

Türkiye 16. Madencilik Kongresi / 16th Mining Congress of Turkey, 1999, ISBN 975-395-310-0

AKIŞ İŞLETMELERDE YÜKLEME-TAŞIMA SİSTEMİ SEÇİMİNDE YENİ BİR YAKLAŞIM

A NEW APPROACH IN SELECTION OF LOADING-HAULING SYSTEMS IN SURFACE MINING

ATAÇ BAŞÇETİN

Istanbul Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Avcılar, 34850, istanbul

AYHAN KESİMAL

Istanbul Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Avcılar, 34850, istanbul

ÖZET: Bu çalışma, İstanbul/Kemerburgaz bölgesinde bir kömür açık ocağında dekapaj için optimum yükleme-taşıma sisteminin araştırılmasına yöneliktir. Günümüze kadar karar verme ortamında söz konusu olan dilsel değişkenler tecrübelerle dayanarak hesaplarda değerlendirilmiştir. Bu çalışmada incelenen Bulanık Küme Teorisi ile bu tür dilsel değişkenlere belirli üyelik derecesi atanarak onlara belirlilik getirilmektedir. Ayrıca elde yetersiz verilerin olduğu durumlarda karar vericinin ulaşacağı sübjektif bilginde sayılaşdırılması bu teori ile mümkün kılınmaktadır. Ekipman seçimi için çok fazla sayıda kriterin ve birden çok çözüm alternatifinin bulunduğu ortamlarda Analitik Hiyerarşi Prosesinden de yararlanarak optimum kararlar alınabileceğinin gösterilmesi bu çalışmanın özünü oluşturmaktadır.

ABSTRACT: This study has been directed to the research of an optimal loading-hauling system at waste in an open pit coal mine located at Kemerburgaz in Istanbul. So far, linguistic variables which became in question in decision making environment were generally evaluated considering the experiences. 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 hierarchy process under the situation where more than one solution alternative and much more criterion are involved for equipment selection.

1. 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; bulanık mantık ile meteorolojik tahminler (Cao ve Chen, 1983); medikal hastalıklar (Vila ve Delgado, 1983); petrol ve maden arama çalışmaları (Yüksel, Manisalı ve Esnaf, 1994); bulanık mantık ve yapı mühendisliği (Kömür ve Demir, 1996); bulanık mantık ile selektif madencilik (Başçetin ve Kesimal, 1998); açık ocak ekipman seçiminde karar verme araçları (Clarke, Denby ve Schofield, 1990); zeki bilgisayar teknikleri ile dragline seçimi (Denby ve Schofield, 1992); genetik algoritma ile selektif madencilikte ekipman seçimi (Haidar-ve Naom,

1996); jeomekanikte bulanık küme uygulamaları (Nguyen, 1985); madencilikte karar vermede bulanık algoritma (Bandopadhyay, 1987).

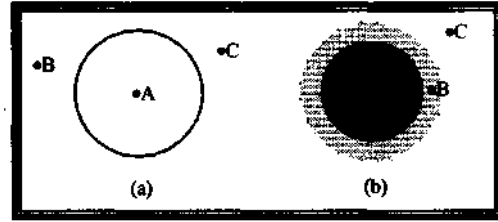
Günümüze kadar birçok bilimadamı tarafından ekipman seçimi probleminin çözümüne yönelik çeşitli araştırmalar yapılmıştır. Ekipman seçimi konusunda yapılan bu çalışmalardan bazılarına; Pfeider (1973a), Moolick (1973), Lizotte (1988), Sweigard (1992), Parlak (1993), Kesimal (1996), Kesimal (1997), Atkinson vd. (1987), Singhal (1986) örnek olarak verilebilir. Klasik yöntemlerle yapılan değerlendirmeler çoğunlukla kompleks bir durum ortaya çıkarmakta ve de uzun zaman almaktadır. Özellikle ekipman 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.

Maden planlama mühendisleri karar aşamasında kendi inisiyatif ve tecrübelerini çok sık kullanırlar. Çoğunlukla probleme etki eden dilsel değişkenler (hava yağışlı, toprak nemli, tozlu ortam vb.) söz konusudur ve karar verici bu değişkenleri hesaba nasıl katacağını tam olarak bilemez. Bu çalışmada incelenen Bulanık Küme Teorisi (Fuzzy Set Theory) ile karar verme prosesinde söz konusu bu belirsizlikler (bulanık ortamlar) kolayca değerlendirilebilmektedir. Bilgisayar teknolojisinin ve uzman sistemlerle konuşma dili programlamasının hızla gelişimi ile de karar vericinin yükü önemli ölçüde azalmıştır. Bu çalışmanın amacı, ekipman seçimi için belirsiz yada yetersiz verilerin söz konusu olduğu karar aşamasında, maden planlama mühendislerine bu değişkenleri bulanık kümeler teorisi ile nasıl değerlendireceğini göstermektir. Burada önemli olan diğer bir nokta ise bulanık küme teorisinin ekipman seçimi prosesine uygulandığı gibi madencilik diğer problemlerinin çözümünde de uygulanabileceğidir.

