

## *4 Bilgisayar uygulamaları*



## Bir Yeraltı Maden İşletmesinde Alternatif Nakliye Sistemlerinin Mukayesesi

A. Demirci & B. Eyleli

Cumhuriyet Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Sivas

**ÖZET:** Bu çalışma kapsamında, mevcut haliyle -220 m derinliğe ulaşmış bulunan ve derindeki cevherin nakli için yetersiz kalan kuyu-nakliye sistemi kullanan gerçek bir yeraltı krom işletmesi için alternatif nakliye sistemleri araştırılmıştır. Söz konusu işletmede cevherin -500 m derinliğe kadar ulaşacağı kabul edilmiş ve bu derinlikteki cevheri çıkarmak için beş farklı nakliye alternatifi (üç adet'i kuyu nakliye, iki adedi yeraltı kamyonları ile) uygulanabilir bulunmuştur. Bu nakliye sistemleri teknik ve ekonomik açıdan incelenmiş ve farklı kriterler bazında değerlendirilmiştir.

**ABSTRACT:** In this study, alternative transportation systems have been studied for an underground chromite mine. Current transportation system for the mine consists of a shaft reaching to a level of -220 meters. However, this system is inadequate for hoisting the ore from the levels below -220 m. It is assumed that the ore body will reach to a depth of 500 meters. In order to transport the ore from the levels between -220 and -500 m five different transportation alternatives have been found to be applicable. These alternative systems have been investigated from the technical and economical point of view and evaluated on the basis of multidimensional (multiple) objective systems.

### 1 GİRİŞ

Bu çalışma kapsamında incelenen yeraltı madencilik faaliyetlerinde cevherin yeryüzüne taşınması işlemi, genellikle kuyu nakliye sistemi ile yapılmaktadır. Kuyu nakliye sisteminin tasarımı yapılırken gözönüne alınması gereken faktörler oldukça kabardır. Ancak değerlendirmelerde bu faktörlerden, "istenilen üretim miktarı" ve bu "üretimin sağlanacağı derinlik" öne çıkmakta ve diğer tasarım parametreleri bu iki parametreye bağlı olarak irdelenmektedir (Beerkircher 1982, Harmon 1973 & Saltoğlu 1976). Cevherin taşınacağı derinlik, arama çalışmaları sonucu tespit edilmiş olan cevher sınırlarına bağlıdır. Ancak bazı durumlarda, cevher tabanını tespit etmek değişik sebeplerden dolayı mümkün olmamaktadır. Bu durumda kuyu tasarımı genellikle mevcut verilere göre yapılmaktadır. Özellikle küçük ölçekli işletmelerde genel üretim stratejisi, ara-bul-işlet şeklinde olduğu için büyük yatırımlardan kaçınılmakta ve kuyu tasarımı mevcut bilinen cevher sınırlarına göre yapılmaktadır. Bu haliyle işletmenin ilerleyen safhalarında cevher tabanı derinleştikçe kuyu'da buna bağlı olarak derinleştirilmektedir. Ancak belirli aşamalardan sonra bu uygulama, teknik ve ekonomik problemleri

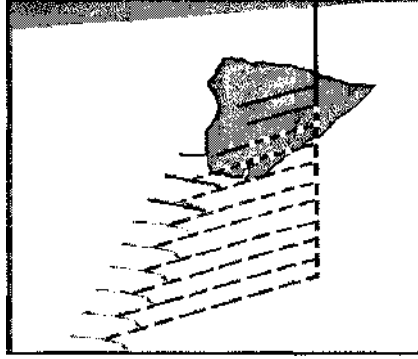
gündeme getirmektedir. Genellikle bu şekilde derinleştirilen kuyular, belirli bir derinlikten sonra istenen üretim talebini karşılayamamakta, bu ise alternatif nakliye sistemi arayışını gündeme getirmektedir.

Bu çalışmada işaret edilen işletmede kazılan krom cevherini yeryüzüne çıkarmak için işletmenin mevcut koşullarına bağlı olarak değişik alternatif nakliye sistemleri göz önüne alınabilir bulunmuştur. Ancak bu alternatiflerin tek veya çok kriterlere göre değerlendirilerek, öncelikli olanın sıralandırılması bu çalışmanın esasını oluşturmaktadır.

Bu çalışmaya baz olan yeraltı işletmesinde mevcut kuyu önce (-130 m) katma kadar sürülmüş, ve bilahare ikinci safhada 90 m ilave ile (-220 m) katma indirilmiştir. Bu günkü haliyle cevherin 90 m daha derine gittiği tespit edilmiştir. Bununla beraber diğer jeolojik veriler cevherin -500 m katına kadar gidebileceğine işaret etmektedir. Bu durumda mevcut kuyunun derinleştirilmesine ilaveten alternatif nakliye sistemlerini ortaya koyan, yeni nakliye sistemi arayışları gündeme gelmiştir.

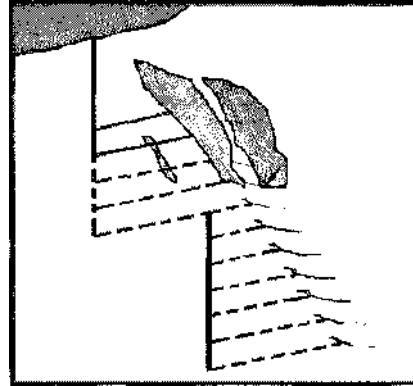
Söz konusu işletme için işletme yönetimiyle beraber aşağıda verilen nakliye alternatiflerinde mutabık kalınmıştır:

- a) Alternatif A: Bu alternatifte göre mevcut kuyu (-220 m) katından (-490 m) katma kadar kademeli (90'ar m) olarak derinleştirilecektir. Alternatifin uygulanması sonucu oluşacak genel görüntü Şekil 1 'de serildiği gibi olacaktır.



Şekil 1. Alternatif A: Mevcut kuyuyu derinleştirme.

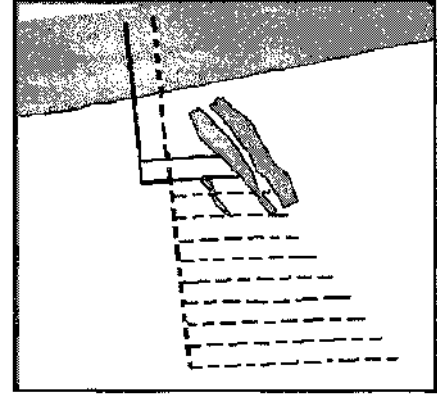
- b) Alternatif B: Bu alternatifte öncelikle mevcut kuyunun (-310 m) katına kadar derinleştirilmesi ve daha sonra (-310 m) katından (-490 m) katma kadar bir iç kuyu (kör kuyu) sürülmesi öngörülmüştür (Şekil 2).



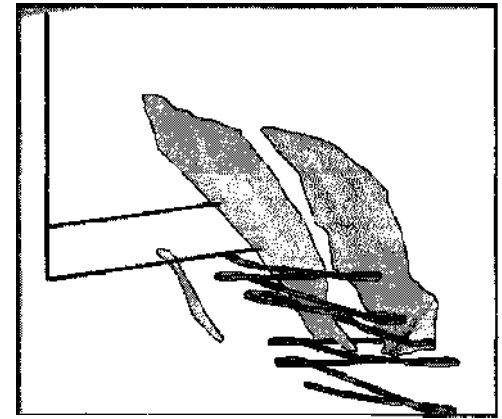
Şekil 2. Alternatif B: Mevcut kuyu ve iç kuyu.

- c) Alternatif C: Bu alternatifte, yeryüzünden yeni bir kuyu sürülmesi öngörülmüştür. Bu kuyu daha büyük kapasiteli olup, mevcut kuyu ile aynı hatta olacaktır. Alternatifin uygulanması sonucu oluşacak genel görünüm Şekil 3'de verildiği gibidir.

- d) Alternatif D: Bu alternatifte mevcut kuyu tabanından aşağıya doğru %10-15 eğimli rampa sürmek ve aşağı katlardaki cevheri yeraltı kamyonları ile mevcut kuyu tabanına getirmek öngörülmüştür. Bu alternatifin uygulanması sonucu oluşacak genel görünüm Şekil 4'de verilmiştir..

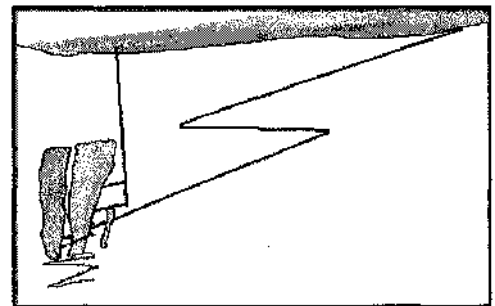


Şekil 3. Alternatif C: Yeni kuyu.



Şekil 4. Mevcut kuyu ve iç rampa alternatifi

- e) Alternatif E: Bu alternatifte ise cevher nakli için yeryüzünden başlayan bir rampa sürülmesi, ve mevcut kuyu tabanına ulaşıldığında da Alternatif D'de verilen rampa sistemi ile aşağı katlara inilmesi öngörülmüştür. Bu alternatifte cevher yeryüzüne yeraltı kamyonları ile nakledilecektir (Şekil 5).



Şekil 5. Yeryüzü rampa sistemi.

Yukarıda verilen alternatiflere özgü parametreler ve konumlandırmalar VULCAN programı yardımı ile belirlenmiş olup, şekiller sözkonusu programdan elde edilmiştir.

