 1973) bu ağırlıklama prosedürünü geliştirmek için dilsel semboller kavramını tanıtmıştır. Özet olarak, bu metod oldukça basittir, fakat, bu ağırlıklama metodu henüz hamdır. Ayrıca, üyelik atamalarını kolaylaştırmak için herhangi bir öneri getirilmemiş ve kriterleri elimine edebilen bütün kriterlerin icrası mecburiyetinde burada devam etmektedir.

Yager (1978; 1977)

Yager metodu Bellman ve Zadeh'in maksimum-minimum prensibini kullanır. Bu yüzden bulanık küme kararı bütün kriterlerin (ve/veya amaçlar) kesişimidir.

$\mu_D(A) = \min(\mu_{C_1}(A), \mu_{C_2}(A), \dots, \mu_{C_m}(A))$ bütün $A_j \in A$ içindir.

ve optimal karar,

$\mu_D(A^*) = \max \mu_D(A)$ (A^* nin optimal olduğu durumda)

Ana farklılık kriter öneminin eksponansiyel ölçekler olarak sunulmasıdır. Bu dilsel semboller temeline dayanır (Zadeh, 1973). Ağırlıkların (önemlerin) eksponansiyel olarak kullanılmasının arkasındaki ana prensip, minimum kuralından dolayı, önemi yüksek olan kriter daha büyük eksponent olmalıdır. Tersine daha az önemli olan daha küçük ağırlıklıdır. Bu sezgisel bir durumdur. Formül olarak;

$\mu_D(A) = \min((\mu_{C_1}(A))^{\alpha_1}, (\mu_{C_2}(A))^{\alpha_2}, \dots, \mu_{C_m}(A)^{\alpha_m})$, $\alpha > 0$ için.

Ağırlıkların tayin edilmesi için bir alternatif, μ^2 ye karşılık gelen "çok (very)" örneğinde olduğu gibi Zadeh'in dilsel değişkenlerinin kullanımınıdır. Bu teoriyi göstermek için Bellman ve Zadeh yaklaşımının, C_1 ve C_2 kriterlerinin çok önemli (very important) olduğunu açıklamak için, "çok (very)" dilsel sembolünü kullandığı örneği düşünelim. Bu

sonuç;

$$G = \{0.5/A_1, 0.8/A_2, 0.3/A_3\}$$

$$C_1^2 = \{0.49/A_1, 0.81/A_2, 0.25/A_3\}$$

$$C_2^2 = \{0.16/A_1, 0.04/A_2, 0.81/A_3\}$$

$$D(A) = \{0.16/A_1, 0.04/A_2, 0.25/A_3\}$$

0.25 maksimum üyeliğe denk geldiğine göre, optimal sonuç şimdi A_3 'tür. Ağırlıkların tayin edildiği bu metod, çok yaygın muhakeme yapmaya olanak sağladığı için fazla sezgisel değildir (örneğin, kriter 1 ve kriter 2 kriter 3'ten çok önemlidir (more(very) important), fakat kriter 1'de kriter 2'den çok önemlidir). Bu son problemin üstesinden gelmek için, Yager; kriterlerin (criteria/attributes) çift yöllü karşılaştırılması (pair-wise comparison) için Saaty metodunun kullanılmasını önerir (Saaty, 1978). Kriterlerin çift yöllü karşılaştırılması (a pair-wise comparison of attributes/criteria); kriter öneminin tayin edilmesini hem düzenleyebilecek hem de kolaylaştırabilecektir. Saaty, ters matris olarak sunulan ve matrisin maksimum özdeğerine karşılık gelen özvektörün gösterildiği, önem oran sıkalasını elde etmek için bir prosedür geliştirdi (karşılıklı elemanlar için bir oran sıkalasıdır) (Bellman and Zadeh, 1970). Karar verici önemi elde etmek için, çift yöllü karşılaştırmalarda kriter yargısı için sorgulanır ve tayin edilen değerler $w_{ij} = 1/w_{ji}$ şeklindedir. Yargılar elde edildikten sonra, $m \times m$ B matrisi şöyle oluşturulur; (a) $b_{ii} = 1$; (b) $b_{ij} = w_{ij}$, $i \neq j$; (c) $b_{ji} = 1/b_{ij}$. Özet olarak, Yager, karar aşamasında herbir kriter için karar vericinin ampirik önem kıymetlendirmesini (empirical estimate of importance) açıklamak için özvektör kullanımını önerir. Daha önce verdiğimiz fabrika arzisi seçme örneğini düşünelim. Fakat bu sefer kriter 1 ve kriter 2 çift yöllü karşılaştırılmasında; sırasıyla C_1 ve C_2 , G'nin iki katı önemde olsun. Çift yöllü karşılaştırma ters matrisi (the pair-wise comparison reciprocal matrix) aşağıdaki gibidir :