2. BULANIK KÜME TEORİSİ

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/nesnel 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 (Zadeh, 1975; Maiers ve Sherif, 1985; Klir ve Folger, 1988; Zimmermann, 1991; Dubois vd., 1991; Dubois vd., 1992). İlk defa Lotfi Zadeh 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.

U evrensel kümesinde bir F bulanık kümesi $\{(u, UF(u))/u \in U\}$ sıralı çiftlerinin toplamıdır] düşünelim. Burada $UF : U \rightarrow [0, 1]$ F'in üyelik fonksiyonudur. Özellikle, $UF(u)$ F bulanık kümesindeki u elemanın üyelik derecesidir (u elemanın F kümesi ile uygunluğunu ölçer). $\forall u(u)$ doğruluk veya olasılık derecesi olarak da kabul edilebilir. Bu üyelik geçiş fikri ($0 < UF(u) < 1$); bir elemanın bu kümeye tam üye olması ($u^*(u) = 1$) ya da olmamasının ($UF(u) = 0$) söz konusu olduğu klasik küme teorisine karşıdır. Aksine, bulanık küme teorisinde, u'nun bu kümenin üyesi olması ya da olmaması gerçeği 0 ile 1 arasındaki üyelik derecesi ile ölçülür. Üyelik derecesi 0 ise $UF(u) = 0$ ise u, F bulanık kümesinin bir üyesi değildir ($u \notin F$). Üyelik derecesinin $[XF(u)]^*$ 1 olması durumunda F bulanık kümesinin tam bir üyesidir ($u \in F$). Ayrıca u elemanı 0 ile 1 arasında değişen üyelik dereceleri ile de bu kümenin bir elemanı olabilir. İki küme teorisi arasındaki bu farklılığı bir örnek üzerinde açıklamakta fayda bulunmaktadır. K, değişik saykıl sürelerine sahip ekskavatörlerin (A, B, C) kümesi olsun. Maden sahasındaki optimum yükleme saykıl süresi 20 saniye olarak düşünülmüştür. A, B ve C ekskavatörlerinin yükleme saykıl süresi sırasıyla 20, 23 ve 28 saniyedir. K kümesi önce klasik (crisp) sonra bulanık küme olarak değerlendirilmiştir.



Şekil 1. Klasik (a) ve Bulanık (b) Küme Gösterimi

Şekil 1 (a)'da görüldüğü gibi sadece A ekskavatörünün saykıl süresi optimumdur ve üyelik derecesi $U(A) = 1$ 'dir. Diğer ekskavatörlerin saykıl süresi optimumdan uzak olduğu için seçilme şansı yoktur. Böylece, bu ekskavatörlerin üyelik derecesi sıfırdır ($u_k(B) = 0$, $u_k(C) = 0$). Bulanık küme teorisine göre A ekskavatörü, üyelik derecesi olarak optimum saykıl süresine karşılık gelir. Böylece en yüksek seçilme şansına sahiptir ve bu yüzden üyelik derecesi 1'dir ($U(A) = 1$). B ekskavatörünün saykıl süresi optimuma yakındır ve bu bulanık kümenin bir üyesi olması ya da olmaması 0 ile 1 arasındaki üyelik derecesine sahiptir. C ekskavatörünün saykıl süresi optimumdan oldukça uzak olup bu kümenin bir üyesi değildir ve üyelik derecesi sıfırdır.

3. 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 muğlak bilgiyi ("büyük" kazanç (Maksimum fayda), "fazla" hız ve "ucuz" fiyat (minimum maliyet) gibi) elde etme yeteneğini sağlamaktır. Bellman ve Zadeh'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 kullanılmıştır. Bu teori aynı zamanda Analitik Hiyerarşi Prosesinde dayanmaktadır.

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 herbir kriter için alternatiflerin alacağı üyelik dereceleri belirlenir (herbir alternatifin avantajı 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 Yager Saaty'nın (Saaty, 1978a) kriterlerin çift yönlü karşılaştırılması metodunu kullanır. Kullanılan karar sıkalası karar verici tarafından belirlenir: 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:

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

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

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

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 ve amaçların herbirinin üyelikleri ile ilişkilendirilir. Böylece, eksponansiyel ağırlıklama şöyle olacaktır; $a_1 = 0.299$, $a_2 = 0.688$, $a_3 = 0.688$ ve arazi yerleşimi hakkındaki nihai karar aşağıdaki gibi elde edilir (Yager, 1977, 1981).

