

Bulanık Küme Teorisinin Yeraltı Üretim Yöntemi Seçiminde Kullanılabilirliği

A. Karadoğan, A. Başçetin, A. Kahrıman & S. Görgün
İstanbul Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü, 34850, Avcılar, İstanbul

ÖZET: Üretim yöntemi seçimi madencilik planlamalarının önemli bir aşaması olup proje maliyetlerini etkileyen çok önemli bir faktördür. Bu makale, İstanbul-Yeniköy Linyit Sahasında en uygun yeraltı üretim yönteminin 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 bilginin de 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.

ABSTRACT: Underground mining method selection is an important stage of the mine planning and is a factor affecting project costs. This paper presents a fuzzy multiple attribute decision making for the optimal underground mining method selection in a lignite mine nearby Istanbul in Turkey. The major selection parameters were determined by 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 analytic hierarchy process under the situation where more than one solution alternative and much more criterion are involved for equipment selection.

1 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 (Kahrıman vd.1994 & Demirci vd. 1995).

Günümüze kadar birçok bilimadami tarafından yeraltı üretim yöntemi seçimi probleminin

çözümüne yönelik çeşitli araştırmalar yapılmıştır. Yeraltı üretim yöntemi seçimi konusunda yapılan bu çalışmalardan bazılarını; 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 metodlar (genetik algoritma, bulanık küme teorisi, vb.) amaca daha çabuk, kolay ve hassas ulaşmayı sağlamaktadır. Bu çalışmada, belirsiz yada 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.

2 ÇALIŞMANIN AMACI

İstanbul'un 30 km kuzeyinde yer alan Yeniköy Linyit Sahasında kömür damarının uzandığı kuzeybatıya doğru yazlık yerleşim yerlerinin bulunması, bu kısımlarda açık işletme faaliyetlerini tamamen sınırlamaktadır. Bu nedenle sahada mevcut kalan rezervin yeraltı üretim yöntemiyle çıkarılması zorunlu hale gelmiştir. Bu amaçla yapılan bu çalışmada, İstanbul-Yeniköy Linyit Sahası için optimum yeraltı üretim yönteminin seçimi yapılmıştır.

Bu nedenle; öncelikle söz konusu sahada üretim yöntemi seçimine etki eden; arazi ve laboratuvar çalışmalarına 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 atanması 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.

3 BULANIK KÜME TEORİSİ

Zadeh'in "From Circuit Theory to System Theory" başlıklı (1962) 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) mantığı, endüstriyel kontrol, askeriye, ekonomi, mühendislik, tıp, model tanıma ve sınıflandıma gibi pek çok konuda çok geniş problemlerin çözümünde kullanılmaya başlanmıştır (Başçetin 1998 & Başçetin 1999a)

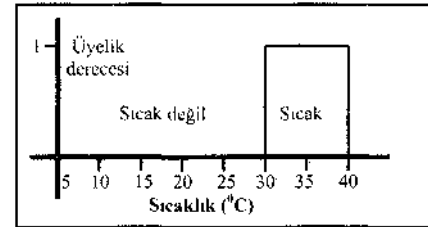
Maden planlama mühendisleri karar aşamasında kendi inisiyatif ve tecrübelerini çok sık kullanırlar. Çoğunlukla probleme etki eden dilsel değişkenleri (zayıf kaya, masif boyutlu cevher, uniform tenotlu cevher vb) söz konusudur ve karar verici bu değişkenleri hesaba nasıl katacağını tam olarak bilemez. Bu çalışmada incelenen Bulanık Küme

Teorisi ile karar verme prosesinde söz konusu bu belirsizlikler (bulanık ortamlar) kolayca değerlendirilebilmektedir. Burada sözü edilen ifadelerin, belirli kararlar için kullanıldığı düşünülürse, bunlarla anlatılmak istenenin anlaşılması çok önemli olacaktır. Mühendislik uygulamalarında ve karar aşamalarında bu 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 vb.