	G	C_1	C_2
G	1	1/2	1/2
C_1	2	1	1
C_2	2	1	1

Buradan, ters matrisin özdeğerleri $\lambda = [0,3,0]$ olup ve böylece $\lambda_{\max} = 3$ 'tür. Kriter ağırlıkları nihai olarak, maksimum özdeğere karşılık gelen özvektördür (eigenvector of the matrix);

$$\text{özvektör} = \begin{bmatrix} 1/3 \\ 2/3 \\ 2/3 \end{bmatrix} (\lambda_{\max} \text{ ile})$$

Ağırlıklara karşılık gelen özvektör kriterlerin/özelliklerin/amaçların herbirinin üyelikleri ile ilişkilendirilir. Böylece, eksponansiyel ağırlıklama şöyle olacaktır; $\alpha_1 = 1/3$, $\alpha_2 = 2/3$, $\alpha_3 = 2/3$ ve arazi yerleşimi hakkındaki nihai karar aşağıdaki gibi elde edilir.

$$G = [0.5/A_1, 0.8/A_2, 0.3/A_3]^{1/3} = [0.79/A_1, 0.92/A_2, 0.66/A_3]$$

$$C_1 = [0.7/A_1, 0.9/A_2, 0.5/A_3]^{2/3} = [0.78/A_1, 0.93/A_2, 0.63/A_3]$$

$$C_2 = [0.4/A_1, 0.2/A_2, 0.9/A_3]^{2/3} = [0.54/A_1, 0.34/A_2, 0.93/A_3]$$

$$D(A) = \{0.54/A_1, 0.34/A_2, 0.63/A_3\}$$

ve optimal sonuç,

$$D(A^*) = 0.63/A_3$$

En iyi alternatif dilsel değişken "çok (very)" ile elde edilenle özdeştir. Bununla birlikte destekleme (üyelik derecesi) çok farklıdır. Saaty metodunun üstün olması ile kriter ağırlıklarının belirlenmesi için elde edilen bu destekleme (üyelik derecesi) büyük öneme sahiptir. En iyi alternatif, bütün kriterleri memnun eden 0.63 üyelik derecesi (destekleme) ile sonuçlanmıştır.

Özet olarak, Yager metodu, kriterler için subjektif ağırlıklar olarak özvektör kullanmış, kriterlerin çift yöllü karşılaştırmasını açıklamak için Saaty'ın ters matris metodunu biraz daha geliştirmiş ve Bellman&Zadeh'in maksimum-minimum metodunu izlemiştir. Buradaki ağırlıklama (önem değeri verme) prosedürü Zadeh'in önerdiği (Zadeh, 1973) dilsel sembollerin tanımlanması temeline dayanan eksponansiyellerin kullanılmasıdır. Bu kriter önemi (ağırlıklar) modeli daha az sezgiseldir.

SONUÇ

Madenciliğin hemen hemen bütün problemlerinde oldukça fazla sayıda kriter ve bu kriterlerin içerisinde de dilsel değişkenler söz konusudur. Bu tür bulanık ortamlarda karar verme oldukça zor bir konudur. Karar verme prosesinde kullanılan ve bulanık küme mantığına dayanan önemli teoriler bu çalışmada incelenmiş ve ilgili bölümlerde açıklanmış gibi sahip olduğu avantajlar nedeni ile Yager teorisi kullanılmıştır. Böylece bulanık ortamlarda karar verme probleminin *Bulanık Küme Teorisi* ile çok kolay ve hızlı bir şekilde çözüme ulaştırılabileceği kanıtlanmıştır. Ayrıca, gelişen bilgisayar teknolojisinden yararlanılması ve kriter analizlerinin uzman sistemlerle yapılması karar vericinin işini daha da kolaylaştıracaktır.

