

## **\*YERALTI ÜRETİM YÖNTEMİ SEÇİMİNE YENİ BİR YAKLAŞIM**

### **A NEW APPROACH FOR UNDERGROUND MINING METHOD SELECTION**

**Abdulkadir KARADOĞAN, Ali KAHRİMAN, Ataç BAŞÇETİN**

**İ.Ü. Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, 34850, Avcılar - İstanbul**

**ÖZ:** Bu çalışma, İstanbul-Çiftalan Linyit Sahasında en uygun yeraltı üretim yöntemi seçiminin araştırılmasına yöneliktir. Söz konusu sahaya ait çalışma şartları (jeolojik, jeoteknik, vb.) kullanılarak, temel seçim faktörleri belirlenmiş ve bu faktörler belirli kurallar çerçevesinde değerlendirilerek bir uzman sistem oluşturulmuştur. Bu çalışmada incelenen Bulanık Küme Teorisi ile seçim kriterleri içerisinde bulunan dilsel değişkenlere belirli üyelik derecesi atanarak onlara belirlilik getirilmektedir. Ayrıca elde yetersiz verilerin olduğu durumlarda karar vericinin ulaşacağı subjektif bilginde sayısallaştırılması bu teori ile mümkün kılınmaktadır. Yeraltı üretim yöntemi seçimi gibi çok fazla sayıda kriterin ve birden çok çözüm alternatifinin bulunduğu ortamlarda Analitik Hiyerarşi Prosesi'nden de yararlanarak optimum kararlar alınabileceği bu çalışmada kanıtlanmıştır.

**Anahtar Sözcükler:** Yöntem seçimi, seçim kriterleri, bulanık küme teorisi, karar verme.

**ABSTRACT :** In this paper, we purpose a fuzzy multiple attribute decision making for the optimal underground mining method selection in Çiftalan Lignite Mine nearby Istanbul in Turkey. The major selection parameters were determined using working conditions of the basin as like geologic and geotechnique etc. Then an expert system was formed evaluating in certain rules of the parameters. Mostly linguistic variables become in question in decision making environment. These variables are made definite giving certain membership degrees under vague constraints of different importance by fuzzy set theory. With this theory it is also rendered subjective value made numerically possible where insufficient parameters are involved. Additionally, the essential feature of the study constitutes optimal decision being able to make utilizing the analitic hyerarchy process under the sitaiaon where more than one solution alternative and much more criterion are involved for underground method selection.

**Keywords:** Method seletion, selection criteria, fuzzy set theory, decision making.

### **GİRİŞ**

Doğal kaynakların tükenebilirliği dikkate alındığında, maden rezervlerinin optimum şekilde değerlendirilmesi zorunlu hale gelmektedir. Bu süreçte; ekonomik, teknik ve emniyetlilik açısından, koşullara uygun yeraltı üretim yöntemi seçimi büyük önem arz etmektedir. Yöntem seçiminde ise, bilindiği gibi kontrol edilebilir ve kontrol edilemez nitelikte pek çok kriter etkilidir. Üretim yöntemlerinin seçim performansı için ön gereksinim duyulan çoğu

kriterler, iyi bir veri tabanı oluşturmaktadırlar. Bu nedenle, söz konusu kriterlerin; her cevher yatağı için ayrıntılı bilimsel ve teknik etütlerle ortaya konması gerekmektedir (Kahriman, vd., 1994).

Günümüze kadar birçok bilimadarnı tarafından yeraltı üretim yöntemi seçimi probleminin çözümüne yönelik çeşitli araştırmalar yapılmıştır. Yeraltı üretim yöntemi seçimi konusunda yapılan bu çalışmalardan bazılarına; Boshkov-Wright (1973), Hartman (1987), Morrison (1976), Laubscher (1981),

Nicholas-Narek (1981) örnek olarak verilebilir (Nicholas, 1993, Hamrin, 1998). Klasik yöntemlerle yapılan değerlendirmeler çoğunlukla kompleks bir durum ortaya çıkarmakta ve de uzun zaman almaktadır. Özellikle yeraltı üretim yöntemi seçiminde olduğu gibi, çok fazla sayıda kriterin söz konusu olması ve bu kriterler kümesi içinde belirsiz, rakamsal olarak ifade edilemeyen elemanların bulunması (bulanık ortamlar) karar verme işini daha da zorlaştırmaktadır. Karar verme prosesleri için geliştirilen yeni metotlar (genetik algoritma, bulanık küme teorisi, vb.) amaca daha çabuk, kolay ve hassas ulaşmayı sağlamaktadır. Bu çalışmada, belirsiz ya da yetersiz verilerin bulunduğu (dilsel değişkenler) karar aşamasında, üretim yöntemi seçimi için Bulanık Küme Teorisinin (Fuzzy Set Theory) kullanılması önerilmiştir. Yöntem seçimi için işletme koşulları ve jeoteknik özellikleri belirlendikten sonra bulanık çok kriterli karar verme prosesi ile optimum yeraltı üretim yöntemi seçimi yapılmıştır.

## ÇALIŞMANIN AMACI

Bu çalışmada, İstanbul'un 35 km. kuzeyinde yer alan Oligosen yaşlı Belgrad Formasyonunda oluşmuş olan Çiftalan Linyit Sahası için optimum yeraltı üretim yöntemi seçimi amaçlanmıştır.

Çalışmanın amacı doğrultusunda, öncelikle söz konusu sahada üretim yöntemi seçimine etki eden; arazi ve laboratuvar çalışmalarıyla tespit edilebilen (cevher ve yantaşın jeolojik ve jeoteknik özellikleri, ekonomik etkiler, çevresel etkiler vb.) ve belirsiz (dilsel) faktörler uzman görüşleri de dikkate alınarak saptanmıştır. Bulanık küme teorisi ile belirsiz değişkenlere üyelik derecesi ataması yapılarak belirlilik getirilmiş ve ayrıca elde yetersiz verilerin olduğu durumlarda karar vericinin ulaşacağı subjektif bilginin de sayısallaştırılması bu teori ile mümkün kılınmıştır. Yeraltı üretim yöntemlerinden oluşan alternatifler kümesi, kriterler kümesi ile bir matris üzerinde değerlendirilmiş söz konusu saha için optimum üretim yöntemi seçimi yapılmıştır (Karadoğan, 2001).

## BULANIK KÜME TEORİSİ

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. Günümüze kadar da bu konuda oldukça fazla ilerlemeler kaydedilerek; bulanık (fuzzy) mantık, endüstriyel kontrol, askeriye, ekonomi, mühendislik, tıp, model tanıma ve sınıflandırma gibi pek çok konuda çeşitli problemlerin çözümünde kullanılmaya başlanmıştır (Başçetin, 1999a).