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

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

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

ve optimal sonuç (maksimum üyelik derecesi ile),

$$HofO = 0.63/A_3$$

4. İSTANBUL/KEMERBURGAZ BÖLGESİNDE BİR AÇIK KÖMÜR OCAĞINDA YÜKLEME-TAŞIMA SİSTEMİNİN BELİRLENMESİ

Bu çalışma, İstanbul'un 30 km. kuzeyinde yer alan bir açık kömür ocağında üretime yeni geçecek bir sahanın örtü-kazısı (dekapaj) için yükleme-taşıma sisteminin araştırılmasına dayanmaktadır. Sistemi etkileyen, çalışma sahasına ait teknik parametreler aşağıda özetlenmiştir:

Bölgede yıllık ortalama yağış 717-1074 mm, yıllık ortalama sıcaklık 12.8-13.9 °C arasında bulunmaktadır. Dört yaz ayındaki ortalama yağış toplamı (1991-1994) 27-34 mm, ortalama sıcaklık 19.4-20.2 °C olarak gerçekleşmiştir. Günlük en yüksek yağışlar, Ağustos ve Eylül aylarında, 76-101 mm/gün olarak ölçülmüştür. Karla örtülü gün sayısı 6-14 gün, sisli gün sayısı ise 17-22 gün arasında değişmektedir. Yaz aylarında havanın nispi nemi saat 14.00'te %66-70 arasındadır. Bu iklim verilerine göre, yörede nemli ve ılıman iklim hakimdir. Yaz aylarında yağış az olmakla beraber, Karadeniz üzerinden esen kuzeydoğu rüzgarları etkili olmaktadır (80 km/h'i aşan rüzgarlar görülebilmektedir, (Kantarci, 1988)).

Ocak alanı 600x350 metre olup, ortalama 60 metrelik örtü toprağı söz konusudur (dekapaj kazısının 10'ar metrelik altı basamakta yapılması

planlanmaktadır. Örtü malzemesini; toprağın oluşturduğu ana malzeme (kömür üst tabakasındaki çeşitlilik gösteren) kum, döküm kumu, az çimentolaşmış kumtaşı, boz kil ve beyaz kil'den oluşmaktadır. Söz konusu formasyonların birim hacim ağırlıkları 1.10-1.40 gr/cm³ mertebeleri arasında değişmektedir (hesaplarda 1.2 gr/cm³ olarak alınmıştır). Bölgedeki üretici firmaların toplam yıllık üretimlerinin 4-5 milyon ton mertebesinde gerçekleştiği bilinmektedir. Bu bölgede yaygın olarak kömür üretiminde kullanılan yöntem, kömür tabakalarının deniz altı katlara ulaşmasından ötürü, kıyı doldurularak denizin ocak açılacak kısmı öncelikle bir göle dönüştürülmesini içermektedir. Daha sonra bu bölgedeki su, pompa ile denize boşaltılmakta ve kazı ile kömür tabakasına ulaşılmaktadır. Kıyı dolgu malzemesi olarak ise, dekapaj işleminden elde edilen malzeme kullanılmaktadır. Böylelikle ocak içi dekapaj nakliyat mesafesi de daha aza indirgenebilmektedir (Proje Raporu, 1996). Yapılan ölçümlerden söz konusu işletmede bu taşıma mesafesinin yaklaşık 1 km olduğu tespit edilmiştir. İş programı; yılda 300 gün, haftada 7 gün ve günde

loder-kamyon (A2) ve ekskavatör-kamyon-ocak içi kırıcı-bant konveyör (A3) sistemleri (alternatifler kümesi) arasından seçilmesi düşünülmektedir. Ocak alanının özellikleri ve ekipman teknik özellikleri Tablo 1 'de verilmiştir.

Prosedür gereği, seçimi etkileyen bu kriterlerin çeşitli çözüm metodları ile (lineer programlama, uzman sistemler, uzman görüşleri vb.) analizi yapılarak aşağıdaki dilsel sonuçlar elde edilir (bu çalışmada uzman görüşlerinden yararlanılmıştır). Böylece herbir sistemin (alternatifin) sahip olduğu avantajlar görülebilir. Bu analizlerin bir kısmı aşağıda görülmektedir :

- Örtü tabakası incedir; böylece seçim için Ai en iyisidir.
- Yol koşulları mevsime göre değişmektedir. Yuvarlanma direnci, kuru mevsimde daha düşük değer verirken, kış aylarında bu değer yükselir (ortalama %3). A3 alternatifinde kamyon sadece ocak içi taşımacılıkta kullanılacağından yuvarlanma direnci açısından en iyi seçenektir.
- Kazılabilirliğin, örtü malzemesinin niteliği düşünüldüğünde ve yerinde yapılan gözlemlerden zor olmadığı söylenebilir. Bu