KATKI BELİRTME

Yazarlar bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde katkısı bulunan İ.Ü. Araştırma Fonuna teşekkürlerini sunarlar.

SUMMARY

This paper has discussed decision making in a fuzzy environment (uncertain data-linguistic variables involved in the systems) for solving multiple attribute problems of optimal place selection of an in-pit crusher system to be established between the quarry and processing plant in final design. The most important approaches and basic concepts were introduced. Since the focus is on fuzzy multiple attribute problems, a detailed discussion of the most important methods for solving these problems was presented. This paper offers a new elicitation method for assigning weights. The proposed aiding tool gives the decision-maker the flexibility of selecting the importance process that best suits him/her, and in case of total ignorance it offers the possibility of an automatic algorithm based on past cases.

The fuzzy set theory that can be defined as concepts or group of elements, which have uncertain limits among them, is firstly discussed by Lotfi Zadeh. There are many methods related with fuzzy set theory and fuzzy multiple attribute decision making process that have been developed by Zadeh and other scientist. In addition to this, Yager Theory has been used to have optimal results and obtain weighting degree comparing criteria

both among them and alternatives. As far as the rule that selects the minimum one, the general principle relies on exponential use of the importance of weights, and therefore the criterion with high importance should have a high exponent. On the contrary, the less the importance is the lowest the weights. In that case, A_3 with 0.63 membership degree is an optimum alternative regarding Yager while A_2 is an optimum result according to Bellman & Zadeh theory. However, there is only one logical conclusion that is the more importance of the criterion the higher membership degree and therefore the result will be optimum.

By the development of computer technology and programming of colloquial language with expert systems have considerably reduced decision makers' burden. As a result of this paper, the authors may offer the following subject: a computer package program could be written by C or C++ programming language in order to solve mining engineering problems regarding Yager theory; as well as expert point of views, expert systems (xi-plus etc.) can be utilized to shorten the exercise period of the process during analyzing the criterions.