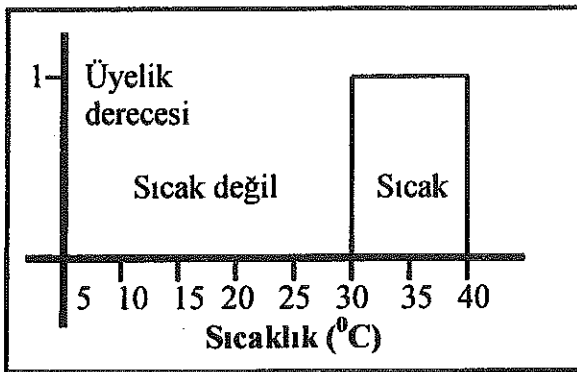
Maden planlama mühendisleri karar aşamasında kendi inisiyatif ve tecrübelerini çok sık kullanırlar. Çoğunlukla probleme etki eden dilsel değişkenler (zayıf kaya, masif boyutlu cevher, uniform tenörlü cevher vb.) söz konusudur ve karar verici bu değişkenleri hesaba nasıl katacağını tam olarak bilemez. Bu çalışmada incelenen Bulanık Küme Teorisi ile karar verme prosesinde söz konusu bu belirsizlikler (bulanık ortamlar) kolaylıkla değerlendirilmektedir. Burada sözü edilen ifadelerin, belirli kararlar için kullanıldığı düşünülürse, bunlarla anlatılmak istenenin anlaşılması çok önemli olacaktır (Karadoğan, 2001). Mühendislik uygulamalarında ve karar aşamalarında söz konusu ifadelerin hatasız olarak kullanılması, bu deyimler aracılığı ile daha az zamanda daha fazla bilginin aktarılmasını sağlayacaktır. Bu aşamada öncelikle bulanık olarak ifade edilen kavramların belirlenmesi gerekmektedir (Gökay, 1998).

Bulanık küme matematiksel olarak, söylem evrenindeki herhangi bir varlığa, bulanık küme içindeki üyelik derecesini gösteren bir değer atanması şeklinde tanımlanabilir (Zadeh, 1975). Söz konusu üyelik derecesi, bu varlığın bulanık küme tarafından tanımlanan özelliklere uyum derecesini göstermektedir. Bu durumda, bulanık kümenin elemanları ve bu elemanların haricinde kalanlar arasında kesin bir ayırım söz konusu değildir. Böylece, Bulanık Küme, aralarında belirsiz (kesin olarak tanımlanamamış) sınırlar olan kavramlar/ nesnelere grubu şeklinde de tanımlanabilir. Yani Bulanık Kümeler Kuramı, bu belirsiz sınırlar sebebiyle ortaya çıkan bulanıklık ile ilgilenir. Örneğin, yaşlı insan, yüksek sıcaklık, küçük sayı gibi.

Bulanık mantık, güvenilir olmayan veriler, eksik ölçümler ve belirsiz tanımlarla karakterize edilen birçok problemin araştırılmasında uygun bir metodolojidir. İlk defa Lotfi Zadeh (1965) tarafından ortaya atılan 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 (Başçetin, 1999b).

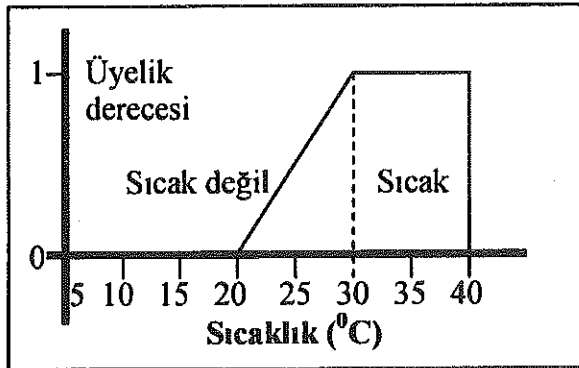
Klasik küme teorisinde bir eleman o kümenin ya elemanıdır ya da değildir. Kısmi üyelik olamaz. Şekil 1'de bu durum görülmektedir. Eğer sıcaklık 30°C'nin altına düşerse sıcak değildir. Yani klasik mantık teorisine göre 29.5°C sıcak değildir. Doğal olarak bu mantığın hiçbir esnekliği yoktur. Gerçek dünyada ise sınırlar bu kadar keskin olarak belirlenemez.



Şekil 1. Klasik küme teorisi  
Figure 1. Classic set theory

Tam tersine, olayların belli bir esneklikte olması istenir. Bulanık mantık soğuk-sıcak, hızlı-yavaş, yüksek-alçak gibi ikili değişkenlerden oluşan keskin dünyayı, az soğuk-az sıcak, az yüksek-az alçak gibi esnek nitelilerle yumuşatarak gerçek dünyaya benzetir.

Şekil 2, sıcaklık gibi değişkenleri, gerçekte gözlenen



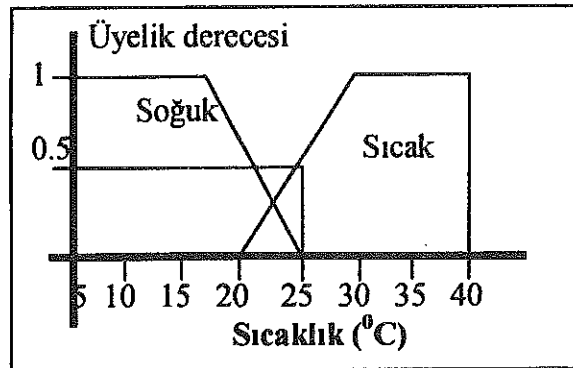
Şekil 2. Bulanık küme teorisi  
Figure 2. Fuzzy set theory

değerine daha yakın veren bulanık küme teorisini göstermektedir. Buna göre 20°C ile 40°C arasındaki değerlerin, sıcak bulanık küme üyelik derecesi ortaya

çıkması olur. Burada sıcak bulanık küme üyelik derecesinde, 30°C 1'e karşı düşen maksimumdan, 20°C 0'a karşı düşen minimuma doğru kademelendirilmiş bir azalma vardır.