Bu çalışmada sözkonusu olan nakliye alternatiflerinden herhangi birisinin seçimi, bir karar verme problemi olarak şekillenmektedir. Bu kararın oluşması sadece mono bir amaç halinde şekillenen ekonomik yaklaşımlara dayandırılmayacağından; problemin çözümü çok boyutlu amaçlar düzeninde (multicriteria choice) gerçekleştirilmelidir. (Demirci 1982, Wolters 1995, Belecal 2000, Batzias 2000 & Nutt 2000). Bu itibarla sözkonusu seçim yönteminde öncelikle kriterlerin belirlenmesi ve bilahare geliştirilen alternatiflerin bu kriterlere göre ve uygun ölçme metodları ile değerlendirilmesi problemin çözümüne esas alınmıştır. Alternatiflerin öncelikleri bu esasa göre belirlenmiştir.

## 2 ALTERNATİFLERİ DEĞERLENDİRME KRİTERLERİ

Yeraltı nakliye sistemi için düşünülen alternatifleri mukayese etmek ve değerlendirmeye tabi tutmak amacıyla mevcut koşullar için hazırlanmış olan bir amaçlar düzeninden aşağıdaki kriterler tespit edilmiştir:

1. İstenen üretimin sağlanması,
2. Toplam yatırım tutarı,
3. Nakliye özgü işletme maliyeti,
4. Oluşan net bugünkü değeri (NBD),
5. Hazırlık faaliyetlerinde kolaylık ve üretimin sürekliliği,
6. Rezerv'e yönelik belirsizlik.

### 2.1 İstenen üretimin sağlanması

Alternatifleri üretimi sağlama kriteri bazında değerlendirebilmek için, her alternatifin istenen mevcut üretim programına göre nakledebileceği cevher miktarı hesaplanmıştır. Yapılan hesaplamalar sonucunda alternatifler Çizelge 1'de verildiği gibi sıralanmışlardır.

Çizelge 1. Alternatiflerin üretime göre sıralanması.

Alternatif	Sonuç	Önem Sıralaması (fi)
A	yetersiz	5
B		4
C		2
D		1
E		3

### 2.2 Toplam yatırım tutarı

Alternatifleri bu kritere göre değerlendirebilmek için öncelikle her alternatif için gerekli olan hazırlık miktarları (kuyu,galeri,rampa,vs.) tespit edilmiş, ve

bilahare bu hazırlıkların toplam yatırım miktarları hesaplanmıştır. Hesaplanan yatırım miktarına bağlı olarak alternatiflerin öncelikleri Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 2. Yatırım maliyetine göre sıralama.

Alternatif	Yatırım Miktarı (\$)*	Öncelik Sıralamasını)
A	3.753.369	3
B	3.360.885	2
C	4.334.815	5
D	2.787.388	1
E	3.774.216	4

\*Bu rakamlar rastgele bir katsayı ile değiştirilmiştir

### 2.3 Nakliye özgü işletme maliyetleri

Alternatifleri nakliye özgü işletme maliyeti bazında sıralayabilmek için her alternatifin uygulanması sonucu oluşacak sabit ve değişken maliyetler hesaplanmıştır. Hesaplamalar sonucu elde edilen sıralama Çizelge 3'de verilmiştir.

Çizelge 3. Nakliye özgü işletme maliyetine göre sıralama.

Alternatif	İşletme Maliyeti (\$/ton)*	Öncelik Sıralama^)
A	13,08	3
B	14,99	2
C	14,28	5
D	12,99	1
E	15,90	4

\*Bu rakamlar rastgele bir katsayı ile değiştirilmiştir

### 2.4 Oluşan net bugünkü değer (NBD)

Nakliye için göz önüne alınan alternatiflerin yatırım süreleri farklı olacağı için, projenin toplam ömrü de farklı olmaktadır. Bu durumda yeraltındaki cevherin toplam net bugünkü değeri, nakit akımları planı farklılığından dolayı farklılık arz etmektedir. Alternatifleri, bu bazda sıralayabilmek için, her alternatifin yatırım süresi hesaplanmış ve buna bağlı olarak da üretim planı belirlenmiş ve bu veriler kullanılarak cevher yatağının her alternatif için yıllık nakit akış çizelgesi hazırlanmıştır. Nakit akış çizelgesinde oluşan değerler %10 faiz oranı kullanılarak net bugünkü değere (NBD) indirgenmiş ve elde edilen sonuçlar Çizelge 4'de verilmiştir.

Çizelge 4 Alternatifler sonucu oluşan NBD'ler.

Alternatif	NBD(S)*	Öncelik Sıralaması(ft)
A	12.718.000	3
B	12.368.000	4
C	10.316.000	5
D	15.242.000	1
E	13.672.000	2

\*Bu rakamlar rastgele bir katsayı ile değiştirilmiştir

## 2.5 Hazırlık faaliyetlerinde kolaylık ve üretimin sürekliliği

Seçilecek nakliye alternatifinin, diğer faaliyetlerde kolaylık sağlayıp sağlayamayacağı veya hangi oranda kolaylık sağlayabileceği kısmen subjektif bir husustur. Ancak, bu çalışmanın araştırmacıları kendi tecrübelerine dayanarak ve işletmedeki uygulamacıların görüşlerini alarak alternatifleri Çizelge 5'deki gibi sıralamışlardır.

Çizelge 5. Hazırlık faaliyetlerinde kolaylık sıralaması.

Alternatif	Öncelik Sıralaması (f5)
A	4
B	3
C	5
D	1
E	2

## 2.6 Rezerve yönelik belirsizlik

Madencilik yatırımlarında yatırım miktarını kontrol eden en önemli parametre rezerv miktardır. Rezerv miktarındaki belirsizlik veya yetersiz bilgi yatırım üzerinde önemli bir risk oluşturmaktadır. Bu çalışma kapsamında alternatif yatırımlar, cevher yatağının -500m katına kadar ineceği varsayımına dayandırılmıştır. Gerçekte rezervin varlığı -31 Om katına kadar tespit edilmiştir. Bu durumda yatırımlar için bir risk sözkonusudur. Sözkonusu bu riskin oranı her alternatif için farklılık göstereceğinden alternatifler düşük risk oranından yüksek risk oranına doğru Çizelge 6'da verildiği gibi sıralanmışlardır.

Çizelge 6. Alternatiflerin riske göre sıralanması

Alternatif	Öncelik Sıralaması (f)
A	3
B	2
C	4
D	1
E	5

## 3 ALTERNATİFLERİN DEĞERLENDİRMESİ VE TARTIŞMA

Bu çalışma kapsamında incelenen alternatiflerin tüm kriterler bazında değerlendirilebilmesi için bir değerlendirme matrisi (değerlendirme sentezi) oluşturulmuştur. Bu matris, her alternatifin kriterlere göre önem sıralamasından meydana gelmiş olup Çizelge 7'de verildiği gibidir:

Çizelge 7'de görülen W (alternatiflerin önemi), her alternatifin sıralamasının toplamından meydana gelmiş olup bu önem için değişik yaklaşımlar sözkonusudur. Sözkonusu matriske göre Alternatif A 4. sırayı almış olmasına karşın, teknik olarak

Çizelge 7. Alternatiflere özgü değer sentezi.

Alternatif	Kriterler						W
	f <sub>1</sub>	f <sub>2</sub>	f <sub>3</sub>	f <sub>4</sub>	f <sub>5</sub>	f <sub>6</sub>	
A	5	3	3	3	4	3	21
B	4	2	2	4	3	2	17
C	2	5	5	5	5	4	26
D	1	1	1	1	1	1	6
E	3	4	4	2	2	5	20

istenen üretime cevap veremeyeceğinden otomatikman değerlendirme dışına çıkarılmıştır. Bu durumda genel öncelikli sıralama aşağıdaki gibi belirlenmiştir:

1. Alternatif D,
2. Alternatif B,
3. Alternatif E,
4. Alternatife

Burada belirlenen sıralamaya rağmen, karar verici merci, gerek alternatiflerin tartımlılıklarını gerekse kriterlere özgü ağırlık farklılıklarını nazarı dikkate alarak değerlendirmeyi genişletebilecektir. Ayrıca, değerlendirmenin sonuçları, işletmede çalışan teknik personelin değerlendirmeye alınmasıyla daha belirgenleşecektir. Kaldığı değerlendirme burada verilen ordinal sıralamadan hareketle oransal bir ölçüme götürülebilenecek özelliktedir.

## 4 SONUÇLAR

Bu çalışma kapsamında mevcut bir yeraltı maden işletmesi için sözkonusu olabilen nakliye alternatifleri hem parasal bir amaç doğrultusunda, hem de "çokkriterli değerlendirme" bazında değerlendirmeye tabi tutulmuştur. Değerlendirmenin akabinde en iyi alternatifin mevcut kuyunun altında kalan cevherin kamyon-nakliyesi ile kuyu tabanına taşınmasında mutabık kalınmıştır.

## TEŞEKKÜR

Bu değerlendirmenin yapılmasına maddi destek sağlayan ve yayınlanmasına müsaade eden DEDEMAN Madencilik A.Ş. yetkililerine, temsilcilerine, Pulpınar Krom İşletmesi personeline ve çalışmada kullanılan VULCAN programı Türkiye temsilciliğine teşekkür ederiz.

## KAYNAKLAR

Batzias, F.A. ve Roumpos, C.P., 2000, Multicriteria choice of a lignite field for mine development and power plant construction, Proc. of the 9th International Symposium on Mine Planning and Equipment Selection: 783-788, Greece.