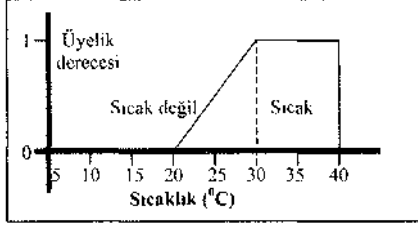
Bulanık mantık, güvenilir olmayan veriler, eksik ölçümler ve belirsiz tanımlarla karakterize edilen birçok problemin araştırılmasında uygun bir metodolojidir. İlk defa Lotfi Zadeh (1965) tarafından ortaya atılan bulanık kümeler kuramının amacı belirsizlik ifade eden, tanımlaması güç veya anlamı zor kavramlara üyelik derecesi atayarak onlara belirlilik getirmektir. 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 derecenin altına düşerse sıcak değildir. Yani klasik mantık teorisine göre 29.5° sıcak değildir. Doğal olarak bu mantığın hiçbir esnekliği yoktur. Gerçek dünyada ise sınırlar bu kadar keskin değildir.



Şekil 1. Klasik küme teorisi

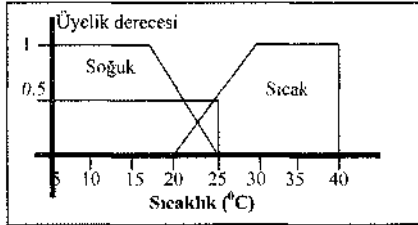
Tam tersine, olayların belli bir esneklikte olması istenir. Bulanık mantık soğuk-sıcak, hızlı-yavaş, yüksek-alçak gibi ikili değişkenlerden oluşan keskin dünyayı, az soğuk-az sıcak, az yüksek-az alçak gibi esnek niteliyicilerle yumuşatarak gerçek dünyaya benzeter. Şekil 2, sıcaklık gibi değişkenleri, gerçekte gözlenen değerine daha yakın veren bulanık küme teorisini göstermektedir. Buna göre 20° ile 40° arasındaki değerlerin, sıcak bulanık küme üyelik derecesi ortaya çıkmış olur. Burada sıcak bulanık küme üyelik derecesinde, 30°'e karşı düşen maksimumdan, 20°'a karşı düşen minimuma doğru kademelendirilmiş bir azalma vardır.



Şekil 2. Bulanık küme teorisi

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

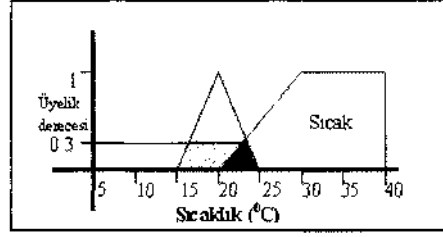
Şekil 3'te ise bulanık mantık teorisinin bir adım daha ileri safı gösterilmektedir. Şekil 3'ten de anlaşılacağı gibi, sıcak bulanık küme üyelik derecesi, 0.5'de soğuk bulanık küme üyeliği kimliğini kazanır. Soğuk bulanık küme üyeliğinin derecesi, sıcaklık azaldığında artar. Buna göre 0'dan 15°'ye kadar olan sıcaklık oldukça soğuk sayılır ve bu bölge soğuk bulanık küme tam üyeliğine sahiptir. 15° ile 25° arasında ise soğuk bulanık küme dereceli üyeliği vardır. 20° ile 25° 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.

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.



Şekil 4, Bulanık giriş değişkeninin üyelik derecesi.

4 BULANIK ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME

Karar verme, amaç yada amaçlara ulaşmak 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 (Başçetin 1999c).