Şekil 2'ye göre sıcaklık azaldığında daha az sıcak durum ortaya çıkacaktır, yani 25°C'lik sıcaklık az sıcak olarak nitelenirken 30°C'lik sıcaklık çok sıcak olarak nitelenecek ve 20°C'lik sıcaklık sıcak olarak sayılmayacak; dolayısıyla 20°C'lik sıcaklık, sıcak bulanık kümenin elemanı olmayacaktır

Şekil 3'te ise bulanık mantık teorisinin bir adım daha ileri safhası gösterilmektedir. Şekil 3'den de anlaşılacağı gibi, sıcak bulanık küme üyelik derecesi, 0.5'de soğuk bulanık küme üyeliği kimliğini kazanır. Soğuk bulanık küme üyeliğinin derecesi, sıcaklık azaldığında artar. Buna göre 0'dan 15°C'ye kadar olan sıcaklık oldukça soğuk sayılır ve bu bölge soğuk bulanık küme tam üyeliğine sahiptir. 15°C ile 25°C arasında ise soğuk bulanık küme dereceli üyeliği vardır. 20°C ile 25°C arasında ise bulanık kümelerin birbirlerini kestiği durum olan örtüşüm ortaya çıkmıştır. Bu bölge hem sıcak hem soğuk olarak ele alınabilir (örtüşüm bölgesindeki elemanlar hem sıcak hem de soğuk kümenin elemanıdır).

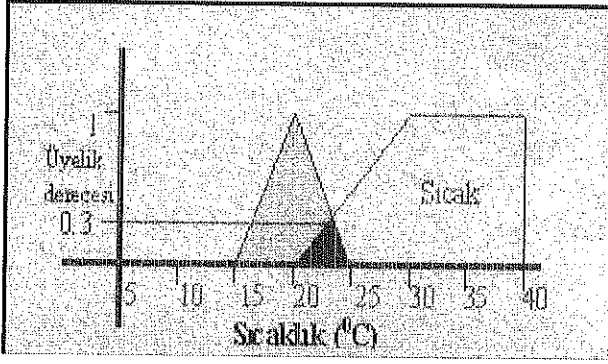


Şekil 3. Bulanık kümede örtüşüm  
Figure 3. Being covered in fuzzy set

Bu örnekler bulanık olmayan girişler için geçerli olmasına rağmen, bulanık mantık teorisinde bazen girişlerde bulanık olabilir. Bu durumda bulanık küme üyelik derecesi, bulanık küme ve bulanık giriş değeri arasındaki kesişim bölgesinden belirlenir. Bu durum Şekil 4'te gösterilmiştir ve üyelik derecesi yaklaşık 0.3'tür (Karadoğan, 2001).

## BULANIK ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME

Karar verme, amaç ya da amaçlara ulaşmak



**Şekil 4.** Bulanık giriş değişkeninin üyelik derecesi  
**Figure 4.** Membership degree of the fuzzy entrance variables

için alternatifler kümesinden en iyi alternatifi seçme prosesi olarak karakterize edilebilir. Daha önce değinildiği gibi birçok durumda karar aşaması belirsizliği içerir. Bu yüzden faydalı bir karara ulaşmaya yardımcı olan önemli görüşlerden biri kesin olmayan ve mutlak bilgiyi “büyük” kazanç (maksimum fayda), “fazla” hız ve “ucuz” fiyat (minimum maliyet) gibi elde etme yeteneğini sağlamaktır. Bellman ve Zadeh (1970)’e göre gerçek dünyadaki birçok karar (karar verme); amaçların, kısıtlamaların ve olası hareketlerin sonuçlarının tam olarak bilinmediği bir ortamda yer almaktadır. Karar vermede kullanılan birçok metod vardır. Bu çalışmada bulanık çok kriterli karar verme metodlarından biri olan Yager teorisi kullanılacaktır. Bu teori aynı zamanda Analitik Hiyerarşi Prosesine dayanmaktadır (Karaadoğan, 2001).

Thomas Saaty (1988) tarafından geliştirilen Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP), uygulamada yöneticilerin sürekli karşılaştıkları karar verme ve planlama ile ilgili birçok sorunun çözümünde başarıyla kullanılmaktadır. Bu teknik; politika, savunma, şehircilik, çevrecilik, ulaştırma ve psikoloji gibi çok değişik alanlarda karar vericilerin sorunlarını çözmeye kullanılmıştır.

AHP, sorunların kademeli (hiyerarşik) bir biçimde anlamlı daha küçük alt bölümlere ayrıştırılarak, daha etkin çözümlenebileceği esasına dayanır. AHP yöntemi şu aşamalardan oluşur (Albayrak, 1997):

- Sorun (amaç) çok açık bir biçimde tanımlanır,
- Amaca ulaşmayı sağlayan alt amaçlar belirlenir,
- Alt amaçları etkileyen etkenler saptanır,
- Alternatiflere göre model sonuçları analiz edilir.

Seçimi düşünülen bir  $\{A_1, A_2, \dots, A_n\}$ , alternatifler kümesi;  $C = \{C_1, C_2, \dots, C_n\}$ , alternatifler uzayında bulanık küme olarak verilebilen (ve/veya kesin) kriterler kümesi; ve  $G$ , bir bulanık küme olarak verilebilen amaç olsun. Önce uzman görüşlerine dayanarak her bir kriter için alternatiflerin alacağı üyelik dereceleri belirlenir.

$$G = [0.5/A_1, 0.8/A_2, 0.3/A_3]$$

$$C_1 = [0.7/A_1, 0.9/A_2, 0.5/A_3]$$

$$C_2 = [0.4/A_1, 0.2/A_2, 0.9/A_3]$$

Daha sonra kriter ağırlıkları (önemi) belirlenir. Bunun için Saaty’in kriterlerin çift yöllü karşılaştırılması metodu kullanılır (Saaty, 1978). Kullanılan karar skalası karar verici tarafından belirlenir.

**Tablo 1.** Karar verici tarafından belirlenen karar skalası

**Table 1.** Determined judgement scale by decision maker

Ölçek	Anlamları
1	Etmenler eşit değerde
3	Biraz daha fazla önemli
5	Daha fazla önemli
7	Çok fazla önemli
9	Oldukça çok fazla önemli
2, 4, 6, 8	Ara Değerler

Buna göre: 1. önemli; 3. biraz önemli; 5. kuvvetlice önemli; 7. ispat edilebilir şekilde çok önemli; 9. tamamen çok önemli. Aradaki değerler (2, 4, 6, 8) uzlaştırıcı kararları gösterir. Diğer değerlere aşağıdaki gibi değer atanır :

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

Bu örnekte  $C_1$  ve  $C_2$  kriterlerinin  $G$  amacından biraz önemli olduğu düşünülmüştür. Çift yöllü karşılaştırma matrisi aşağıdaki gibi olacaktır :

$$\begin{array}{c} G \quad C_1 \quad C_2 \\ G \quad \begin{bmatrix} 1 & 1/3 & 1/3 \\ 3 & 1 & 1 \\ 3 & 1 & 1 \end{bmatrix} \\ C_1 \\ C_2 \end{array}$$