- Belacel, N., 2000, Multicriteria assignment method PROAFTN: Methodology and medical application, *European Journal of Operation Research*, 125:175-183.
- Beerkircher, G, 1982, "Mine Hoists", Underground mining methods handbook, Editör: W.A.Hustrulid, AIME-SME,;1386-1403.
- Demirci, A. ve Elevli, B., 2001, Kayseri-Pınarbaşı-Pulpınar yeraltı krom işletmesi alternatif nakliye sistemlerinin ekonomik ve teknik etüdü, Dedeman Madencilik Turizm Sanayii ve Ticaret A.Ş.(Yayınlanmamış Rapor)
- Demirci, A., 1982, Yeraltı maden işletmelerinde kazı yöntemlerinin seçimi, *Madencilik Dergisi*, Cilt XXI, No:1-2:5-19.
- Harmon, J.H., 1973, "Hoists and hoisting systems". Mining Engineering Handbook, Editör A.B. Cummins, AİME-SME;NewYork: 15.2-15.69.
- Nutt, P.C.,2000, Context, tactics and the examination of alternatives during strategic decision making, *European Journal of Operation Research*, 124:159-186.
- Saltoğlu, S., 1976, Madenlerde hazırlık ve kazı işleri, İTÜ Yayın no:1062, İstanbul.
- Wolters, W.T.M. ve Maréchal, B., 1995, Novel types of sensitivity analysis for additive MCDM methods, *European Journal of Operation Research*, 281-290.





## 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 bilimadamı 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 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 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)

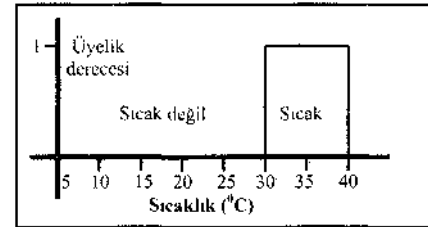
Maden planlama mühendisleri karar aşamasında kendi inisiyatif ve tecrübelerini çok sık kullanırlar. Çoğunlukla probleme etki eden dilsel değişkenler (zayıf kaya, masif boyutlu cevher, uniform tenotlu cevher vb) söz konusudur. Karar verici bu değişkenleri hesaba nasıl katacağını tam olarak bilemez. Bu 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 ilgilidir. Örneğin, yaşlı insan, yüksek sıcaklık, küçük sayı vb.

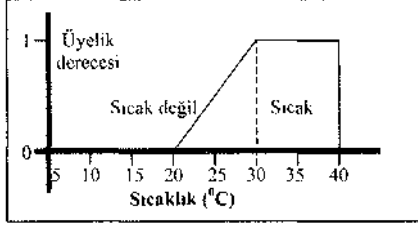
Bulanık mantık, güvenilir olmayan veriler, eksik ölçümler ve belirsiz tanımlarla karakterize edilen birçok problemin araştırılmasında uygun bir metodolojidir. İlk defa Lotfi Zadeh (1965) tarafından ortaya atılan bulanık kümeler kuramının amacı belirsizlik ifade eden, tanımlaması güç veya anlamı zor kavramlara 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

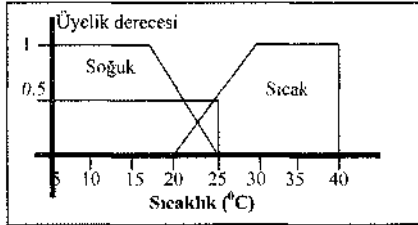
Tam tersine, olayların belli bir esneklikte olması istenir. Bulanık mantık soğuk-sıcak, hızlı-yavaş, yüksek-alçak gibi ikili değişkenlerden oluşan keskin dünyayı, az soğuk-az sıcak, az yüksek-az alçak gibi esnek niteliyicilerle yumuşatarak gerçek dünyaya benzeter. Şekil 2, sıcaklık gibi değişkenleri, 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° l'e karşı düşen maksimumdan, 20° 0'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.

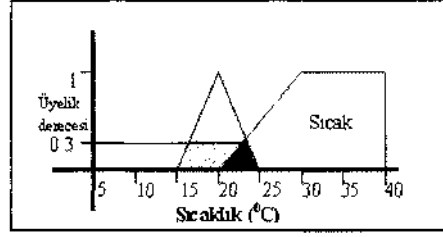
Şekil 3'te ise bulanık mantık teorisinin bir adım daha ileri saflası gösterilmektedir. Şekil 3'ten de anlaşılacağı gibi, sıcak bulanık küme üyelik derecesi, 0.5'de soğuk bulanık küme üyeliği kimliğini kazanır. Soğuk bulanık küme üyeliğinin derecesi, sıcaklık azaldığında artar. Buna göre 0'dan 15° ye 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 çözmede 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'in 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 C<sub>1</sub> ve C<sub>2</sub> 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),  $fio(A) = 0.63/A_j$  olarak bulunur.

## 5 YENİKÖY LİNYİT SAHASI İÇİN OPTİMUM YERALTI ÜRETİM YÖNTEMİNİN BELİRLENMESİ

Bu çalışma, İstanbul'un 30 km kuzeyinde yeralan 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 bulunuşu, 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 <sup>2</sup> )
Kömür damarı -yantaş kontakt durumu	Belirgin değil
Tavan taşının sağlamlık derecesi	Tavan taşı kil, düşük dayammlı kaya (kayma dayanımı 2.2 kg/cm <sup>2</sup> )
Taban taşının sağlamlık derecesi	Taban taşı kil, düşük dayammlı (kayma dayanımı 2.2 kg/cm <sup>2</sup> )
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 <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

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 A<sub>3</sub> en iyisidir.
- » Kömürün sağlamlık derecesine göre A5 en iyi yöntemdir.
- » Tavan taşının sağlamlık derecesi açısından A5 en iyisidir.
- Taban taşının sağlamlık derecesine göre A<sub>3</sub> 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 <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	1/7	5	7	7	5	5	3	3	7	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	7
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.

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, / *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 S13*, p. 199-249.



## Patlatma Kaynaklı Yer Sarsıntısı ve Hava Şoku Ölçümlerinin Değerlendirilmesi İçin Geliştirilen Bir Bilgisayar Programı

E. Arpaz & A. Ceylanoğlu

Cumhuriyet Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Sivas, Türkiye

**ÖZET:** Günümüzde patlayıcı madde üreticileri ve kullanıcıları patlatmanın çevresel etkilerini belirlemek ve kontrol edebilmek için patlatma kaynaklı yer titreşim bileşenlerini izlemekte ve değerlendirmektedir. Bu çalışmada, öncelikle literatürdeki 12 değişik tepe parçacık hızı tahmin yöntemi ve 9 farklı hasar ölçütü verilmiştir. Daha sonra açık işletmelerdeki patlatma kaynaklı yer sarsıntısı ölçümlerinin, önceki çalışmaları dikkate alarak hızlı ve güvenilir bir şekilde değerlendirilebilmesi amacıyla geliştirilen Yersars adlı bilgisayar programı tanıtılmıştır.

**ABSTRACT:** Explosive manufacturers and users monitor the ground vibration components induced by blasting and evaluate the results to determine and control the environmental effects of blasting. In this study, first of all 12 different peak particle velocity estimation methods and 9 different damage criteria in the literature were given. Then, a computer program named Yersars was introduced which was developed for the fast and reliable evaluation of blast induced ground vibration measurements in open-pit mines considering previous studies.

### 1 GİRİŞ

Patlatma kaynaklı çevresel etkiler, işletmelerin başlangıç ve üretim aşamalarında işletmecilere büyük sorunlar çıkarmakta ve yörede yaşayan halkın haklı veya haksız şikayetlerine neden olmaktadır. Günümüzde açık işletmelerde patlatma sonrası oluşan yer titreşimlerinin ölçülüp değerlendirilmesiyle kontrollü patlatma tasarımları yapılmaktadır. Bu değerlendirmelerin literatürdeki bilgileri de dikkate alarak hızlı ve güvenilir bir şekilde yapılması büyük önem taşımaktadır.

Bu çalışmada, patlatma kaynaklı yer sarsıntısı ölçümlerinin değerlendirilmesine yönelik olarak Microsoft-Excel 7.0 paket programı kullanılarak geliştirilen Yersars adlı bir bilgisayar programı tanıtılmış ve örnek bir uygulama gösterilmiştir.