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'İ, 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; $C = \{C_1, C_2, \dots, C_m\}$, 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.

$$\begin{aligned} G &= [0.5/A_1, 0.8/A_2, 0.3/A_3] \\ C_1 &= [0.7/A_1, 0.9/A_2, 0.5/A_3] \\ C_2 &= [0.4/A_1, 0.2/A_2, 0.9/A_3] \end{aligned}$$

Daha sonra kriter ağırlıkları (önemi) belirlenir. Bunun için Saaty'ın kriterlerin çift yöllü karşılaştırılması metodu kullanılır (Saaty 1978). Kullanılan karar sıkalası karar verici tarafından belirlenir.

Çizelge 1. Karar verici tarafından belirlenen karar sıkalası

Sayısal Ölçekler	Anlamları
1	Etmenler eşit değerde
3	1.etmenin 2.'ye göre etkilemede biraz daha fazla önemli veya üstün ise
5	1.etmenin 2.'ye göre etkilemede daha fazla önemli veya üstün ise
7	1.etmenin 2.'ye göre etkilemede çok fazla önemli veya üstün ise
9	1.etmenin 2.'ye göre etkilemede oldukça çok fazla önemli veya üstün ise

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 C₁ ve C₂ kriterlerinin G amacından biraz önemli olduğu düşünülmüştür. Çift yöllü karşılaştırma matrisi aşağıdaki gibi olacaktır :

$$\begin{matrix} G & C_1 & C_2 \\ C_1 & \begin{bmatrix} 1 & 1/3 & 1/3 \\ 3 & 1 & 1 \end{bmatrix} \\ C_2 & \begin{bmatrix} 1 & 1 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

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

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

Ağırlıklara karşılık gelen özvektör, kriterlerin/özelliklerin/amaçların herbirinin üyelikleri ile üşkilendirilir (Yager 1981). Böylece, eksponansiyel ağırlıklama şöyle olacaktır (Başçetin 1999); $a_1 = 0.299$, $a_2 = 0.688$, $a_3 = 0.688$ ve arazi yerleşimi hakkındaki nihai karar aşağıdaki gibi elde edilir.

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

$$\begin{aligned} G &= [0.5/A_1, 0.8/A_2, 0.3/A_3]^{0.299} \\ &= [0.79/A_1, 0.92/A_2, 0.66/A_3] \\ C_1 &= [0.7/A_1, 0.9/A_2, 0.5/A_3]^{0.688} \\ &= [0.78/A_1, 0.93/A_2, 0.63/A_3] \\ C_2 &= [0.4/A_1, 0.2/A_2, 0.9/A_3]^{0.688} \\ &= [0.54/A_1, 0.34/A_2, 0.93/A_3] \end{aligned}$$

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

ve optimal sonuç (maksimum üyelik derecesi ile), $f_{io}(A) = 0.63/A_j$ olarak bulunur.

5 YENİKÖY LİNYİT SAHASI İÇİN OPTİMUM YERALTI ÜRETİM YÖNTEMİNİN BELİRLENMESİ

Bu çalışma, İstanbul'un 30 km kuzeyinde yer alan Oligosen yaşlı Karaburun Formasyonu'na ait Delta Düzlüğü Fasiyesi'nde oluşmuş olan Yeniköy Linyit Sahası için optimum yer altı üretim yöntemi seçiminin araştırılmasına dayanmaktadır.

Sahanın kuzeydoğusunda açık işletme ile kömür üretimi yapılmakta ve çevre illerin yakacak kömür ihtiyacının bir kısmı buradan sağlanmaktadır. Sahada kömür damarının uzandığı kuzeybatıya doğru yazlık yerleşim yerlerinin bulunması, bu kısımlarda açık işletme faaliyetlerini tamamen sınırlamaktadır. Bu nedenle saltada mevcut kalan rezervin yeraltı üretim yöntemiyle çıkarılması zorunlu hale gelmesi dolayısıyla bu çalışmada, Yeniköy Linyit Sahası için optimum yeraltı üretim yöntemi seçimi amaçlanmıştır. 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 Çizelge 2'de verildiği gibi özetlenmiştir :