Buradan, ters matrisin özdeğerleri [0, 3, 0] ve maksimum özdeğer  $\lambda_{\max} = 3$  olacaktır. Bu maksimum özdeğere karşılık gelen özvektör kriter ağırlıklarını oluşturacaktır.

$$\text{özvektör} = \begin{bmatrix} 0.299 \\ 0.688 \\ 0.688 \end{bmatrix} \lambda_{\max} \text{ ile.}$$

kriterlerin/özelliklerin/amaçların herbirinin üyelikleri ile ilişkilendirilir (Yager, 1981). Böylece, eksponansiyel ağırlıklama şöyle olacaktır (Başçetin, 1999);  $\alpha_1 = 0.299$ ,  $\alpha_2 = 0.688$ ,  $\alpha_3 = 0.688$  ve arazi yerleşimi hakkındaki nihai karar aşağıdaki gibi elde edilir.

$$\mu_D(A) = \min(G^{0.299}, C_1^{0.688}, C_2^{0.688})$$

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

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

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

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

ve optimal sonuç (maksimum üyelik derecesi ile),  $m_D(A^*) = 0.63/A_3$  olarak bulunur (Karadoğan, 2001).

### ÇİFTALAN LİNYİT SAHASI İÇİN OPTİMUM YERALTI ÜRETİM YÖNTEMİNİN BELİRLENMESİ

Bu çalışma, İstanbul'un 35 km. kuzeyinde yer alan Oligosen yaşlı Belgrad Formasyonunda oluşmuş olan Çiftalan Linyit Sahası için optimum yeraltı üretim yöntemi seçiminin araştırılmasına dayanmaktadır.

Çiftalan Linyit Sahası'nın çevresinde bulunan tüm açık işletmeler üretim faaliyetlerini tamamlamıştır. Dolayısıyla söz konusu bölgede, sadece Çiftalan Linyit Sahası'nda açık işletme ile üretim yapılmamıştır. Kutman Limited Şirketi'ne ait olan bu sahada, ekonomik değeri olan linyit damarlarının Çiftalan Köyü'nün yaklaşık 55 m (yüze yakın) altında olmasına rağmen, şirketin

geçmiş dönemlerde açık işletme faaliyeti yapmayı düşündüğü, ancak, linyit sahası üzerindeki arazinin 172 000 m<sup>2</sup>'lik kısmının köy tüzel kişiliklerine ve üçüncü şahıslara ait olması ve bu şahısların arazilerini şirkete satmayı kabul etmemelerinden dolayı açık işletme faaliyeti yapmanın mümkün olmadığı anlaşılmıştır. Bu durum halen devam etmektedir. Bu nedenle sahada mevcut kalan rezervin yeraltı üretim yöntemiyle çıkarılması zorunlu hale gelmiştir (Karadoğan, 2001).

Yukarıda değinilen nedenlerden dolayı, Kutman Limited Şirketi'nin de kabul etmesi üzerine, Çiftalan Linyit Sahası için optimum yeraltı üretim yöntemi seçimi yapılmıştır. Çalışmanın amacı doğrultusunda, öncelikle söz konusu sahada üretim yöntemi seçimini etkileyen linyit yatağının fiziksel ve jeolojik karakteristikleri, cevher, tavan ve taban formasyonlarının jeoteknik parametreleri ve çevresel parametreler Tablo 2'de verildiği gibi özetlenmiştir: Söz konusu saha için yeraltı üretim yöntemi seçiminde en uygun yöntemin Tablo 3'de verilen yöntemler (alternatifler kümesi) arasından seçilmesi düşünülmektedir. Tablo 3'de verilen yöntemler,

**Tablo 3. Alternatif yeraltı üretim yöntemleri**  
**Table 3. Alternative Underground Mining Methods**

	Alternatif Yöntemler
A <sub>1</sub>	Meyil Yükselme Yöntünde Dolgulu Uzunayak Yöntemi
A <sub>2</sub>	Meyil Alçalma Yöntünde Dolgulu Uzunayak Yöntemi
A <sub>3</sub>	İlerletimli Dolgulu Uzunayak Yöntemi
A <sub>4</sub>	Geri Dönümlü Dolgulu Uzunayak Yöntemi
A <sub>5</sub>	Dolgulu Oda-Topuk Yöntemi

Çiftalan Linyit Sahasındaki linyit yatağının fiziksel ve jeolojik karakteristikleri dikkate alınarak, mevcut yeraltı üretim yöntemleri arasında yapılan ön değerlendirme sonucunda söz konusu sahada uygulanabilirliği muhtemel yöntemler olarak belirlenmiştir.

Prosedür gereği, seçimi etkileyen bu kriterlerin çeşitli çözüm metotları ile (lineer programlama, uzman sistemler, uzman görüşleri vb.) analizi

yapılarak çeşitli dilsel sonuçlar elde edilmiştir (bu çalışmada uzman görüşlerinden yararlanılmıştır). Böylece her bir sistemin (alternatifin) sahip olduğu avantajlar görülmüştür.

Bu analizlerin bir kısmı aşağıda sıralanmıştır :

- Kömür yatağının geometrik boyutuna göre yöntemler karşılaştırıldığında  $A_3$  en iyisidir.
- Kömür damar kalınlığına göre  $A_3$  en iyi yöntemdir.
- Damar eğimine göre yöntemler arasında en uygunu

$A_5$ 'dir.

- Kazının yapıldığı derinlik açısından  $A_3$  en iyisidir.
- Kömürün sağlamlık derecesine göre  $A_5$  en iyi yöntemdir.
- Tavan taşının sağlamlık derecesi açısından  $A_5$  en iyisidir.
- Taban taşının sağlamlık derecesine göre  $A_5$  en uygun yöntemdir.
- Hidrolik koşullara uygunluk bakımından en uygun yöntem  $A_1$ 'dir.

**Tablo 2. Alternatif Yöntemler İçin Hesaplanan Teknik Kriterler**

**Table 2. Technical Parameters Determined as Alternative Methods**

Kriterler	Açıklamalar
Kömür yatağının geometrik şekli	Levha şeklinde (damar)
Kömür damarı kalınlığı	Ortalama 2.3 m
Damar eğimi	Eğim $1-10^0$ ortalama $5^0$ (kömür damarı yatay)
Kazının yapıldığı derinlik	Ortalama 55 m
Kömürün sağlamlık derecesi	Düşük dayanımlı (Tek eksenli. basınç dayanımı 41MPa)
Damar –yantaş kontak durumu	Belirgin değil
Tavan taşının sağlamlık derecesi	Tavan taşı marn-kil-kum, düşük dayanımlı kaya (Tek eks. basınç dayan. 28 MPa, kayma dayanımı $2.2 \text{ kg/cm}^2$ )
Taban taşının sağlamlık derecesi	Taban taşı kil, düşük dayanım (Kayma dyn. $2.2 \text{ kg/cm}^2$ )
Tasman etkisi	Damar yüzeye yakın, tavan taşı düşük dayanımlı, tasman tehlikesi var
Tahkimat gerekliliği	Tavan ve taban taşı çok düşük dayanımlı olduğundan tahkimat zorunlu
Yerleşim alanlarının yakınlığı	Kömür damarı üzerinde Çiftalan köyü var
Kömürün yanma özelliği	Kendiliğinden yanma özelliğine sahip
Hidrolik koşullar	Sahanın kuzeyinde Karadeniz var, su problemi var

- Kömürün yanma özelliğine göre  $A_3$  en iyisidir.
- Yerleşim alanlarına yakınlık bakımından  $A_5$  en uygun yöntemdir.