### 2 LİTERATÜRDEKİ MAKSİMUM PARÇACIK HIZI TAHMİNLERİ

Patlatmadan kaynaklanan yer sarsıntılarının önceden tahminine yönelik birçok kişi ve kuruluş çeşitli

araştırmalar yapmış ve maksimum parçacık hızının ölçekli mesafeye bağlı tahmini literatürün çoğunda kabul görmüştür(Ceylanoğlu & Arpaz 2000). Maksimum parçacık hızının tahminine yönelik yapılan bazı çalışmaların sonuçları (Gupta vd. 1988) kronolojik olarak aşağıda verilmektedir,

i. Ambraseys ve Hendron (1968)

$$PPV = K*(R/W^0 \text{ ''/}$$

ii. Nicholls, Johnson ve Duvall(1971 )

$$PPV = K*(R/W^0 \text{ }^5)^P$$

iii. Langefors ve Kihlström (1973)

$$PPV = K*[(W/R^1 \text{ }^5)^0 \text{ }^5]^1$$

iv. Hindistan Standartları Enst.(1973)

$$PPV = K*[(W^0 \text{ }^67/R)^0]$$

v. Davies vd., (1964), Attewell

vd., (1965), Shoop ve Daemen (1983), Birch ve Chaffer (1983)

$$PPV = K*R^a*W^b$$

vi. Ghosh ve Daemen (1983)

$$PPV = K*(R/W^0 \text{ }^5)^P * e^{-aR}$$

vii. Ghosh ve Daemen (1983)

$$PPV = K*(R/W^0 \text{ }^33)^P * e^{-aR}$$

viii. Gupta vd. (1987)

$$PPV = K * [(W/R^{1.5})^{0.5}]^{\beta} * e^{-\alpha K}$$

ix. Gupta vd. (1987)

$$PPV = K * (W^{0.67}/R)^{\beta} * e^{-\alpha R}$$

x. Gupta vd. (1988)

$$PPV = K * (R/W^{0.5})^{-\beta} * e^{-\alpha(R/W)}$$

xi. CMSR (Roy, P.P., 1991)

$$PPV = n + K * (R/W^{0.5})^{-1}$$

xii. Bilgin vd. (1998)

$$PPV = K * (R/W^{0.5})^{\alpha} * B^{\beta}$$

Burada;

PPV: Mak. parçacık hızı (mm/sn)

B: Dilim kalınlığı (m)

R : Patlatma noktasından uzaklık (m)

W: Gecikme başına maksimum patlayıcı madde miktarı (kg)

K, B, a, n: Saha sabitleri

$e^{-\alpha R}$ : İnelastik seyrelme faktörü

$e^{-\alpha(R/W)}$ : j<sub>ne</sub>, j<sub>asi</sub>, j<sub>k</sub> önme faktörü

### 3 PATLATMA HASAR KRİTERLERİ

Yaklaşık 60 yıldır, çeşitli araştırmacılar tarafından geliştirilen patlatma hasar kriterleri değişik başarı dereceleriyle uygulanagelmıştır (Arpaz 2000). Bu kriterler kronolojik olarak aşağıda özetlenmektedir.

#### i. Rockwell'in enerji formülü

1934 yılında Rockwell patlatma sonucu meydana gelen titreşim enerjisinin fA<sup>2</sup> ile orantılı olduğunu belirtmiştir. Burada f: frekans, A: Genliği ifade etmektedir.

#### ii. USBM'nin formülü

1942 yılında Birleşik Devletler Maden Bürosu (USBM), şarj miktarını, zemin karakteristiklerini ve uzaklığın etkilerini birlikte ele alarak aşağıdaki formülü geliştirmiştir (Thoenen & Windes 1942).

$$A = \frac{C^{\frac{2}{3}}}{100} (0.07 e^{-0.0143d} + 0.001)$$

Burada;

A : Yer sarsıntısının genliği (in)

C : Şarj miktarı (lb)

d : Uzaklık (feet)

Bu formülün kullanılabilmesi için beklenen yer sarsıntısına uygun frekansın ve örtü tabakalarının derinliğine bağlı bir zemin faktörünün tahmin edilmesi gerekmektedir.

#### iii. Crandell "m enerji oram formülü

1949 yılında Crandell "Enerji Oram" yaklaşımını geliştirmiştir. Enerji oranına bağlı olarak hasar kriterleri Çizelge 1'de verilmiştir.

$$ER = a^2/f^2$$

ER : Enerji oram

a : İvme

f: Frekans

Çizelge 1. Crandell'in enerji oranına bağlı hasar kriteri.

Enerji Oranı	Hasar Tahmini
< 3.0	Hasar yok
3.0-6.0	Uyarı
> 6.0	Hasar var

1949 - 1960 yılları arasında hasar kriterleri, deplasman, ivme ve parçacık hızı parametreleriyle ilişkilendirilmeye başlanmıştır.

#### iv. Langefors, Kihhröm ve Westerberg'in yaklaşımı

Langefors vd.'nin (1948) parçacık hızı ve yapı hasar gözlemine dayalı kriteri Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 2. Langefors ve arkadaşlarının parçacık hızını esas alan hasar kriteri.

Parçacık Hızı (in/sn)	Hasar Tahmini
<2.8	Hasar yok
4.3	İnce çatlaklar, sıva dökülmesi
6.3	Taş duvarlarda ve sıvalarda çatlama
>9.1	Ciddi boyutlu çatlama

#### v. Edwards ve Northwood'un parçacık hızı yaklaşımı

Edwards ve Northwood'un (1959) Kanada'da yaptıkları araştırmalar ışığında parçacık hızına bağlı hasar tahminleri Çizelge 3'de verilmiştir.

Çizelge 3. Edwards ve northwood'un parçacık hızını esas alan yaklaşımı.

Parçacık Hızı (in/sn)	Hasar Tahmini
< 2	Hasar yok
2 - 4	Uyan düzeyinde
> 4	Hasar çok

#### vi. USBM'nin yaklaşımı

1971'de Birleşik Devletler Maden Bürosu'nun yaptığı daha kapsamlı araştırmalar sonucu parçacık hızına bağlı hasar tahmini Çizelge 4'de verilmiştir (Nichollsvd. 1971).

Parçacık Hızı (in/sn)	Hasar Tahmini
<2	Hasar yok
2 - 4	Sivada çatlaklar
4 - 7	Hasar başlangıcı
>7	Yapıda aşırı hasarlar

#### vii. Bauer ve Calder'in yaklaşımı

Bauer ve Calder'in (1977) çeşitli ekipman ve muhtelif yapı türleri için parçacık hızına bağlı hasar tahmini Çizelge 5'de verilmiştir.

Yapı Türü	Hasar Tanımı	Hasarın Başladığı Parçacık Hızı (in/sn)
Evler	Sivada çatlaklar	2
Yeni bir binadaki beton kolonlar	Kolonda çatlaklar	8
Muhafaza bonitü sondaj delikleri	Yatay bükülmeler	15
Mekanik ekipman; pompalar, kompresörler	Şaft eğilmeleri	40
Beton temel üzerine inşa edilmiş prefabrik çelik yapılar	Temel çatlakları, binada bükülme ve çatlaklar	60

#### viii. USBM'nin son patlatma hasar tahmini

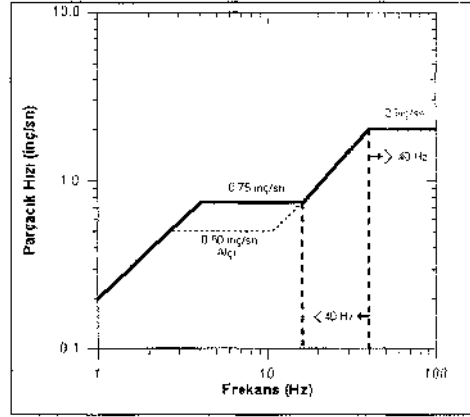
Birleşik Devletler Madencilik Bürosu, açık ocak patlatmalarından kaynaklanan yer sarsıntısının yapılara olan etkisi ve zararlarıyla ilgili 1980'de Siskind ve arkadaşlarına 219 üretim atımının 79 evdeki etkisini belirlemeye yönelik bir çalışma yaptırarak sonuçlarını yayımlamıştır (USBM RI 8507 Bülteni). Bu çalışmada, sadece parçacık hızlarının değil, frekansların da hasar oluşumunda etkili olduğu vurgulanmaktadır. USBM RI 8507 raporunda belirtilen sonuçlar aşağıda verilmektedir.

1. Parçacık hızı hala en iyi yer titreşimini tanımlama ve kontrol aracıdır.
2. Parçacık hızı, titreşime karşı tepki özellikleri iyi tanımlanmış bir yapı grubu için tahribat potansiyelini açıklayabilecek en pratik kontrol aracıdır.
3. Patlatmacı bütün atımları titreşim cihazı ile izleme yükümlülüğünü almamak için, muhafazakar bir yaklaşımla, ölçekli uzaklığın kareköklü uygulamasını seçer (R/W). Bu tip ölçekli uzaklıkta titreşim seviyeleri 0.08-0.15 in/sn (2-3.8 mm/sn) civarında olmaktadır.

4. Düşük frekanslı (<40 Hz) patlatmalarda zarar veren potansiyeli yüksek frekanslı (>40 Hz) patlatmalarda sözkonusu olan potansiyelden daha fazladır.
  5. Bina inşaat tipleri, minimum beklenen zarar seviyesine etki eden bir faktördür. Alçı panellerden oluşan (kuru duvar) iç duvarlar, eski tahta kalas üzeri sıva kaplamalı duvarlara göre titreşim zararına karşı daha dayanıklıdır.
  6. Pratik olarak düşük frekanslı yer titreşimleri yaratan patlatmalar için emniyet sınırı; modern alçı pano duvarlı evler için 0.75 in/sn (19 mm/sn), tahta kalas üzeri sıva duvarlı evler için 0.50 in/sn (12.7 mm/sn)'dir. 40 Hz üzeri frekanslarda tüm evler için emniyetli parçacık hızı, maksimum 2.0 in/sn (51 mm/sn) olarak tavsiye edilir.
  7. Bütün evlerde; zamanla çeşitli çevresel basınçlardan, havadaki sıcaklık ve nem değişimlerinden, taban yerleşimlerinden doğan oturmalarından, yerdeki nem değişimlerinden, rüzgardan ve hatta ağaç köklerinin su emmesinden dolayı çatlaklar oluşur. Bunların sonucu olarak çatlak meydana geldiği (herhangi bir nedenden dolayı, örneğin kapıyı hızlı çarpmak) durumlarda; mutlak bir minimum titreşim limit değeri olmayabilir.
  8. 0.50 in/sn (12.7 mm/sn) altında maksimum parçacık hızı oluşturan patlatmalarda zarar verme şansı; sadece çok az değil (en kötü durumda %5) aynı zamanda titreşim seviyelerinin bütün aralıkları için dikey ekseninde ortalama tahmin değerlerinden daha hızlı bir şekilde düşer.
- Ayrıca USBM tarafından hem yapılarda ölçülmüş titreşim katlamalarını, hem de tahribat özelliklerini kullanan, alternatif olarak tavsiye edilen patlatma seviyesi kriterleri geliştirilmiştir. "Alternatif Kriter Analizi" olarak adlandırılan bu metod, daha uygun bir değerlendirme yöntemidir (Şekil 1). Fakat hem hareketi hem de hızı içine alan daha sıkı bir ölçüme ihtiyaç gösterir. Bu sistem; 40 Hz altında en iyi tahribat ölçütünün, frekansın bir fonksiyonu olarak maksimum parçacık hızı olduğunu göstermektedir.