Tablo 1. Alternatif Sistemler İçin Hesaplanan Teknik Parametreler

Dekapaj	2,200,000 m ³ /year
Aktif çalışma zamanı	7 gün/hafta, 300 gün/yıl, 10 saat/gün (1 vardiya/gün)
Örtü malzemesi	Kum, kumtaşı, kil
Kayaç yoğunluğu	1.2 ton/m ³
Örtü tabakası kalınlığı	Ortalama 60m. (6 basamak planlanmakta)
Toprak özelliği	Nemli
Patlatma	Yok
Tasma mesafesi	900-1000 m.
Ortalama meyil direnci	%4
Ortalama yuvarlanma direnci	%3
Kazı seviyesi	Terskepeç: 1 İm. Loder : 6.5-7 m.
Boşaltma seviyesi	Terskepeç: 7.5m. Loder: 3.72 m. (Kamyon yüklenme yüksekliği: 3.10m).
Kepçe kapasitesi	Terskepeç: 4 m ³ \ Loder: 6 m ³
Kepçe dolma faktörü	%90
Bant konveyör	Maks. Hız : 4 m/sn., toplam uzunluk : 370-m, genişlik : 900-mrh
Ocak içi kırıcı	400 ton/saat kapasiteli
İşletme ağırlığı (Operating weight)	Terskepeç: 83800 kg. Loder: 45297 kg. Kamyon: 31250 kg.
Ekonomik ömür	Terskepeç: 25000 saat. Loder: 20000 saat. Kamyon: 15000 h. Konveyör: 42000 saat
Yükleme süresi	Terskepeç: 21 sn. Loder: 30 sn.
Sayıl süresi	Kamyon: 230 sn.
Kapital maliyet	Terskepeç: \$550 000, Loder : \$400 000, Kamyon : \$270 000 Ocak içi kırıcı-bant konveyör : \$1 900 000
işletme maliyeti	A ₁ = \$0.67/m ³ , A ₂ = \$0.72/m ³ , A ₃ = \$0.62/m ³

Not : Terskepeç, loder, kamyon teknik özellikleri yapılan hesaplamalara uygun olarak Performans El Kitabından alınmıştır.

10 saatlik tek vardiya ile çalışılması ve böylece 3000 saat/yıl işletme zamanı şeklinde planlanmaktadır. Ortalama kömür üretimi 550.000 ton/yıl, buna karşılık yılda yapılacak ortalama dekapaj miktarı ,2.200.000 m³ olarak planlanmıştır. Ocağın ekonomik ömrü buna göre 8 yıl olacaktır (kazı oranı 4:1 olarak alınmıştır). Dekapajda en uygun taşımacılık sisteminin; Ekskavatör-kamyon (A),

durumda, tereddüt etmeksizin ekskavatör-kamyon (A₁) seçilebilir.

- Zemin koşulları bakımından, terskepeç büyük avantaja sahiptir (zemin çoğunlukla çok ıslak ve özellikle kış aylarında çamurlu).
- Örtü toprağı az çimentolaşmış kumtaşı ve çoğunlukla kil (özellikle yapışma özelliğine sahip) olup, A3 alternatifinde banta yapışma

olasılığı çok yüksektir. Bu nedenle en dezavantajlı sistem olarak gözükmektedir.

- 10 metrelik basamakların planlanması düşünüldüğünde terskeççe en iyi ekskavatördür.
- Bütün kombinasyonlar (sistemler) boşaltma yüksekliği açısından uygundur. Fakat terskeççe yüklemeyi daha güvenilir yapar.
- Taşıma mesafesi 900-1000 m. arasında değişmektedir. Bu durumda, en iyi kombinasyon olarak A3 düşünülebilir
- A3 stabilite bazında en iyi sistemdir.
- Tecrübeler ve benzer uygulamalara dayanarak ekipman mevcudiyeti açısından A3 diğerlerine göre daha avantajlıdır.
- Benzer şekilde ekipman verimi açısından yine A3 alternatifi avantajlıdır.
- Söz konusu alternatiflerdeki ekipmanların hemen hepsi ithal olduğu için yedek parça temini ve servis açısından alternatifler arasında fark olmadığı kabul edilebilir.
- Sistemlerin fleksibilitesi karşılaştırıldığında; dünyadaki uygulamalar örnek alınırsa A1 ve A2 en uygundur.
- A2 diğerlerinden daha düşük kapital maliyete sahiptir.
- A1 ve A2 sistemdeki mobilite düşünüldüğünde en iyi alternatiflerdir (A2 en iyisi).
- Taşıma kapasitesine göre A3 en uygundur.

Tablo 2'de işlem kriterleri özetlenmiş ve daha sonra optimum ekipman seçimi prosedürü aşağıda verilmiştir :

Tablo 2. Ekipman Seçiminde Gözönüne Alınan İşlem Kriterleri.

Criterion	Operation	Criterion	Operation
C1	Üretim	C12	Çalışma Dengesi
C2	Örtü kalınlığı	C13	Taşıma Mesafesi
C3	Kazı koşulu	C14	Ekipman mevcudiyeti
C4	Malzeme boyutu	C15	Mobilite
C5	Zemin koşulu	C16	Taşıma Kapasitesi
C6	Taşıma yolu koşulu	C17	Ekonomik Ömrü
C7	Kazı yüksekliği	C18	Ekipman verimi
C8	Boşaltma yüksekliği	C19	Sayıl Süresi
C9	Yedek parça temini	C20	Kapital Maliyeti
C10	Yuvarlanma Direnci	C21	İşletme Maliyeti
C11	Fleksibilite		

Burada, alternatif sistemler kümesi $A = \{A_1, A_2, A_3\}$ ve kriterler kümesi $C = \{C_1, C_2, C_3, \dots, C_m\}$ şeklinde olsun. 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 belirler (her bir kriter için hangi sistemin daha avantajlı olduğunu belirler).