Tablo 4'de ise yöntem seçiminde etkili kriterler özetlenmiş ve daha sonra optimum yeraltı üretim yöntemi seçimi prosedürü aşağıda verilmiştir (Karadoğan, 2001) :

- Kömürün yanma özelliğine göre  $A_3$  en iyisidir.
- Yerleşim alanlarına yakınlık bakımından  $A_5$  en uygun yöntemdir.

Tablo 4'de ise yöntem seçiminde etkili kriterler özetlenmiş ve daha sonra optimum yeraltı üretim yöntemi seçimi prosedürü aşağıda verilmiştir (Karadoğan, 2001) :

Hidrolik koşullara uygunluk bakımından en uygun yöntem  $A_1$ 'dir.

- Kömürün yanma özelliğine göre  $A_3$  en iyisidir.
- Yerleşim alanlarına yakınlık bakımından  $A_5$  en uygun yöntemdir.

**Tablo 4.** Yeraltı Üretim Yöntemi Seçiminde Göz Önüne Alınan İşlem Kriterleri  
**Table 4.** Parameters That Taken Into Consideration at Underground Mining Method Selection

Kriterler	Seçim Parametreleri	Kriterler	Seçim Parametreleri
C1	Kömür yatağının geometrik şekli	C10	Tahkimat gerekliliği
C2	Kömür damarı kalınlığı	C11	Yerleşim alanlarının yakınlığı
C3	Damar eğimi	C12	Kömürün yanma özelliği
C4	Kazının yapıldığı derinlik	C13	Metan gazının varlığı
C5	Kömürün sağlamlık derecesi	C14	Hidrolik koşullar
C6	Kömür-yantaş kontak durumu	C15	Üretim maliyeti
C7	Tavan taşının sağlamlık derecesi	C16	Sermaye maliyeti
C8	Taban taşının sağlamlık derecesi	C17	Üretim oranı
C9	Tasman etkisi	C18	İşe yararlık ve emek maliyeti

Burada, alternatif sistemler kümesi

$A = \{A_1, A_2, A_3, A_4, A_5\}$  ve kriterler kümesi  $C = \{C_1, C_2, C_3, \dots, C_{18}\}$  şeklinde belirlenmiştir. Karar verici daha sonra yukarıda elde edilen analiz sonuçlarından ve uzman görüşlerinden de

yararlanarak aşağıda görüldüğü gibi her bir kriter için alternatiflerin alacağı üyelik derecesini belirlemiştir (her bir kriter için hangi sistemin daha avantajlı olduğu belirlenmiştir).

$$\begin{aligned}
 C_1 &= \{0.80/A_1, 0.75/A_2, 0.95/A_3, 0.90/A_4, 0.85/A_5\} & C_{10} &= \{0.60/A_1, 0.55/A_2, 0.85/A_3, 0.65/A_4, 0.80/A_5\} \\
 C_2 &= \{0.75/A_1, 0.80/A_2, 0.88/A_3, 0.85/A_4, 0.82/A_5\} & C_{11} &= \{0.80/A_1, 0.75/A_2, 0.90/A_3, 0.65/A_4, 0.95/A_5\} \\
 C_3 &= \{0.70/A_1, 0.65/A_2, 0.87/A_3, 0.85/A_4, 0.92/A_5\} & C_{12} &= \{0.78/A_1, 0.70/A_2, 0.90/A_3, 0.75/A_4, 0.65/A_5\} \\
 C_4 &= \{0.70/A_1, 0.75/A_2, 0.90/A_3, 0.80/A_4, 0.65/A_5\} & C_{13} &= \{0.50/A_1, 0.72/A_2, 0.80/A_3, 0.60/A_4, 0.85/A_5\} \\
 C_5 &= \{0.55/A_1, 0.60/A_2, 0.70/A_3, 0.75/A_4, 0.85/A_5\} & C_{14} &= \{0.85/A_1, 0.45/A_2, 0.75/A_3, 0.60/A_4, 0.50/A_5\} \\
 C_6 &= \{0.50/A_1, 0.55/A_2, 0.65/A_3, 0.75/A_4, 0.85/A_5\} & C_{15} &= \{0.60/A_1, 0.55/A_2, 0.80/A_3, 0.70/A_4, 0.95/A_5\} \\
 C_7 &= \{0.70/A_1, 0.65/A_2, 0.85/A_3, 0.75/A_4, 0.90/A_5\} & C_{16} &= \{0.60/A_1, 0.55/A_2, 0.80/A_3, 0.65/A_4, 0.90/A_5\} \\
 C_8 &= \{0.40/A_1, 0.50/A_2, 0.70/A_3, 0.80/A_4, 1.00/A_5\} & C_{17} &= \{0.75/A_1, 0.70/A_2, 0.82/A_3, 0.80/A_4, 0.90/A_5\} \\
 C_9 &= \{0.65/A_1, 0.75/A_2, 0.85/A_3, 0.60/A_4, 0.95/A_5\} & C_{18} &= \{0.65/A_1, 0.70/A_2, 0.80/A_3, 0.75/A_4, 0.60/A_5\}
 \end{aligned}$$

Diğer bir adım olarak; karar verici bir  $m \times m$  boyutlu matris üzerinde (Şek.5) kriterlerin birbirlerine göre ampirik önem tahminlerini belirlemiştir (uzman

görüşlerinden de yararlanarak). Bunun için kullanılan karar skalası karar verici tarafından belirlenmiştir:

	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>	C <sub>5</sub>	C <sub>6</sub>	C <sub>7</sub>	C <sub>8</sub>	C <sub>9</sub>	C <sub>10</sub>	C <sub>11</sub>	C <sub>12</sub>	C <sub>13</sub>	C <sub>14</sub>	C <sub>15</sub>	C <sub>16</sub>	C <sub>17</sub>	C <sub>18</sub>
C <sub>1</sub>	1	1/3	1/3	3	1	7	3	3	3	5	9	5	9	7	5	5	7	9
C <sub>2</sub>	3	1	1	7	3	5	3	3	5	7	9	7	9	9	5	5	7	9
C <sub>3</sub>	3	1	1	7	5	7	3	3	7	9	9	7	9	9	5	5	7	9
C <sub>4</sub>	1/3	1/7	1/7	1	1/7	1	1/7	1/7	5	7	7	5	5	5	3	3	3	7
C <sub>5</sub>	1	1/3	1/5	7	1	5	1	1	7	7	7	7	7	7	3	3	5	9
C <sub>6</sub>	1/7	1/5	1/7	1	1/5	1	1/7	1/7	3	7	1	1/5	5	5	3	3	5	7
C <sub>7</sub>	1/3	1/3	1/3	7	1	7	1	1	5	7	7	3	7	9	3	3	9	9
C <sub>8</sub>	1/3	1/3	1/3	7	1	7	1	1	3	5	5	1	7	7	1/3	1/3	7	9
C <sub>9</sub>	1/3	1/5	1/7	1/5	1/7	1/3	1/5	1/3	1	5	3	3	3	3	1/3	1/3	3	5
C <sub>10</sub>	1/5	1/7	1/9	1/7	1/7	1/7	1/7	1/5	1/5	1	3	1/3	3	1	1/5	1/5	3	5
C <sub>11</sub>	1/9	1/9	1/9	1/7	1/7	1	1/7	1/5	1/3	1/3	1	1/5	3	3	1/3	1/5	1	5
C <sub>12</sub>	1/5	1/7	1/7	1/5	1/7	1/5	1/3	1	1/3	3	5	1	3	5	1/3	1/3	3	7
C <sub>13</sub>	1/9	1/9	1/9	1/5	1/7	1/5	1/7	1/7	1/3	1/3	1/3	1/3	1	1	1/7	1/7	3	3
C <sub>14</sub>	1/7	1/9	1/9	1/5	1/7	1/5	1/9	1/7	1/3	1	1/3	1/5	1	1	1/5	1/5	1/3	3
C <sub>15</sub>	1/5	1/5	1/5	1/3	1/3	1/3	1/3	3	3	5	3	3	7	5	1	3	5	7
C <sub>16</sub>	1/5	1/5	1/5	1/3	1/3	1/3	1/3	3	3	5	5	3	7	5	3	1	5	7
C <sub>17</sub>	1/7	1/7	1/7	1/3	1/5	1/5	1/9	1/7	1/3	1/3	1	1/3	1/3	3	1/5	1/5	1	3
C <sub>18</sub>	1/9	1/9	1/9	1/7	1/9	1/7	1/9	1/9	1/5	1/5	1/5	1/7	1/3	1/3	1/7	1/7	1/3	1

Şekil 5. Kriterlerin karşılaştırılması  
Figure 5. Criteria comparison

Daha sonra bu ters matrisin özdeğerleri ve maksimum özdeğere karşılık gelen özvektör belirlenmiştir. Bu çalışmada, Matlab 5.0 matematik programı kullanılarak bu ters matrisin maksimum özdeğeri  $\lambda_{\max} = 21.7896$  olarak bulunmuştur. Yine aynı program vasıtası ile aşağıda görüldüğü gibi maksimum özdeğere karşılık gelen özvektör belirlenmiştir. Bu özvektör her bir kriterin/özelliğin/amacın üyelikleri ile ilişkilendirilmiş olan ağırlıklara karşılık gelir. Böylece eksponansiyel ağırlıklar belirlenir:

$\alpha^1 = 0.3543$ ,  $\alpha^2 = 0.4855$ ,  $\alpha^3 = 0.5369$ ,  $\alpha^4 = 0.1637$ ,  
 $\alpha^5 = 0.3069$ ,  $\alpha^6 = 0.1298$ ,  $\alpha^7 = 0.2990$ ,  $\alpha^8 = 0.2320$ ,  
 $\alpha^9 = 0.0782$ ,  $\alpha^{10} = 0.0450$ ,  $\alpha^{11} = 0.0430$ ,  $\alpha^{12} = 0.0777$ ,  
 $\alpha^{13} = 0.0313$ ,  $\alpha^{14} = 0.0288$ ,  $\alpha^{15} = 0.1564$ ,  $\alpha^{16} = 0.1600$ ,  
 $\alpha^{17} = 0.0353$ ,  $\alpha^{18} = 0.0197$  olarak bulunur ve nihai karar;

$$\mu_D(A) = \min((\mu_{C_1}(A))^{\alpha^1}, \mu_{C_2}(A)^{\alpha^2}, \dots, \mu_{C_m}(A)^{\alpha^m});$$

$\alpha > 0$  için

$$\mu_D(A^*) = \max_A \mu_D(A) \quad A^*$$

elde edilir. Buradan, ters matrisin özdeğerleri ve maksimum özdeğer  $\lambda_{\max} = 21.7896$  bulunmuş ve bu maksimum özdeğere karşılık gelen özvektör, kriter ağırlıklarını oluşturmuştur.

özvektör = {0.3543, 0.4855, 0.5369, 0.1637, 0.3069, 0.1298, 0.2990, 0.2320, 0.0782, 0.0450, 0.0430, 0.0777, 0.0313, 0.0288, 0.1564, 0.1600, 0.0353, 0.0197}  $\lambda_{\max}$

Elde edilen ağırlıklar karar fonksiyonunda eksponansiyel olarak değerlendirilerek;

İşletme şartları için uygun olacağı düşünülen bu yöntemler arasında, görüldüğü gibi, Çiftalan Linyit Sahası için optimum yeraltı üretim yöntemi olarak Dolgulu Oda-Topuk Yöntemi ( $A_5$ ), 0.92 üyelik derecesi ile seçilme şansı en yüksek olanıdır. Diğer yöntemlerin üyelik dereceleri  $A_5$ 'e göre daha düşük olduğu için bunların seçilme şansı daha azdır. Bu çalışmada elde edilen sonuca ulaşmada, önceki bölümlerde açıklandığı üzere, alternatif yöntemlerin avantajlarını ve kriterler ağırlıklarını belirlemek için