#### zT. OSM'nin halen geçerli olan kuralları

ABD Açık Ocak Madencilik Bürosu (OSM), yer titreşimi ve hava şokunu kontrol altına almak için patlayıcı maddelerin nasıl kullanılmasını gerektiği konusundaki son raporunu 8 Mart 1983 tarihinde yayınlamıştır. Bu kurallar patlatma etkinliklerinin kontrolü konusundaki yegane kurallardır ve açık ocak kömür madenciliğinde uygulanmaktadır (Foster 1983).



Şekil 1. USBM'nin alternatif kriter analizi.

OSM kuralları; patlatma sorumlusuna, aşağıdaki üç yöntemden birini kullanmasını tavsiye etmektedir.

### 1. Yöntem : Parçacık hızı ölçütünün sınırlanması

Patlatma sorumlusu; atımı, Çizelge 6'da gösterilen patlatma noktası ile ölçüm noktası arasındaki uzaklığa bağlı ölçekli mesafe tasarım faktörlerine uygun düzenlemelidir. Ölçekli mesafe faktörleri, uzaklıkla değişerek, maksimum parçacık hızlarının sınırlarını değiştirmektedir. Bu yöntemde, Çizelge 6'daki OSM ölçekli mesafe faktörleri uygulandığı sürece, sismik kayıt almaya ihtiyaç duyulmamaktadır.

Çizelge 6. Uzaklığa bağlı müsaade edilen ölçekli mesafe faktörleri (OSM,1983).

Patlatma Noktasından Uzaklık		Sismik izleme Yapılmadan Kullanılacak Ölçekli Mesafe Faktörü
(ft)	(m)	(SD)
0 - 300	0-90	50
301-5000	91-1500	55
>5001	>1500	65

### 2. Yöntem: Ölçekli uzaklık denklemi ölçütü

Her patlatmanın, maksimum parçacık hızını izleyebilecek yeterlikte bir titreşim ölçer tarafından izlenmesi gerekmektedir. Maksimum parçacık hızı Çizelge 7'de gösterilen seviyelerin altında kaldığı müddetçe kullanıcı kurallara uymaktadır. Her gecikme için patlayıcı madde miktarını hesaplamada izin verilen değerler; çok sıkı bir biçimde ölçekli mesafe faktörüyle sınırlanmamıştır. Böylelikle kullanıcı daha büyük atımlar tasarlayabilir, daha büyük çapta delik açabilir ve daha büyük basamak veya daha geniş delik düzeni kullanabilir. Eğer

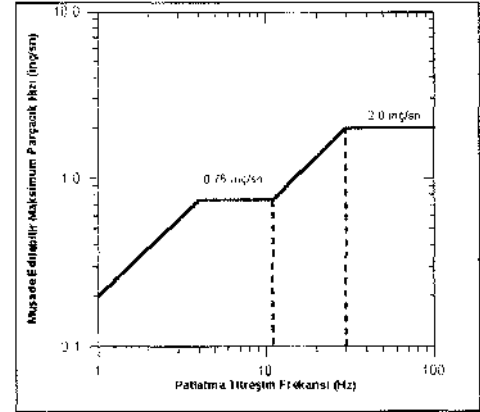
patlatma sonucunda aşağıda belirtilen uzaklıklar için öngörülen titreşim seviyesi aşırsa, OSM'nin öngördüğü ceza uygulanır. Patlatma noktasının en yakın yapıya mesafesi arttıkça, izin verilen hız artmaktadır. Bu durum uzak mesafelerde parçacık hızından daha çok baskın olan düşük frekansların zarar verme potansiyeline sahip olmasından kaynaklanmaktadır.

Çizelge 7. Uzaklığa bağlı müsaade edilen maksimum parçacık hızları (OSM, 1983).

Uzaklık		Maksimum Parçacık Hızı	
ft	m	in/sn	mm/sn
0 - 300	0 - 90	1.25	31.75
301 - 5000	91 - 1500	1.00	25.40
>5001	>1500	0.75	19.05

### 3. Yöntem: Patlatma seviyesi grafiği ölçütü

Patlatma sorumlusunun frekansla birlikte değişen parçacık hızı seviyelerini (Şekil 2) kullanmasına izin verilir. Bu yöntemde, patlatmadan kaynaklanan yer titreşimi dalga frekanslarının analizinin ve her atımın parçacık hızı ölçümlerinin yapılması gerekmektedir.



Şekil 2. OSM'nin alternatif kriter analizi.

Baskın frekansları bulmak için, dalga şekli analiz edilmekte ve bu frekanslara gelen parçacık hızları belirlenmektedir. Bir çok durumda, her bir frekansın şiddetini analiz etmek için elektronik cihazlara ve yetenekli bir sismolog tarafından yapılması gereken sayısal analizlere ihtiyaç bulunmaktadır. Bu yöntemin, patlatmalardan kaynaklanan meskun binalara ve hatta insanlara yönelik potansiyel zararları değerlendirmede en iyi yöntem olduğu belirtilmektedir. OSM kurallarındaki bu yöntem, USBM tarafından tavsiye edilen yöntemden

farklıdır. Şekil 2'deki grafik çizgisinin herhangi bir yerinde; altında kalan, belirli bir baskın frekansa karşılık gelen herhangi bir parçacık hızı emniyetli kabul edilmektedir. Grafik çizgisinin herhangi bir kesiminin yukarısında kalan değerler, bina tahribatı ve insanlara zarar verme riskini arttırmaktadır.

#### 4 YERSARS PROGRAMI

Açık işletmelerdeki patlatma kaynaklı yer sarsıntısı ölçümlerinin gerek değerlendirilmesine gerekse bu ölçümleri dikkate alarak kontrollü patlatma tasarımlarının yapılmasına yönelik olarak Microsoft-Excel 7.0 paket programı kullanılarak Yersars adlı bir bilgisayar programı geliştirilmiştir. Şekil 3'de genel yapısı verilen program 5 bölüm halinde oluşturulmuştur. Divriği Demir Açık İşletmesi'nde gerçekleştirilen yer sarsıntısı ölçümleri (Ceylanoğlu & Arpaz, 2000, Arpaz, 2000) kullanılarak örnek bir uygulama gösterilmiştir.

##### *i. Veri girişi*

Program içerisinde kullanılacak verilerin girildiği bölümdür. Bu bölümde verilerin girişi üç aşamalı olarak gerçekleştirilmektedir. Birinci aşamada; ölçüm yapılan işletmeye ait bilgiler (İşletmenin adı, lokasyon, atımın yeri ve kotu, ölçüm yeri, yönü ve kotu), ikinci aşamada; patlatma tasarımına yönelik veriler (Dilim kalınlığı ve tasarıma esas alınacak yön ve uzaklık), üçüncü aşamada ise yer sarsıntısı ve hava şoku ölçüm sonuçları (Atım no, gecikme başına maksimum patlayıcı madde miktarı, ölçüm mesafesi, dilim kalınlığı, titreşim ölçer cihazından RS232 kanalı ile yada elle parçacık hızı bileşenleri (enine, boyuna, düşey ve bileşke), bileşenlerin frekansları, hava şoku ve frekansı) girilmektedir (Şekil 4).

##### *//. Hasar ölçütlerine göre değerlendirme*

Yer sarsıntısı ve hava şoku değerlerinin, aşağıda verilen bazı önemli hasar ölçütlerine göre ölçüm yapılan yerde hasar oluşturup oluşturmayacağı bu bölümde belirlenmekte ve herbir atım için sonuçlar listelenmektedir (Şekil 5).

- Langefors vd. (1957)
- Edwards ve Northwood (1959)
- USBM (1971)
- Bauer ve Calder (1977)
- USBM Alternatif Kriter Analizi (1980)
- OSM Alternatif Kriter Analizi (1983)
- Hava Şoku Hasar Kriteri (Ladegaard-Pedersen ve Daily, 1975)

##### *///. Regresyon analizi*

Yer sarsıntısı ölçüm sonuçları kullanılarak literatürdeki parçacık hızı tahmin metodlarına göre regresyon analizlerinin yapıldığı bölümdür. Burada; parçacık hızı bileşenleri (enine, boyuna, düşey, bileşke ve maksimum) ve hava şoku değerleri literatürdeki parçacık hızı tahmin metodlarına göre ayrı ayrı değerlendirilerek herbiri (PPVT, PPVV, PPVL, PVS, PPV ve PSPL) için 12 adet ilişki ve korelasyon katsayıları bulunmaktadır (Şekil 6).