$$\begin{aligned}
 C_1 &= \{0.85/A_1, 0.80/A_2, 0.90/A_3\} & C_2 &= \{0.90/A_1, 0.65/A_2, 0.92/A_3\} \\
 C_3 &= \{0.95/A_1, 0.80/A_2, 0.95/A_3\} & C_4 &= \{0.95/A_1, 0.95/A_2, 0.50/A_3\} \\
 C_5 &= \{0.90/A_1, 0.85/A_2, 0.92/A_3\} & C_6 &= \{0.85/A_1, 0.85/A_2, 0.90/A_3\} \\
 C_7 &= \{0.90/A_1, 0.70/A_2, 0.90/A_3\} & C_8 &= \{0.90/A_1, 0.80/A_2, 0.90/A_3\} \\
 C_9 &= \{0.90/A_1, 0.90/A_2, 0.90/A_3\} & C_{10} &= \{0.80/A_1, 0.80/A_2, 0.95/A_3\} \\
 C_{11} &= \{1.00/A_1, 1.00/A_2, 0.90/A_3\} & C_{12} &= \{0.95/A_1, 0.80/A_2, 0.95/A_3\} \\
 C_{13} &= \{0.87/A_1, 0.85/A_2, 0.95/A_3\} & C_{14} &= \{0.80/A_1, 0.70/A_2, 0.80/A_3\} \\
 C_{15} &= \{0.83/A_1, 0.95/A_2, 0.75/A_3\} & C_{16} &= \{0.90/A_1, 0.85/A_2, 0.95/A_3\} \\
 C_{17} &= \{0.90/A_1, 0.88/A_2, 0.92/A_3\} & C_{18} &= \{0.75/A_1, 0.70/A_2, 0.80/A_3\} \\
 C_{19} &= \{0.90/A_1, 0.85/A_2, 0.95/A_3\} & C_{20} &= \{0.90/A_1, 0.95/A_2, 0.80/A_3\} \\
 C_{21} &= \{0.85/A_1, 0.75/A_2, 0.95/A_3\} & &
 \end{aligned}$$

Diğer bir adım olarak, karar verici bir $m \times n$ boyutlu matris üzerinde (Şekil 2.) kriterlerin birbirlerine göre ampirik önem tahminlerini belirler (uzman görüşlerinden de yararlanarak). Bunun için kullanılan karar sıkalası karar verici tarafından belirlenir: 1 önemli; 1.5 biraz daha önemli; 2 kuvvetlice önemli; 2.5 son derece önemli; 3 kanıtlanabilir derecede önemli.

Daha sonra bu ters matrisin özdeğerleri ve maksimum özdeğere karşılık gelen özvektör belirlenir. Bu çalışmada, Matlab (versiyon 5.0) matematik programı kullanılarak bu ters matrisin maksimum özdeğeri $\lambda_{\max} = 22,5719$ 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 şöyledir: $\alpha_1 = 0.1021, \alpha_2 = 0.1273, \alpha_3 = 0.1426, \alpha_4 = 0.1843, \alpha_5 = 0.1596, \alpha_6 = 0.1080, \alpha_7 = 0.1782, \alpha_8 = 0.1108, \alpha_9 = 0.1750, \alpha_{10} = 0.1462, \alpha_{11} = 0.2420, \alpha_{12} = 0.1929, \alpha_{13} = 0.1282, \alpha_{14} = 0.3366, \alpha_{15} = 0.2424, \alpha_{16} = 0.2222, \alpha_{17} = 0.2459, \alpha_{18} = 0.3353, \alpha_{19} = 0.2066, \alpha_{20} = 0.2781, \alpha_{21} = 0.3992$ (özvektör sonuçları) ve nihai karar;