$$\begin{aligned}
C_1 &= \{0.80/A_1, 0.75/A_2, 0.95/A_3, 0.90/A_4, 0.85/A_5\}^{0.3543} = \{0.92/A_1, 0.90/A_2, 0.98/A_3, 0.96/A_4, 0.94/A_5\} \\
C_2 &= \{0.75/A_1, 0.80/A_2, 0.88/A_3, 0.82/A_4, 0.85/A_5\}^{0.4855} = \{0.87/A_1, 0.90/A_2, 0.94/A_3, 0.91/A_4, 0.92/A_5\} \\
C_3 &= \{0.70/A_1, 0.65/A_2, 0.87/A_3, 0.85/A_4, 0.92/A_5\}^{0.5369} = \{0.83/A_1, 0.79/A_2, 0.93/A_3, 0.92/A_4, 0.96/A_5\} \\
C_4 &= \{0.70/A_1, 0.75/A_2, 0.90/A_3, 0.80/A_4, 0.65/A_5\}^{0.1637} = \{0.94/A_1, 0.95/A_2, 0.98/A_3, 0.96/A_4, 0.93/A_5\} \\
C_5 &= \{0.55/A_1, 0.60/A_2, 0.70/A_3, 0.65/A_4, 0.85/A_5\}^{0.3069} = \{0.83/A_1, 0.85/A_2, 0.89/A_3, 0.87/A_4, 0.95/A_5\} \\
C_6 &= \{0.50/A_1, 0.55/A_2, 0.65/A_3, 0.75/A_4, 0.85/A_5\}^{0.1298} = \{0.91/A_1, 0.92/A_2, 0.94/A_3, 0.97/A_4, 0.98/A_5\} \\
C_7 &= \{0.70/A_1, 0.65/A_2, 0.85/A_3, 0.75/A_4, 0.90/A_5\}^{0.2990} = \{0.90/A_1, 0.88/A_2, 0.95/A_3, 0.92/A_4, 0.97/A_5\} \\
C_8 &= \{0.40/A_1, 0.50/A_2, 0.70/A_3, 0.80/A_4, 1.00/A_5\}^{0.2320} = \{0.81/A_1, 0.85/A_2, 0.92/A_3, 0.97/A_4, 1.00/A_5\} \\
C_9 &= \{0.65/A_1, 0.75/A_2, 0.85/A_3, 0.60/A_4, 0.95/A_5\}^{0.0782} = \{0.97/A_1, 0.98/A_2, 0.99/A_3, 0.96/A_4, 1.00/A_5\} \\
C_{10} &= \{0.60/A_1, 0.55/A_2, 0.85/A_3, 0.65/A_4, 0.80/A_5\}^{0.0450} = \{0.97/A_1, 0.97/A_2, 0.99/A_3, 0.98/A_4, 0.99/A_5\} \\
C_{11} &= \{0.80/A_1, 0.75/A_2, 0.90/A_3, 0.65/A_4, 0.95/A_5\}^{0.0430} = \{0.99/A_1, 0.99/A_2, 0.99/A_3, 0.98/A_4, 1.00/A_5\} \\
C_{12} &= \{0.78/A_1, 0.70/A_2, 0.90/A_3, 0.75/A_4, 0.65/A_5\}^{0.0777} = \{0.98/A_1, 0.97/A_2, 0.99/A_3, 0.98/A_4, 0.97/A_5\} \\
C_{13} &= \{0.50/A_1, 0.72/A_2, 0.80/A_3, 0.60/A_4, 0.85/A_5\}^{0.0313} = \{0.98/A_1, 0.99/A_2, 0.99/A_3, 0.98/A_4, 1.00/A_5\} \\
C_{14} &= \{0.85/A_1, 0.45/A_2, 0.75/A_3, 0.60/A_4, 0.50/A_5\}^{0.0288} = \{1.00/A_1, 0.98/A_2, 0.99/A_3, 0.99/A_4, 0.98/A_5\} \\
C_{15} &= \{0.60/A_1, 0.55/A_2, 0.80/A_3, 0.70/A_4, 0.95/A_5\}^{0.1564} = \{0.92/A_1, 0.91/A_2, 0.97/A_3, 0.95/A_4, 0.99/A_5\} \\
C_{16} &= \{0.60/A_1, 0.55/A_2, 0.80/A_3, 0.65/A_4, 0.90/A_5\}^{0.1600} = \{0.92/A_1, 0.91/A_2, 0.96/A_3, 0.93/A_4, 0.98/A_5\} \\
C_{17} &= \{0.75/A_1, 0.70/A_2, 0.82/A_3, 0.80/A_4, 0.90/A_5\}^{0.0353} = \{0.99/A_1, 0.99/A_2, 0.99/A_3, 0.99/A_4, 1.00/A_5\} \\
C_{18} &= \{0.65/A_1, 0.70/A_2, 0.80/A_3, 0.75/A_4, 0.60/A_5\}^{0.0197} = \{0.99/A_1, 0.99/A_2, 1.00/A_3, 0.99/A_4, 0.99/A_5\}
\end{aligned}$$

bir anket düzenlenerek uzman görüşlerinden yararlanılmıştır. Söz konusu ankete katılan uzmanlara, yukarıdaki koşulları içeren sahaya uygulanabilecek en uygun yöntem sorulduğunda, uzmanların çoğunun Dolgulu Oda-Topuk Yöntemini uygun görmeleri, bu çalışmanın doğruluğunu teyit eder nitelikte olmuştur. Bulanık ve çok kriterli karar ortamlarında, optimum karar vermede kullanılan Bulanık Küme Teorisi ile ilgili olarak, bundan sonra yapılacak çalışmalarda, elde edilen sonuçların risk analizi ile güvenilirliğinin araştırılması ve uygulanan prosesin bir paket program haline dönüştürülüp, tam kullanışlı duruma getirilmesi amaç edinilmiştir.

$$\mu_D(A) = \{0.81/A_1, 0.79/A_2, 0.89/A_3, 0.87/A_4, 0.92/A_5\}$$

ve optimal karar;

$$\mu_D(A^*) = 0.92/A_5$$

olarak elde edilmiştir.

## SONUÇLAR

Bilindiği gibi karar aşamasında dilsel değişkenlerle (zayıf kaya, masif boyutlu cevher vb.) oldukça sık karşılaşılır. Karar verici çoğunlukla bu değişkenleri hesaba nasıl katacağını bilemez ve kendi tecrübe ve insiyatifini kullanır. İlgili bölümlerde açıklandığı gibi Çiftalan Linyit Sahası için seçimi düşünülen alternatiflerin (üretim yöntemleri), seçim kriterleri karşısında alacağı üyelik derecelerinin belirlenmesinde, öncelikle bu kriterlerin çeşitli çözüm metotları (lineer programlama, uzman sistemler, uzman görüşleri, vb.) ile analizi yapılarak dilsel değişkenlere dönüştürülmüştür. Böylelikle hesaba katılmayan hiçbir kriter kalmamış ve söz konusu saha için Dolgulu Oda-Topuk Yöntemi optimum yeraltı üretim yöntemi olarak seçilmiştir. Bu işlemlerin gerçekleştirilmesinde bilgisayar teknolojilerinden de yararlanılması karar vericinin işini büyük ölçüde kolaylaştırılmıştır. Böylelikle, klasik yöntemlerle yapılan değerlendirmelere göre

Bulanık Küme Teorisi ile karar verme amaca daha çabuk ve kolay ulaşılmasını sağlamıştır. Bulanık Küme Teorisi kullanılarak yeraltı üretim yöntemi seçimine yeni bir yaklaşım getirmiş olan bu çalışma sonuçları, başka maden sahalarında da en uygun üretim yöntemi seçimlerine ışık tutabilecektir.