##### *iv. Uzaklığa bağlı ahak hazırlama*

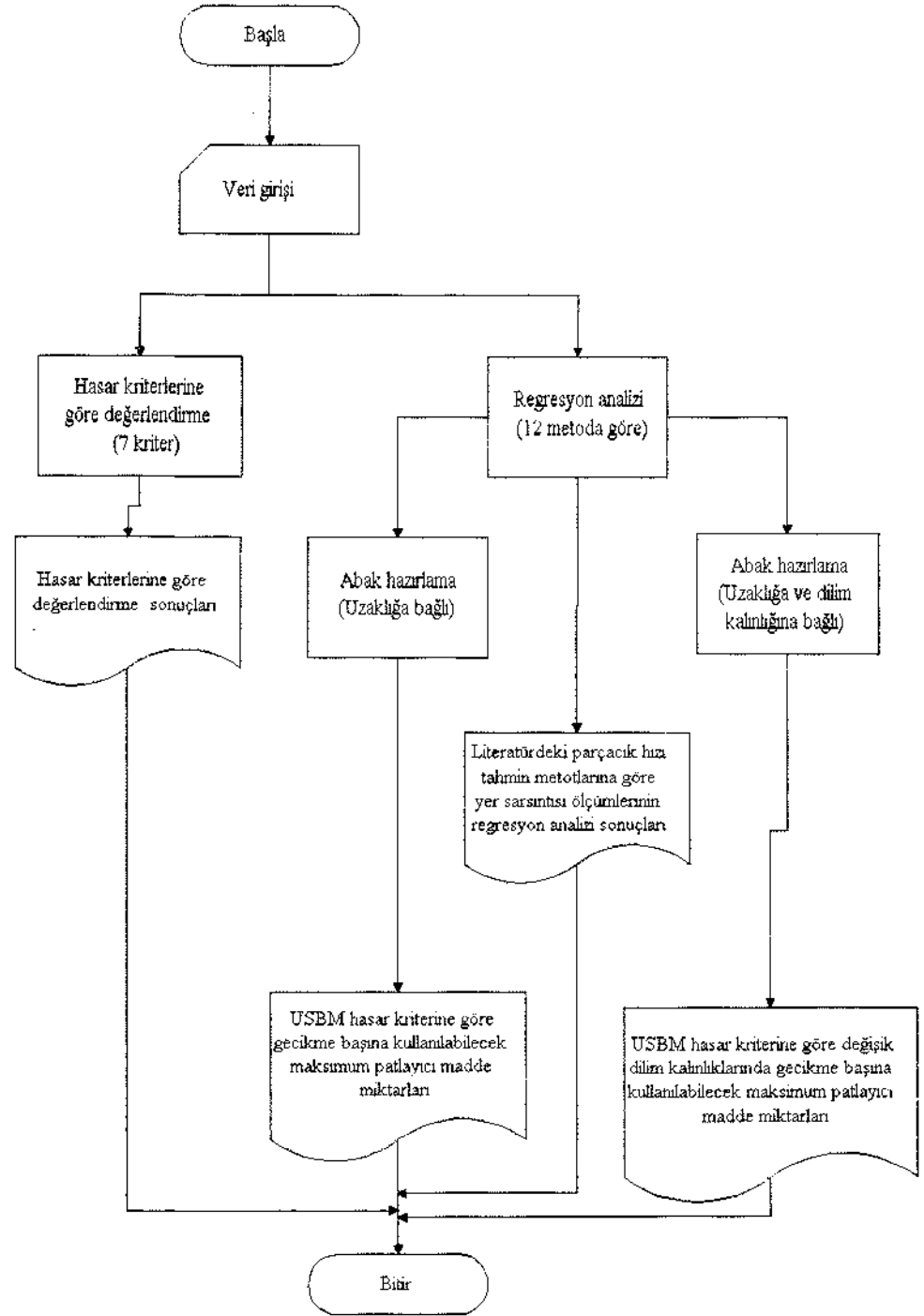
Regresyon analizi bölümünde belirlenen denklemlerden istenilen kullanılarak seçilen herhangi bir uzaklık için müsaade edilebilir tepe parçacık hızı ve hava şoku değerlerine göre gecikme başına kullanılacak maksimum patlayıcı madde miktarları (minimum, ortalama, maksimum) bulunmaktadır. Burada, müsaade edilebilir parçacık hızı değerleri; parçacık hızı bileşeninin frekans değerlerine (minimum, ortalama ve maksimum) bağlı olarak USBM hasar kriterindeki sınırlar kullanılarak hesaplanmaktadır. Gecikme başına kullanılacak maksimum patlayıcı madde miktarları, literatürdeki parçacık hızı tahmin metodlarına göre ayrı ayrı hesaplanmakta ve herbir tahmin yöntemi için minimum, ortalama ve maksimum değerleri verilmektedir (Şekil 7).

##### *v. Uzaklığa ve Dilim Kalınlığına Bağlı A bak Hazırlama*

Regresyon analizi bölümünde belirlenen 12 No'lu denklem kullanılarak (Bu eşitlikte dilim kalınlığının da bulunması nedeniyle) seçilen herhangi bir uzaklık için daha önceki bölümde olduğu gibi gecikme basma kullanılacak maksimum patlayıcı madde miktarları belirlenmektedir. Ek olarak değişik dilim kalınlıkları (Seçilen dilim kalınlığı %2 arttırılmakta (5 kere) ve azaltılmaktadır (5 kere)) için bu hesaplamalar yapılabilmektedir (Şekil 8). Girilen delikler arası / dilim kalınlığı oranı kullanılarak hesaplanan delikler arası mesafe değerleri de verilmektedir.

#### 5 SONUÇ

Geliştirilen Yersars adlı bilgisayar programı, patlatma kaynaklı yer sarsıntısı ölçümlerini literatürdeki parçacık hızı tahminlerini ve hasar kriterlerini dikkate alarak değerlendirmektedir. Daha hızlı ve güvenilir bir şekilde bu değerlendirmelerin yapılması işletmelerin daha kontrollü patlatma tasarımlarını sağlayabilecektir.



Şekil 3. Yersars programının genel yapısı.

**Yersars Programı Veri Giriş Ekranı**

**1. BAZI VERİLER**

İşletmenin Adı: Divriği Demir Açık İşletmesi  
 Adres: A-Kafa  
 Alan Yarı ve Kotu: Tümü Veriler  
 Ölçüm Yarı ve Kotu: Alan Arkası

**2. PARÇACIK HIZI (PPV)**

Yerleşim Yeri: 750  
 Yersars Programı: 1.00  
 Yersars Programı: 1.00

**3. PARÇACIK HIZI (PPV) DEĞERLERİ**

Metod No	Yarı	Kotu	Yarı	Kotu	Yarı	Kotu	Yarı	Kotu
1	100	100	100	100	100	100	100	100
2	100	100	100	100	100	100	100	100
3	100	100	100	100	100	100	100	100
4	100	100	100	100	100	100	100	100
5	100	100	100	100	100	100	100	100
6	100	100	100	100	100	100	100	100
7	100	100	100	100	100	100	100	100
8	100	100	100	100	100	100	100	100
9	100	100	100	100	100	100	100	100
10	100	100	100	100	100	100	100	100
11	100	100	100	100	100	100	100	100
12	100	100	100	100	100	100	100	100

Şekil 4. Yersars programının veri giriş bölümü.

**Yersars Programı Hasar Sınıflandırma Ekranı**

Metod No	Yarı	Kotu	Yarı	Kotu	Yarı	Kotu	Yarı	Kotu
1	100	100	100	100	100	100	100	100
2	100	100	100	100	100	100	100	100
3	100	100	100	100	100	100	100	100
4	100	100	100	100	100	100	100	100
5	100	100	100	100	100	100	100	100
6	100	100	100	100	100	100	100	100
7	100	100	100	100	100	100	100	100
8	100	100	100	100	100	100	100	100
9	100	100	100	100	100	100	100	100
10	100	100	100	100	100	100	100	100
11	100	100	100	100	100	100	100	100
12	100	100	100	100	100	100	100	100

Şekil 5. Yersars programının hasar sınıflarına göre değerlendirme bölümü

Diğer yandan, literatürdeki parçacık hızı tahmini ilişkilerinin; dilim kalınlığı, özgül şarj, delikler arası mesafe, şarj boyu, sıkılama boyu gibi patlatma parametrelerini de dikkate alarak geliştirilmesi (ilişkilerin korelasyon katsayılarının yükseltilmesi) ve programa eklenmesi daha güvenilir patlatma tasarımları yapılmasını sağlayacaktır.

**KAYNAKLAR**

Arpaz, E. 2000. Türkiye'deki bazı açık işletmelerde patlatmadan kaynaklanan titreşimlerin izlenmesi ve değerlendirilmesi, *C.Ü. Fen Bil. Enst. Doktora Tezi*, 230 s., Sivas.

Attewell, P.B., Farmer, I.W., Haslam, D. 1965. Prediction of ground vibration parameters from major quarry blasts, *Mining and Minerals Eng.*, December, pp. 621-626.

Bauer, A., Calder, P.N. 1977. Pit slope manual, Chapter 7, *Canmet Report 11A A*

**Yersars Programı Regresyon Analizi Ekranı**

Metod No	Yarı	Kotu	Yarı	Kotu	Yarı	Kotu	Yarı	Kotu
1	100	100	100	100	100	100	100	100
2	100	100	100	100	100	100	100	100
3	100	100	100	100	100	100	100	100
4	100	100	100	100	100	100	100	100
5	100	100	100	100	100	100	100	100
6	100	100	100	100	100	100	100	100
7	100	100	100	100	100	100	100	100
8	100	100	100	100	100	100	100	100
9	100	100	100	100	100	100	100	100
10	100	100	100	100	100	100	100	100
11	100	100	100	100	100	100	100	100
12	100	100	100	100	100	100	100	100

Şekil 6. Yersars programının regresyon analizi bölümü.