DEĞİNİLEN BELGELER

- Bandopadhyay, S., and Chattopadhyay, A., 1986**, Selection of Post-Mining Uses of Land Via Fuzzy Algorithm, Proc. of the 19th Int. Symposium on the Application of Computers in Mine Planning (APCOM), SME/AIME, pp. 321-332.
- Bandopadhyay, S., 1987**, Partial Ranking of Primary Striping Equipment in Surface Mine Planning, Int. Journal of Surface Mining, vol. 1, pp. 55-59.
- Bandopadhyay, S., 1987**, Fuzzy Algorithm for Decision Making in Mining Engineering, Int. Journal of Mining & Geological Engineering, vol. 5, pp. 149-154.
- Başçetin, A., and Kesimal, A., 1998**, The Application of Fuzzy Boolean Linear Programming Technique for Solving the Coal Blending in Selective Mining, Open Pit Mining Conference-State and Development of Open Pit Mining in Market Economy, Vol. 1, 2-6 June, Varna, Bulgaria.
- Başçetin, A., 1999**, Açık İşletmelerde Optimum Ekipman Seçimi, Doktora Tezi, İ.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- Baray A., 1993**, Bulanık Kümeler Kuramı ve İşletme Uygulamaları", İ.Ü. İşletme Fakültesi Dergisi, C:22, S:2, Kasım.
- Bellman, R. E., and Zadeh, L. A., 1970**, Decision-making in a Fuzzy Environment, Management Sci., 17(4), p.141-164.
- Cao, H., and Chen, G., 1983**, Some Applications of Fuzzy Sets of Meteorological Forecasting, Fuzzy Sets and Systems, 9, p.1-12.
- Clarke, M.P., Denby, B., and Schofield, 1990**, Decision Making Tools for Surface Mine Equipment Selection, Mining Science and Technology, 10 : 323-335.
- Denby, B., and Schofield, D., 1992**, Dragline Selection Using Intelligent Computer Techniques, Transactions of the Institution of Mining and Metallurgy Section-A, Mining Industry, 10 : A 79-84.
- Dubois, D., Prade, H., and Sessa, S., 1992**, Recent Literature in : C.V. Negoita, L.A. Zadeh, and H.J. Zimmermann (eds), Fuzzy Sets and Systems, 51/1, p.119-129.
- Esnaf, Ş., 1996**, Bulanık Teknoloji, Teknolojik Verimlilik ve Eğitim İlişkisi, Mercek, Yıl : 1, Sayı : 4, Ekim, s. 87-96.
- George J. K. and Tina A.F., 1988**, Fuzzy Sets, Uncertainty, and Information, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.
- Gershon, M. A., Bandopadhyay, S., and Panchanadam, V., 1993**, Mining Method Selection: A Decision Support System Integrating Multi-Attribute Utility Theory and Expert Systems, Proc. of the 24th Int. Symposium on the Application of Computers in Mine Planning (APCOM), Canadian Institute of Mining & Metallurgy, vol. 3, pp. 11-18.
- Haidar, A.D., and Naom, S.G., 1996**, Opencast Mine Equipment Selection Using Genetic Algorithms, International of Surface Mining and Reclamation, 10:61-67
- Herzog, D., and Bandopadhyay, S., 1996**, Ranking of Optimum Beneficiation Methods via the Analytical Hierarchy Process, Proc. of the 26th International Symposium on the Application of Computers in Mine Planning (APCOM), SME/AIME, pp. 323-329.
- Klir, G. J., and Folger, T., 1988**, Fuzzy Sets, Uncertainty, and Information, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.
- Kömür, M., Demir, C., 1996**, Bulanık Mantık ve Yapı Mühendisliği, Harran Üniversitesi Gap I. Mühendislik Kongresi Bildiriler Kitabı, s. 704-709, Şanlıurfa.
- Maiers, J., and Sherif, Y.S., 1985**, Applications of Fuzzy Set Theory, IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, 15/1, p.175-189.
- Nguyen, V. U., 1985**, Some Fuzzy Set Applications in Mining Geomechanics, Int. Journal of Rock Mechanics, 22, 6, pp. 369-379.
- Nguyen, V. U., and Ashworth, E., 1985**, Rock Mass Classification by Fuzzy Sets, Proceedings of the 26th US Symposium on Rock Mechanics, pp. 937-945.
- Özçakar N, 1995**, Proje Maliyeti Bütçelemede Bulanık Küme Yaklaşımı, İ.Ü. İşletme Fakültesi Dergisi, C:24, S:2, s.187-193, Kasım.
- Riberio, R. A., 1993**, Application of Support Logic Theory to Fuzzy Multiple Attribute Decision Problems, PhD Thesis, University of Bristol, Faculty of Engineering, Department of Engineering Mathematics, Bristol.
- Riberio, R. A., 1996**, Fuzzy Multiple Attribute Decision Making : A Review and New Preference Elicitation Techniques, Fuzzy Sets and Systems, 78, p. 155-181.

- Saaty, T. L., 1978, Exploring the Interface Between Hierarchies, Multiple Objectives and Fuzzy Sets, Fuzzy Sets and Systems, 1, p.57-68.
- Schofield, D., and Denby, B, 1990, Surface Mining System Design Using Intelligent Computer Techniques, Second International Symposium on Mine Planning and Equipment Selection," p. 37-46, Calgary, Canada.
- Türkşen, İ. B., 1985, Bulanık Kümeler Kuramı ve Uygulamaları, Yöneylem Araştırması Dergisi, 4, (1), s.1-15.
- Vila, M. A., and Delgado, M., 1983, On Medical Diagnosis Using Possibility Measures, Fuzzy Sets and Systems, 10, p.211-222.
- Yüksel, F. A., Manisalı, E. ve Esnaf, Ş., 1994, Petrol ve Maden Arama Çalışmalarının Değerlendirilmesinde Bulanık Küme Kuramının (Fuzzy Set Theory) Kullanılması, Geosound-Yerbilimleri-Science &Technology Bulletin on Earth Science, Sayı 24, s.1-16.
- Zadeh, L. A., 1973, Outline of a New Approach to the Analysis of Complex Systems and Decision Process, IEEE Trans. Systems Man Cybernet, SMC-3, p.28-44.
- Zimmermann, H. J., 1991, Fuzzy Set Theory-and Its Applications, Second, Revised Edition, Kluwer Academic Publishers, The Netherlands.

Makalenin geliş tarihi: 25.12.1998

Makalenin yayına kabul tarihi: 21.05.1999

Received December 25, 1998

Accepted May 21, 1999