### KATKI BELİRTME

Yazarlar bu araştırmada, maddi destek sağlayan İ.Ü. Araştırma Fonu'na ve ayrıca arazi çalışmalarında gerekli olanağı sağlayan Kutman Limited Şirketi yetkilileri ve çalışanlarına teşekkürlerini sunarlar.

### SUMMARY

Mine planning engineers often use of their intuition and experiences in decision making. Mostly linguistic variables (weak rock, massive dimension ore, etc.) become in question and decision-makers may not know how this variables are computed. Since the fuzzy set theory has been carried out, these uncertainties in question are easily evaluated in decision making process. By the development of computer technology and programming of colloquial language with expert systems have considerably reduced desicion makers burden. The purpose of this paper is to show mine design engineers how this variables will be evaluated by fuzzy set theory, when uncertain variables for selection of underground mining method becomes in question in decision making. The other point of view is that as well as the fuzzy set theory is used for selection of underground mining method it also can be utilised other mining problems.

In this paper, firstly the purpose of the study, the fuzzy set theory and fuzzy multiple attribute decision-making process are introduced. The fuzzy set theory that can be defined as consepts 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 scientists. In addition to this, Yager Theory has been used to have optimal results and obtain weighting degree comparing criteria both among them and alternatives. Finally, this paper deals with the

underground mining method selection, which based on the fuzzy set theory, for a lignite mine located close to Istanbul-Turkey. The needed physical parameters such as geologic and geotechnique properties of ore, hanging and foot wall, economic effects, environmental effects, which are established with field and laboratory tests together with other uncertain variables were determined. Meanwhile some uncertain variables dealing with the matter, were described according to the view of some experts. Then the fuzzy set theory was applied to these parameters set considering the available underground methods in order to choose the proper method. At the end of the evaluations, the room and pillar method with filling occured as more suitable method for the test site. Consequently, within the scope of this paper, a new approach has been represented for weighting of the criteria in decision making. Therefore, it is proved that optimal decision making can be obtained easily and rapidly.

### DEĞİNİLEN BELGELER

- Albayrak, C., Albayrak, E., 1997, Stratejik İşbirliğinde Doğru Ortağın Seçimi: Bir Karar Destek Modeli Önerisi, 1.Ulusal Üretim Araştırmaları Sempozyumu, İstanbul, s: 19-22
- Başçetin, A., Kesimal., 1999, Açık İşletmelerde Yükleme-Taşıma Seçiminde Yeni Bir Yaklaşım, Türkiye 16. Madencilik Kongresi ve Sergisi, Ankara, s: 57-64.
- Başçetin, A., Kesimal A., 1999, The Study of a Fuzzy Set Theory For The Selection of an Optimum Coal Transportation System From Pit to The Power Plant," Int . J. of Surface Mining, Reclamation and Envinonment 13, pp: 97-101
- Gökay, M.K., 1998, Bulanık Mantık Yaklaşımının Kaya Kütleli Sınıflandırmalarında Kullanılması, Madencilik Dergisi, TMMOB Maden Mühendisleri Odası, Ankara, s: 3-11.
- Hamrin, H., 1998, Choosing an Underground Mining Method, Thechniques in Underground Mining, Society of Mining Metallurgy and Exploration Inc., Littleton, CO, USA, pp: 45-85Kahrıman, A., Ceylanoğlu, A., Demirci, A.,
- Arpaz, E., Uysal, Ö., 1994, Kayseri-Pulpmar Krom Cevheri İçin Optimum Yeraltı Üretim Yöntemi Seçimi, Madencilik Dergisi, TMMOB Maden

- Mühendisleri Odası, Ankara, s: 27-41
- Karadoğan, A., 2001,** Çiftalan Linyit Sahası İçin Optimum Yeraltı Üretim Yöntemi Seçimi, Yüksek Lisans Tezi, İ.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul. Matlab., The Mathworks, Inc. Version 5.0, 0.4609, Copyright 1984-199996.
- Nicholas, D.E., 1993,** Selection Variables, Mining Engineering Handbook, V:2, pp: 2051-2057.
- Saaty, T. L., 1978,** Exploring the Interface Between Hierarchies, Multiple Objectives and Fuzzy Sets, Fuzzy Sets and Systems, 1, pp.57-68.
- Yager, R.R., 1981,** A New Methodology for Ordinal Multiobjective Decisions Based on Fuzzy Sets, Decision Sci. 12, pp. 589-600.
- Zadeh, L. A., 1975,** The Concept of a Linguistic Variable and Its Application to Approximate Reasoning, Part 1, Information Science 813, pp. 199-249. Kahrman, A., Ceylanoglu, A., Demirci, A.,
- Arpaz, E., Uysal, Ö., 1994,** Kayseri-Pulpar Krom Cevheri İçin Optimum Yeraltı Üretim Yöntemi Seçimi, Madencilik Dergisi, TMMOB Maden Mühendisleri Odası, Ankara, s: 27-41
- Karadoğan, A., 2001,** Çiftalan Linyit Sahası İçin Optimum Yeraltı Üretim Yöntemi Seçimi, Yüksek Lisans Tezi, İ.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul. Matlab., The Mathworks, Inc. Version 5.0, 0.4609, Copyright 1984-199996.
- Nicholas, D.E., 1993,** Selection Variables, Mining Engineering Handbook, V:2, pp: 2051-2057.
- Saaty, T. L., 1978,** Exploring the Interface Between Hierarchies, Multiple Objectives and Fuzzy Sets, Fuzzy Sets and Systems, 1, pp.57-68.
- Yager, R.R., 1981,** A New Methodology for Ordinal Multiobjective Decisions Based on Fuzzy Sets, Decision Sci. 12, pp. 589-600.
- Zadeh, L. A., 1975,** The Concept of a Linguistic Variable and Its Application to Approximate Reasoning, Part 1, Information Science 813, pp. 199-249.

**Makalenin geliş tarihi:** 14.04.2002

**Makalenin yayına kabul tarihi:** 29.04.2002

*Received* April 14, 2002

*Accepted* April 29, 2002