Çizelge 2. Alternatif yöntemler için hesaplanan teknik kriterler

Kriterler	Açıklamalar
Kömür yatağının geometrik şekli	Levha şeklinde (Tabakalı yapı)
Kömür damarı kalınlığı	Ortalama 2,1 m
Damar eğimi	Eğim ortalama 7° (kömür damarı yatay)
Kazının yapıldığı derinlik	Ortalama 50 m
Kömürün sağlamlık derecesi	Düşük dayammlı (Tek eksenli basınç dayanımı 235 kg/cm ²)
Kömür damarı -yantaş kontakt durumu	Belirgin değil
Tavan taşının sağlamlık derecesi	Tavan taşı kil, düşük dayammlı kaya (kayma dayanımı 2.2 kg/cm ²)
Taban taşının sağlamlık derecesi	Taban taşı kil, düşük dayammlı (kayma dayanımı 2.2 kg/cm ²)
Tasman etkisi	Damar yüzeye yakın, tavan taşı düşük dayammlı, tasman tehlikesi var
Tahkimat gerekliliği	Tavan ve taban taşı çok düşük dayammlı olduğundan tahkimat zorunlu
Yerleşim alanlarının yakınlığı	Sahanın kuzeybatısında kömür damarı üzerinde yazlık yerleşim yeri var
Kömürün yanma özelliği	Kendiliğinden yanma özelliğine sahip
Hidrolik koşullar	Sahanın kuzeyinde Karadeniz var, su problemi var

Söz konusu saha için yeraltı üretim yöntemi seçiminde en uygun yöntemin Çizelge 3'de verilen yöntemler (alternatifler kümesi) arasından seçilmesi düşünülmektedir. Çizelge 3'de verilen yöntemler, Yeniköy Linyit Sahasındaki linyit yatağının fiziksel ve jeolojik karakteristikleri dikkate alınarak, mevcut yeraltı üretim yöntemleri arasında yapılan ön değerlendirmeye sonucunda söz konusu sahada uygulanabilirliği muhtemel olan yöntemler olarak belirlenmiştir.

Çizelge 3. Alternatif üretim yöntemleri

Alternatif Yöntemler
A ₁ Meyil Yükselme Yönünde Dolgulu Uzunayak Yöntemi
A ₂ Meyil Alçalma Yönünde Dolgulu Uzunayak Yöntemi
A ₃ İlerletimli Dolgulu Uzunayak Yöntemi
A ₄ Geri Dönümlü Dolgulu Uzunayak Yöntemi
A ₅ Dolgulu Oda-Topuk Yöntemi

Prosedür gereği, seçimi etkileyen bu kriterlerin çeşitli çözüm metodları ile (lineer programlama, uzman sistemler, uzman görüşleri vb.) analizi yapılarak çeşitli dilsel sonuçlar elde edilmiştir (bu çalışmada uzman görüşlerinden yararlanılmıştır). Böylece herbir sistemin (alternatifin) sahip olduğu

avantajlar görülmüştür. Bu analizlerin bir kısmı aşağıda görülmektedir :

- Kömür yatağının geometrik boyutuna göre yöntemler karşılaştırıldığında A3 en iyisidir.
- Kömür damar kalınlığına göre A3 en iyi yöntemdir.
- Damar eğimine göre yöntemler arasında en uygunu A5 dir.
- Kazının yapıldığı derinlik açısından A₃ en iyisidir.
- » Kömürün sağlamlık derecesine göre A5 en iyi yöntemdir.
- » Tavan taşının sağlamlık derecesi açısından A5 en iyisidir.
- Taban taşının sağlamlık derecesine göre A₃ en uygun yöntemdir.
- Hidrolik koşullara uygunluk bakımından en uygun yöntem A1 dir.
- Kömürün yanma özelliğine göre A3 en iyisidir.
- Yerleşim alanlarına yakınlık bakımından A5 en uygun yöntemdir.