**Yersars Programı u/akhga Bağlı Abak Ha/irlama Ekranı**

Metod No	Yarı	Kotu	Yarı	Kotu	Yarı	Kotu	Yarı	Kotu
1	100	100	100	100	100	100	100	100
2	100	100	100	100	100	100	100	100
3	100	100	100	100	100	100	100	100
4	100	100	100	100	100	100	100	100
5	100	100	100	100	100	100	100	100
6	100	100	100	100	100	100	100	100
7	100	100	100	100	100	100	100	100
8	100	100	100	100	100	100	100	100
9	100	100	100	100	100	100	100	100
10	100	100	100	100	100	100	100	100
11	100	100	100	100	100	100	100	100
12	100	100	100	100	100	100	100	100

Şekil 7. Yersars programının u/akhga bağlı abak ha/irlama bölümü.

1	A	B	Gecikme Başına Maksimum Patlayıcı Madde Miktarı (W, kg)		
			Tepe Patlayıcı Hızı (PPV, mm/sn)		
			Minimum (19,05)	Ortalama (19,05)	Maksimum (30,48)
2	Dilim Kalınlığı (E, m)	Delikler Arası Mesafe (S, m)			
3					
4					
5	2,7	3,375	1239,03	1239,03	1877,21
6	2,76	3,45	1238,07	1238,07	1875,76
7	2,82	3,525	1237,14	1237,14	1874,35
8	2,88	3,6	1236,22	1236,22	1872,96
9	2,94	3,675	1235,33	1235,33	1871,61
10	3	3,75	1234,45	1234,45	1870,28
11	3,06	3,825	1233,59	1233,59	1868,98
12	3,12	3,9	1232,75	1232,75	1867,71
13	3,18	3,975	1231,93	1231,93	1866,46
14	3,24	4,05	1231,12	1231,12	1865,23
15	3,3	4,125	1230,33	1230,33	1864,03

Şekil 8 «eisat» programının uzaklığa \e dilim kalınlığına bağlı abak hazırlama bölümü.

Bilgin, A., Esen, S., Kılıç, M. 1998. TKİ Çan Linyit İşletmesinde patlatmaların yol açtığı çevre sorunlarının giderilmesi için araştırma, Nihai Rapor, *TKİ Genel Müdürlüğü*, Ankara.

Birch, W.J. & Chaffer, R. 1983. Prediction of ground vibration from blasting on opencast sites, *Trans. Inst. Min. Metall. (Sec. A: Mining Industry)*, April.

Ceylanoğlu, A. ve Arpaz, E. 2000. Divriği Demir ve Kangal Kömür Açık İşletmelerinde patlatma kaynaklı yer sarsıntısı ve hava şoku ölçümlerinin sonuçları, *4. Delme ve Patlatma Sempozyumu*, (18-19 Nisan): 135-145, Ankara.

Crandell, F.I. 1949. Ground vibration due to blasting and its effect upon structures, *Reprinted from Journal of Boston Society of Civil Engineers*.

Davies, B., Farmer, I.W. & Attewell, P.B. 1964. Ground vibration from shallow sub-surface blasts, *The Engineer* ol. 217, pp. 553-559, London.

Edwards, A.T. & Northwood, T.D. 1959;. Experimental blasting studies, *National Research Council*, Ottawa, Kanada.

Foster, G.A. 1983. OSM's New blasting regulations: A More Reasonable Interpretation, *Stone News*.

Ghosh, A. & Daemen, J.J.K. 1983. A simple new blast vibration predictor (Based on Wave Propagation Laws), *24<sup>th</sup> U.S. Symp. on Rock Mechanics*, June, pp. 151-161.

Gupta, R.N., Roy, P.,P. & Singh, B. 1988. On a blast induced blast vibration predictor for efficient blasting. *Proceedings of the 22<sup>nd</sup> International Conference on Safety in Mines*, 1015-1021.Beijing, China.

Gupta, R.N., Roy, P.P., Bagachi, A. & Singh, B. 1987. Dynamic effects in various rock mass and their predictions. *Mines, Met. Fuels*, pp. 455-462.

I.S.I. 1973. Criteria for safety and design of structures subjected to underground blast, *Indian Standart*, ISI Bulletin No: IS-6922.

Langefots, U., Kiiilström, B. & Westerberg, H. 1948. Ground Vibrations in Blasting, *VJater Power*.

Langefors, U. & Kiiilström, B.. 1973. Rock Blasting, *John Wiley and Sons*, New York.

Nreholls, H.R., Johnson, C.F. & Duvall, W.I. 1971. Blasting vibrations and their effects on structures, *United States Department of Interior, USBM, Bulletin 656*.

Rockwell, E.H. 1934. Vibrations caused by blasting and their effect on structures, Wilmington, *DE: Hercules Powder Co.*

Roy, P.P. 1991. Vibration control in an opencast mine based on improved blast vibration predictors, *Mining Science and Technology*, 12(1991): pp. 157-165.

Shoop, S.A. & Daemen, J.J.K. 1983. Site-specific predictions of ground vibrations induced by blasting, *AIME Spring Meeting*, March, Atlanta.

Siskind, D.E., Stagg, M.S., Kopp, J.W. & Dowding, C.H. 1980. Structure response and damage produced by ground vibration from surface mine blasting, *USBM, RI 8507*.

Thoenen, J.R. & Windes, S.L. 1942. Seismic effects on quarry blasting, *U.S. Bureau of Mines*, Bulletin 442.



## Döner Kepçeli Ekskavatörlü Kömür Açık İşletme Yönteminde Bilgisayar Destekli Kazı Planlaması

A.Dağ

Çukurova Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, 01330 Balcalı, Adana, Türkiye

**ÖZET:** Üretim planlamasında hedef, nihai ocak sınırı, kazı sırası, sınır değer ve üretim optimizasyonu ile paranın net bugünkü değerinde beklenen karı maksimum yapmaktır. Planlama aşamalarının (nihai ocak sınırı, kazı sırası, sınır değer vb.), birbirlerine bağlı olması, parametrelerin ve kısıtlamaların çokluğu ve bunların zamanla değişiklik arzemesinden dolayı, bilgisayarla yapılması kaçınılmazdır. Bu çalışmada, döner kepçeli ekskavatörlü kömür açık işletmelerindeki kazı sırasının belirlenmesinde, kısıtlamaların neler olduğuna, bu kısıtlamaların geliştirilmiş olunan matematiksel modellerine, bu matematiksel modellere göre FORTRAN 77 ile yazılmış olan programa ve programın TEAŞ Afşin-Elbistan Linyit İşletmesi Çöllolar açık işletmesine uygulanma sonuçlarına yer verilmiştir.

**ABSTRACT:** The objective of the production planning is to maximize the net present value of the prospect, which can only be accomplished by optimizing of the ultimate pit limits, mining sequence, cut off grade and production rate. Due to number of planning parameters and varying constraints, it is inevitable to use computer on the planning stages. In this study, constraints, mathematical model of constraints, the computer program which has been written in FORTRAN 77 in bucket wheel excavator stripping method and outcomes of application of computer program to TEAS Afşin-Elbistan Lignite Establishment, Collolar district are presented.

### 1 GİRİŞ

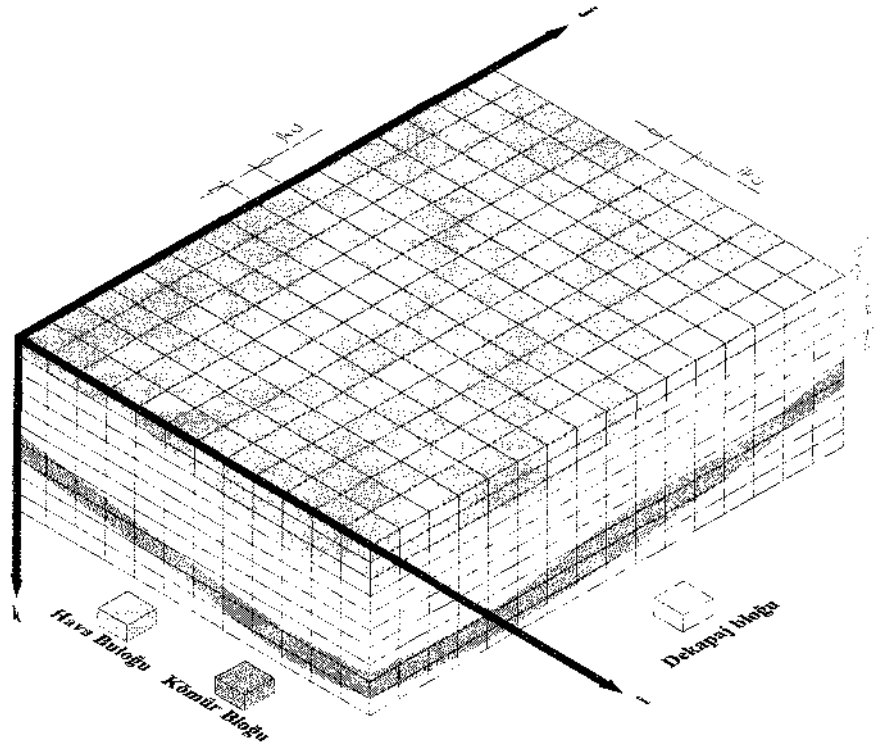
Teknolojik gelişmeler, açık işletmelerin ekonomik derinliklerini arttırmış ve ekonomik olmayan düşük tenörlü maden yataklarını ekonomik olarak işletilebilir hale getirmiştir. Düşük tenörlü yataklar üzerinde oluşturulacak daha derin açık ocakların işletilmesi ile, işletmenin her seviyesindeki plan kesit yüzey alanı genişlemiş ve dolayısıyla da üretim planlaması için alternatifler artmıştır.