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

ve optimal karar,

$$\mu_D(A^*) = \max_A \mu_D(A) \text{ } A^* \text{ optimal karardır.}$$

Şekil 2. Kriterlerin Karşılaştırılması

	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 ₁₉	C ₂₀	C ₂₁
C ₁	1	1/2	1	1/2,5	1/2	1	1/3	1/1,5	1/2	1/1,5	1/2,5	1/2	1	1/2,5	1/1,5	1/2,5	1/2	1/2,5	1/3	1/1,5	1/2
C ₂	2	1	1,5	2	1	1	1	1,5	1/2	1/1,5	1/2,5	1/2	1/2	1/2,5	1/2,5	1/3	1/2,5	1/2,5	1/3	1/2	1/2,5
C ₃	1	1/1,5	1	1	1/1,5	2	1/2	2	1/1,5	1	1/2	1/1,5	1	1/2	1/2,5	1/1,5	1/2,5	1/2	1	1	1/1,5
C ₄	2,5	1/2	1	1	1	2	1/2,5	1,5	1	1	2,5	1/1,5	1/2	1,5	1/3	1/2,5	1/2	2	1/3	1/2,5	1/3
C ₅	2	1	1,5	1	1	2	1	1,5	1,5	1	1/1,5	1/1,5	1,5	1/1,5	1/1,5	1/1,5	1/2	1/1,5	1/2,5	1/2	1/2,5
C ₆	1	1	1/2	1/2	1/2	1	1/2	1/1,5	1	1	1/2	1/2	1	1/2	1/2	1/2,5	1/2,5	1/2	1/1,5	1/2,5	1/3
C ₇	3	1	2	2,5	1	2	1	1,5	1	1	1/1,5	2	1	1/1,5	1/2	1/2	1/2,5	1/1,5	1/2	1/2,5	1/3
C ₈	1,5	1/1,5	1/2	1/1,5	1/1,5	1,5	1/1,5	1	1	1/1,5	1/2	1/2	1	1/2	1/2,5	1/3	1/2,5	1/2	1/2	1/2,5	1/3
C ₉	2	2	1,5	1	1/1,5	1	1	1	1,5	1/2	1/2	2	1/2,5	1/2	2	1/1,5	1/2,5	2	1/2,5	1/2	1/2,5
C ₁₀	1,5	1,5	1	1	1	1	1	1,5	1/1,5	1	1/2,5	1	1	1/3	1/2	1,5	1/2	1/3	1,5	1/3	1/3
C ₁₁	2,5	2,5	2	1/2,5	1,5	2	1,5	2	2	2,5	1	1	2	1/1,5	1	2	1	1/1,5	2	1/1,5	1/2
C ₁₂	2	2	1,5	1,5	1,5	2	1/2	2	2	1	1	1	2	1/1,5	1	1/1,5	1/1,5	1/2	1/1,5	1/2,5	1/2,5
C ₁₃	1	2	1	2	1/1,5	1	1	1	1/2	1	1/2	1/2	1	1/3	1/2	1/2,5	1/2,5	1/3	1/1,5	1/2	1/3
C ₁₄	2,5	2,5	2	1/1,5	1,5	2	1,5	2	2,5	3	1,5	1,5	3	1	1,5	3	2,5	1	3	2	1/1,5
C ₁₅	1,5	2,5	2,5	3	1,5	2	2	2,5	2	2	1	1	2	1/1,5	1	1	1/1,5	1/1,5	1	1/1,5	1/2
C ₁₆	2,5	3	1,5	2,5	1,5	2,5	2	3	1/2	1/1,5	1/2	1,5	2,5	1/3	1	1	1	1/3	1,5	1/1,5	1/2,5
C ₁₇	2,5	3	1,5	2,5	1,5	2,5	2	3	1,5	2	1	1,5	2,5	1/2,5	1	1	1	1/2,5	1,5	1/1,5	1/2,5
C ₁₈	2,5	2,5	2	1/2	1,5	2	1,5	2	2,5	3	1,5	1,5	3	1	1,5	3	2,5	1	3	2	1/1,5
C ₁₉	3	3	1	3	2,5	1,5	2	2	1/2	1/1,5	1/2	2	1,5	1/3	1	1/1,5	1/1,5	1/3	1	1/2	1/3
C ₂₀	1,5	2	1	2,5	2	2,5	2,5	2,5	2,5	3	1,5	1,5	2	1/2	1,5	1,5	1	1/2	2	1	1/2
C ₂₁	2	2,5	1,5	3	2,5	3	3	3	2	3	2	2,5	3	1,5	2	2,5	1,5	1,5	3	2	1

özvektör =	0.1021	λ_{max} ile
	0.1273	
	0.1426	
	0.1843	
	0.1596	
	0.1080	
	0.1782	
	0.1108	
	0.1750	
	0.1462	
	0.2420	
	0.1929	
	0.1282	
	0.3366	
	0.2424	
0.2222		
0.2459		
0.3353		
0.2066		
0.2781		
0.3992		