Çizelge 4'de ise yöntem seçiminde etkili kriterler özetlenmiş ve daha sonra optimum yeraltı üretim yöntemi seçimi prosedürü aşağıda verilmiştir :

Çizelge 4. Yeraltı üretim yöntemi seçiminde gözönüne alınan işlem kriterleri

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 damarı -yantaş kontakt 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 vararlık 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).

- $C_1 = \{0.80/A_1, 0.75/A_2, 0.95/A_3, 0.90/A_4, 0.85/A_5\}$
 $C_2 = \{0.75/A_1, 0.80/A_2, 0.88/A_3, 0.85/A_4, 0.82/A_5\}$
 $C_3 = \{0.70/A_1, 0.65/A_2, 0.87/A_3, 0.85/A_4, 0.92/A_5\}$
 $C_4 = \{0.70/A_1, 0.75/A_2, 0.90/A_3, 0.80/A_4, 0.65/A_5\}$
 $C_5 = \{0.55/A_1, 0.60/A_2, 0.70/A_3, 0.75/A_4, 0.85/A_5\}$
 $C_6 = \{0.50/A_1, 0.55/A_2, 0.65/A_3, 0.75/A_4, 0.85/A_5\}$
 $C_7 = \{0.70/A_1, 0.65/A_2, 0.85/A_3, 0.75/A_4, 0.90/A_5\}$
 $C_8 = \{0.40/A_1, 0.50/A_2, 0.70/A_3, 0.80/A_4, 1.00/A_5\}$

- $C_9 = \{0.65/A_1, 0.75/A_2, 0.85/A_3, 0.60/A_4, 0.95/A_5\}$
 $C_{10} = \{0.60/A_1, 0.55/A_2, 0.85/A_3, 0.65/A_4, 0.80/A_5\}$
 $C_{11} = \{0.80/A_1, 0.75/A_2, 0.90/A_3, 0.65/A_4, 0.95/A_5\}$
 $C_{12} = \{0.78/A_1, 0.70/A_2, 0.90/A_3, 0.75/A_4, 0.65/A_5\}$
 $C_{13} = \{0.50/A_1, 0.72/A_2, 0.80/A_3, 0.60/A_4, 0.85/A_5\}$
 $C_{14} = \{0.85/A_1, 0.45/A_2, 0.75/A_3, 0.60/A_4, 0.50/A_5\}$
 $C_{15} = \{0.60/A_1, 0.55/A_2, 0.80/A_3, 0.70/A_4, 0.95/A_5\}$
 $C_{16} = \{0.60/A_1, 0.55/A_2, 0.80/A_3, 0.65/A_4, 0.90/A_5\}$
 $C_{17} = \{0.75/A_1, 0.70/A_2, 0.82/A_3, 0.80/A_4, 0.90/A_5\}$
 $C_{18} = \{0.65/A_1, 0.70/A_2, 0.80/A_3, 0.75/A_4, 0.60/A_5\}$

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 sıkalası karar verici tarafından belirlenmiştir:

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

Daha sonra bu ters matrisin özdeğerleri ve maksimum özdeğere karşılık gelen özvektör belirlenmiştir. Bu çalışmada, Matlab (versiyon 5.0) matematik programı kullanılarak bu ters matrisin maksimum özdeğeri $kmm^{\wedge} 21.7896$ olarak bulunmuştur. Yine aynı program vasıtası ile aşağıda görüldüğü gibi maksimum özdeğere karşılık gelen özvektör belirlenmiştir. Bu özvektör her bir kriterin/özelliğinin/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

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

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

Elde edilen ağırlıklar karar fonksiyonunda eksponansiyel olarak değerlendirilerek;

$$\begin{aligned}
 C_1 &= \{0.80/A_1, 0.75/A_2, 0.95/A_3, 0.90/A_4, 0.85/A_5\}^{0.7543} \\
 &= \{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\}^{0.1631} \\
 &= \{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\}^{0.0228} \\
 &= \{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\}^{0.0797} \\
 &= \{0.99/A_1, 0.99/A_2, 1.00/A_3, 0.99/A_4, 0.99/A_5\}
 \end{aligned}$$

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

optimal karar;

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

olarak elde edilmiştir.