- $C_4 = \{0.95/A_1, 0.95/A_2, 0.50/A_3\}^{0.1843} = \{0.99/A_1, 0.99/A_2, 0.88/A_3\}$
- $C_5 = \{0.90/A_1, 0.85/A_2, 0.92/A_3\}^{0.1596} = \{0.98/A_1, 0.97/A_2, 0.98/A_3\}$
- $C_6 = \{0.85/A_1, 0.85/A_2, 0.90/A_3\}^{0.1080} = \{0.98/A_1, 0.98/A_2, 0.98/A_3\}$
- $C_7 = \{0.90/A_1, 0.70/A_2, 0.90/A_3\}^{0.1782} = \{0.98/A_1, 0.93/A_2, 0.98/A_3\}$
- $C_8 = \{0.90/A_1, 0.80/A_2, 0.90/A_3\}^{0.1108} = \{0.98/A_1, 0.97/A_2, 0.98/A_3\}$
- $C_9 = \{0.90/A_1, 0.90/A_2, 0.90/A_3\}^{0.1750} = \{0.98/A_1, 0.98/A_2, 0.98/A_3\}$
- $C_{10} = \{0.80/A_1, 0.80/A_2, 0.95/A_3\}^{0.1462} = \{0.96/A_1, 0.96/A_2, 0.99/A_3\}$
- $C_{11} = \{1.00/A_1, 1.00/A_2, 0.90/A_3\}^{0.2420} = \{1.00/A_1, 1.00/A_2, 0.97/A_3\}$
- $C_{12} = \{0.95/A_1, 0.80/A_2, 0.95/A_3\}^{0.1929} = \{0.99/A_1, 0.95/A_2, 0.99/A_3\}$
- $C_{13} = \{0.87/A_1, 0.85/A_2, 0.95/A_3\}^{0.1282} = \{0.98/A_1, 0.98/A_2, 0.99/A_3\}$
- $C_{14} = \{0.80/A_1, 0.70/A_2, 0.80/A_3\}^{0.3366} = \{0.92/A_1, 0.88/A_2, 0.92/A_3\}$
- $C_{15} = \{0.85/A_1, 0.95/A_2, 0.75/A_3\}^{0.2424} = \{0.96/A_1, 0.98/A_2, 0.93/A_3\}$
- $C_{16} = \{0.90/A_1, 0.85/A_2, 0.95/A_3\}^{0.2222} = \{0.97/A_1, 0.96/A_2, 0.98/A_3\}$
- $C_{17} = \{0.90/A_1, 0.88/A_2, 0.92/A_3\}^{0.2459} = \{0.97/A_1, 0.97/A_2, 0.98/A_3\}$
- $C_{18} = \{0.75/A_1, 0.70/A_2, 0.80/A_3\}^{0.3353} = \{0.90/A_1, 0.88/A_2, 0.92/A_3\}$
- $C_{19} = \{0.90/A_1, 0.85/A_2, 0.95/A_3\}^{0.2066} = \{0.97/A_1, 0.96/A_2, 0.99/A_3\}$
- $C_{20} = \{0.90/A_1, 0.95/A_2, 0.80/A_3\}^{0.2781} = \{0.97/A_1, 0.98/A_2, 0.94/A_3\}$
- $C_{21} = \{0.85/A_1, 0.75/A_2, 0.95/A_3\}^{0.3992} = \{0.93/A_1, 0.89/A_2, 0.98/A_3\}$

$\mu_D(A) = \{0.90/A_1, 0.88/A_2, 0.88/A_3\}$
ve optimal karar
 $\mu_D(A^*) = 0.90/A_1$ dir.

Elde edilen ağırlıklar karar fonksiyonunda eksponansiyel olarak değerlendirilir;

- $C_1 = \{0.85/A_1, 0.80/A_2, 0.90/A_3\}^{0.1021} = \{0.98/A_1, 0.97/A_2, 0.99/A_3\}$
- $C_2 = \{0.90/A_1, 0.65/A_2, 0.92/A_3\}^{0.1273} = \{0.98/A_1, 0.94/A_2, 0.99/A_3\}$
- $C_3 = \{0.95/A_1, 0.80/A_2, 0.95/A_3\}^{0.1426} = \{0.99/A_1, 0.96/A_2, 0.99/A_3\}$

5. SONUÇLAR

Bilindiği gibi karar aşamasında dilsel değişkenlerle (kazı ve zemin koşulları, yedek parça temini, çalışma dengesi, vb.) oldukça sık karşılaşılır. Karar verici çoğunlukla bu değişkenleri hesaba nasıl katacağını bilemez ve kendi tecrübe ve insiyatifini kullanır. İşte bu noktada bulanık küme teorisinin başansı bu çalışma ile kanıtlanmıştır. İlgili bölümlerde açıklandığı gibi herhangi bir işletme için seçimi düşünülen alternatiflerin (sistemlerin) seçim kriterleri karşısında alacağı üyelik derecelerinin belirlenmesinde önce bu kriterlerin çeşitli çözüm metodları (lineer programlama, uzman sistemler, uzman görüşleri, vb.) ile analizi yapılarak dilsel değişkenlere dönüştürülür. Böylelikle hesaba katılmayan hiçbir kriter kalmamış olacaktır. Bu işlemlerin gerçekleştirilmesinde bilgisayar teknolojisinden de yararlanılması karar vericinin işini büyük ölçüde kolaylaştırmaktadır. Klasik yöntemlerle yapılan değerlendirmelere göre Bulanık Küme Teorisi ile karar verme amaca daha çabuk ve kolay ulaşılmasını sağlamaktadır.