İşletme şartları için uygun olacağı düşünülen bu yöntemler arasında, görüldüğü gibi, Yeniköy 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 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.

6 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 inisiyatifiyi kullanır. İlgili bölümlerde açıklandığı gibi Yeniköy Linyit Sahası için seçimi düşünülen alternatiflerin (üretim yöntemleri), seçim kriterleri karşısında alacağı üyelik derecelerinin belirlenmesinde, öncelikle bu kriterlerin çeşitli çözüm metodları (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 Kümeler Teorisi kullanılarak yeraltı üretim yöntemi seçimi yapılmış olan bu çalışma sonuçları, başka maden sahalarında da en uygun üretim yöntemi seçimlerine ışık tutabilecektir.

KAYNAKLAR

- Albayrak, C. ve Albayrak, E., 1997, Stratejik işbirliğinde doğru ortağın seçimi: Bir karar destek modeli önerisi, *J. Ulusal Üretim Araştırmaları Sempozyumu*, İstanbul, pp: 19-22
- Başçetin, A., ve Kesimal A., 1998, The application of fuzzy boolean programming technique to solving the problems of selective mining. *National Open Pit Mining Conference*, Varna- Bulgaria, P: 322-329
- Başçetin, A., ve Kesimal. A., 1999, Açık işletmelerde yükleme- taşıma seçiminde yeni bir yaklaşım, *Türkiye 16. Madencilik Kongresi ve Sergisi*, Ankara, s: 57-64.
- Başçetin, A., ve 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, *hit. J. of Surface Mining, Reclamation ana Environment 13*, pp. 97-101

- Başşetin, A. ve Kesimal A., 1999, "Madencilikte bulanık mantık uygulaması" *Yerbilimleri Dergisi / Engineering Faculty's Earth Sciences Review*, Vol.12, No.1
- Demirci, A., Ceylanoğlu, A., Kahritnan, A., vd.: 1995, Ege Metal Eskişehir Krom İşletmesinde optimum üretim yönteminin belirlenmesi ve projelendirilmesi çalışmaları", *Nihai Rapor, Cumhuriyet Üniversitesi*, 155 sayfa.
- Gökay, M.K., 1998, "Bulanık mantık yaklaşımının kaya kütlesi sınıflandırmalarında kullanılması", *Madencilik Dergisi, TMMOB Maden Mühendisleri Odası*, Ankara, pp. 3-11.
- Hamrin, H., 1998, Choosing an underground mining method, *Techniques in Underground Mining, Society of Mining Metallurgy and Exploration Inc.*, Littleton, CO, USA, pp: 45-85
- Kahriman, A., Ceylanoğlu, A., Demirci, A., Arpaz, E., Uysal, Ö., 1994, Kayseri-Pulupınar krom cevheri için optimum yeraltı üretim yöntemi seçimi-, *Madencilik Dergisi, TMMOB Maden Mühendisleri Odası*, Ankara, s: 27-41
- Nicholas D.E., 1993, Selection variables, *Mining Engineering Handbook*, V:2, P: 2051-2057.
- Saaly, T.L., 1978, Exploring the interface between hierarchies, multiple objectives and fuzzy sets," *Fuzzy Sets and Systems*, 1,p.57-68.
- Yager, R.R., 1981, A new methodology for ordinal multiobjective decisions based on fuzzy sets", *Decision Sei.* 12, pp. 589-600.
- Zadeh, L. A., 1975, The concept of a linquislic variable and its application to approximate reasoning, Part 1," *Information Science SI3*, p. 199-249.