KAYNAKLAR

- Atkinson, T. Waller, M. D. ve Denby, B. 1987. *Future Concepts in Surface Mining Operations*. Annual Meeting of Institution of Mining and Metallurgy and Institution of Mining Engineers, London.
- Bandopadhyay, S. 1987. *Fuzzy Algorithm for Decision Making in Mining Engineering*. Int. Journal of Mining&Geological Engineering. 5:149-154.
- Başçetin, A. ve Kesimal, A. 1993. *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. \L-6 June, Varna, Bulgaria. 1:322-329.
- Bellman, R. E. ve Zadeh, L. A. 1970. *Decision-making in a Fuzzy Environment*. Management Sci. 17:141-164.
- Cao, H. ve Chen, G. 1983. *Some Applications of Fuzzy Sets of Meteorological Forecasting*. Fuzzy Sets and Systems. 9:1-12.
- Clarke, M.P. Denby, B. ve Schofield, D. 1990. *Decision Making Tools for Surface Mine Equipment Selection*. Mining Science and Technology. 10:323-335.
- Denby, B ve Schofield, D. 1992. *Dragline Selection Using Intelligent Computer Techniques*. Transactions of the Institution of Mining and Metallurgy Section-A, Mining Industry 10:A79-84.
- Dubois, D. ve Prade, H. 1991. *Fuzzy Sets in Approximate Reasoning, Part I : Inference With Possibility Distributions*. Fuzzy Sets and Systems. 40:143-202.
- Dubois, D. Prade, H. ve Sessa, S. 1992. *Recent Literature in : C. V. Negoita, L.A. Zadeh, and H.J. Zimmermann (eds)*. Fuzzy Sets and Systems. 51:119-129.
- Haidar, A.D. ve Naom, S.G. 1996. *Opencast Mine Equipment Selection Using Genetic Algorithms*. International of Surface Mining and Reclamation, 10:61-67.
- Kantarci, D. 1988. *Çatalca Yarımadası Kuzey Kesiminde (Ağaçlı Yöresi), Linyit Kömürü Açık İşletme Alanlarında Arazi Kullanımı ve Ağaçlandırma İçin Temel Ekolojik İncelemeler ve Değerlendirmeler*. İ.Ü. Orman Fakültesi Dergisi, Seri : A, 38.
- Kesimal, A. 1996. *A Review of Comparative Study of Transportation Systems For Surface Mining Operations*. Mineral Resources Engineering. 5:13-21.
- Kesimal, A. 1997. *Taş ocaklarında Ekipman Seçimindeki Son Gelişmeler*. İ.Ü. Müh. Fak. Yerbilimleri Dergisi. 10:135-142.
- Klir, G. J. ve 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:704-709.
- Lizotte, Y. 1988. *Economie and Technical Relations Between Open-Pit Design and Equipment Selection*. First International Symposium on Mine Planning and Equipment Selection, Balkema, Rotterdam.
- Maiers, J. ve Sherif, Y.S. 1985. *Applications of Fuzzy Set Theory*. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics. 15:175-189.
- Matlab, The Mathworks, Inc. version 5.0., 0.4069, copyright 1984-1996.
- Moolick, R. T. 1973. *Stripping Methods, Including Advanced Stripping.*, SME Mining Engineering Handbook, Vol. 2, Society of Mining Engineers of The American Institute of Mining, Metallurgical and Petroleum Engineers, Inc. New York.
- Nguyen, V.U. 1985. *Some Fuzzy Set Applications in Mining Geomechanics*. Int. Journal of Rock Mechanics. 22:369-79.

- Parlak, T. 1993. *Uygulamalı Açık Kömür İşletmeciliği*. T.K.İ.-M.L.İ. Müessesesi, Bursa.
- Pfleider, E. P. 1973a, *Open-Pit and and Strip-Mining Systems and Equipment*. Sec. 17 in SME Mining Engineering Handbook. Soc. Mng. Engr. - AIME, New York. 180 sayfa.
- Proje Raporu, 1996. İ.Ü. Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, , *MİL-TEN Açık İşletme Kömür Ocağında Dekapajda Kullanılan Ekipmanların Verimlilik Analizi*. Döner Sermaye Projesi, Proje No : 436/96, İstanbul.
- Saaty, T. L. 1978a. *Exploring the Interface Between Hierarchies, Multiple Objectives and Fuzzy Sets*. Fuzzy Sets and Systems 1:57-68.
- Singhal, R. K. 1986. *Optimizing Loading and Hauling Equipment Productivity in Surface Mining*. SME Fall Meeting St., Lous, Missouri.
- Sweigard, R. J. 1992. *Materials Handling : Loading and Haulage*. S.M.E. Mining Engineering Handbook, 2 nd. edition, Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc., Littleton, Colorado.
- Türkşen, İ. B. 1985. *Bulanık Kümeler Kuramı ve Uygulamaları*. Yöneylem Araştırması Dergisi. 4:1-15.
- Vila, M. A. ve Delgado, M. 1983. *On Medical Diagnosis Using Possibility Measures*. Fuzzy Sets and Systems. 10:211-222.
- Yager, R.R. 1977. *Multiple Objective Decision-Making Using Fuzzy Sets*. Internat. J. Man-Machine Stud. 9:375-382.
- Yager, R.R. 1981. *New Methodology for Ordinal Multiobjective Decisions Based on Fuzzy Sets*. Decision Sei. 12:589-600.
- 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 and Technology Bulletin on Earth Science. 24:1-16.
- Zadeh, L. A. 1975. *The Concept of a Linquistic Variable and its Application to Approximate Reasoning*. Part 1, Information Science 813:199-249.
- Zimmermann, H. J. 1991. *Fuzzy Set Theory-and Its Applications*. Second, Revised Edition, Kluwer Academic Publishers, The Netherlands.