Kömür açık işletmelerindeki üretim planlamasında en önemli planlama parametresi, talep edilen kömür miktarı ve kömür kalite sınır değerleridir. Eğer yatak uniform olmayan bir yataksa; sabit olan kömür üretimi için kaldırılması gereken toplam örtü miktarında çok büyük dalgalanmalar ve bunun yanında da kömür kalite değerlerinde değişiklikler olmaktadır. Kömür kalitesindeki bu değişiklikler ve örtü miktarındaki büyük dalgalanmalar, hem istenilen kalitedeki kömürün sağlanabilmesi için yapılan harmanlama işleminin zorluğuna, hem de mevcut makina/ekipman kapasitelerinde oluşabilecek dar-

boğazlarla örtü miktarının kaldırılamaması, dolayısıyla da talep edilen kömür üretiminin gerçekleştirilememesine neden olmaktadır.

Döner kepçeli ekskavatör kömür açık işletmelerinde, mevcut olan teknik ve ekonomik parametrelerin tam ve doğru olarak, bütün parametre ve kısıtlamalar birlikte değerlendirilerek planlama aşamaları belirlenmelidir. Kömür açık işletmelerindeki planlama aşamalarının bilgisayar yardımıyla belirlenmesinde en çok kullanılan yatak blok modeli Şekil 1 'de ifade edilmiştir.

Bu çalışmada, işletme ömrü boyunca dar boğazların varlığı halinde oluşabilecek problemlerin minimuma indirilmesi, kömür gereksiniminin kesintisiz sağlanabilmesi ve herşeyden önemli olan en büyük karı getirecek olan kömür ve örtü kazı sırasının belirlenmesinde, bilinmesi gereken kısıtlama ve parametrelere ve onların matematiksel modellerine yer verilmiştir. Ayrıca, Dağ (1997) tarafından geliştirilen bilgisayar programının TEAŞ Afşin-Elbistan Linyit İşletmesi Çöllolar açık işletmesine uygulanmasından elde edilen sonuçlar sunulmuştur.



Şekil 1. Kömür açık işletmelerinde yatağın düzgün sabit blok modeli.

## 2 ÜRETİM PLANLAMASI

### 2.1 Kısıtlamalar

Açık işletmelerde üretim sırası belirlenirken, talep edilen kömür kalite değerleri, kazı makinalarının kapasiteleri, üretimi yapılacak örtü ve kömür miktarları ve geometrik kazı kısıtlamaları değerlendirilmelidir.

#### 2.1.1 Kömür Kalite Gereksinimleri

Herhangi bir zaman periyodu içerisinde üretilecek olan blokların ortalama kalori, kül, nem gibi kömür kalite değerleri ile arzu edilen değerler arasındaki sapma minimum olmalı veya bu değerlere ait alt/üst sınırların içinde olmalıdır. Bu kısıtlamalar aşağıdaki matematiksel modellerle ifade edilebilir.

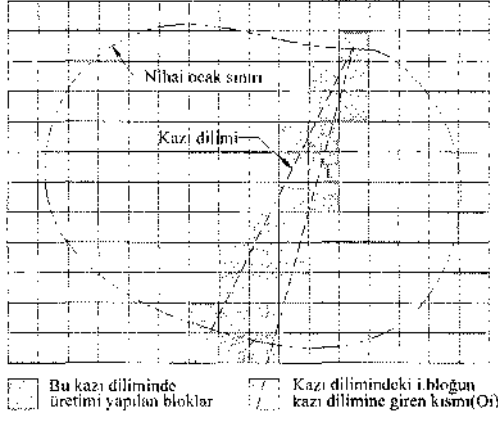
$$M = ikd \cdot jkd \cdot kkd \cdot YK \quad (1)$$

$$\frac{\sum_{i=1}^N (K_{ij} O_{ij} KAL_{ij} M)}{\sum_{i=1}^N (K_{ij} O_{ij} M)} \geq AKAL, j = 1, 2, \dots, NO \quad (2)$$

$$\frac{\sum_{i=1}^N (K_{ij} O_{ij} NEM_{ij} M)}{\sum_{i=1}^N (K_{ij} O_{ij} M)} \geq UNEM, j = 1, 2, \dots, NO \quad (3)$$

$$\frac{\sum_{i=1}^N (K_{ij} O_{ij} KUL_{ij} M)}{\sum_{i=1}^N (K_{ij} O_{ij} M)} \geq UKUL, j = 1, 2, \dots, NO \quad (4)$$

Burada M, kömür bloğunun tonajını (t); YK, Kömür yoğunluğunu ( $t/m^3$ ); N, j. periyotta üretimi yapılacak olan toplam blok sayısını; K, i. bloğun kömür oranını (%); O, i. bloğun kazı dilimine giren kısmın oranını (%); KAL, i. bloğun kalori değerini (kcal/kg); KUL, i. bloğun kül içeriğini (%); NEM, i. bloğun nem içeriğini (%); AKAL, j. periyodunda ortalama kömür kalorisinin arzulanan alt limit sınırı (kcal/kg); UNEM, j. periyodda kömür nem içeriğinin arzulanan üst limit sınırını (%); UKUL, j. periyodda ortalama kömür kül içeriğinin arzulanan üst limit sınırını (%) ve NO ise işletme ömrünü (periyodunu) ifade etmektedir.



Şekil 2. Herhangi bir basamakta ve periyot üretimi yapılacak kazı dilimi ve bloklar.

### 2.1.2 Kazı Makinalarının Kapasiteleri

Döner kepçeli ekskavatörler yalnız bulunduğu basamakta üretim yapabildiği düşünüldüğünde, bir zaman periyodunda ve herhangi bir basamakta üretimi yapılabilecek olan kazı dilimindeki dekapaj ve kömür miktarı ekskavatör kapasitesi ile sınırlıdır.

Bu sınırlama aşağıdaki matematiksel model ile ifade edilebilir.

$$\sum_{i=1}^N [V_{O_{ij}}(K_{ij} + T_{ij})] \leq C n_{ort}, j = 1, 2, \dots, NO \quad (5)$$

Burada V, boyutları bilinen bloğun hacmini (m<sup>3</sup>); K, i.bloğun kömür oranını (%); T, i.bloğun örtü oranını (%); C, ekskavatörün teorik kapasitesini (m<sup>3</sup>/periyod) ve T<sub>ort</sub> ise ortalama ekskavatör verimini (%) ifade etmektedir.

### 2.1.3 Talep Edilen Kömür Üretim Miktarı

Üretim planlaması yapılırken genellikle bir periyod için sabit üretim talebini sağlayabilecek bir plan yapılmaya çalışılır. Dolayısıyla herhangi bir periyodda üretimi yapılacak kömür miktarının bu değerden küçük olmaması gerekir. Bu kısıtlama şu matematiksel model ile ifade edilebilir.

$$\sum_{i=1}^N K_{ij} O_{ij} M \geq TKM, j = 1, 2, \dots, NO \quad (6)$$

Burada TKM, bir periyodda talep edilen kömür üretim miktarıdır (t/periyod).

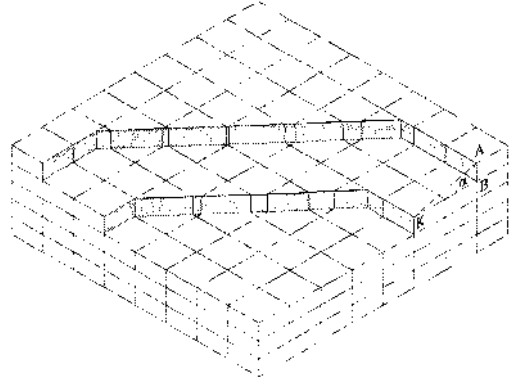
### 2.1.4 Geometrik Kısıtlamalar

Açık işletmelerde geometrik kısıtlamalar şu şekilde özetlenebilir.

(i) Üretimi yapılacak olan blok açık işletme sınırı içerisinde olmalıdır. Bu sınırlama (i, j).sütunda yukarıdan aşağıya kaç bloğun ocak sınırı içerisinde düşüğünü ifade eden blok açık işletme sınır verilerine (B<sub>ij</sub>) göre belirlenir. Üç boyutlu olarak, (i, j, k). blok değerlendiriliyorsa, eğer k < B<sub>ij</sub> ise, bu blok açık işletme sınırı içerisinde değildir.

(ii) Üretimi yapılacak blok, kazı makinasının erişebileceği konumda olmalıdır. Döner kepçeli ekskavatör bant konveyör açık işletme yönteminde kazı her basamakta ve dilim şeklinde yapılabilmelerinden dolayı üretimi yapılabilecek blok alternatifi olarak sadece kazı dilimi boyunca komşu blok olmaktadır. Fakat bu bloğun hangi oranlarda kazısının yapılabileceği alternatifi çoğalabilmektedir.

(iii) Kazısı yapılan blok, diğer bir blok kazısının yapılabileceği şartları bozmamalıdır. Yani blok üretildikten sonra, üstteki basamağın minimum basamak genişliğinin korunması gerekir. Bu kısıtlama Şekil 2'de gösterilmiş ve aşağıdaki matematiksel model ile ifade edilmiştir.



Şekil 3. İki basamaktaki kazı (i ve i+1) arasındaki minimum mesafe.

$$|BK| \geq \frac{|AB|}{\tan(\alpha)} \quad (7)$$

Burada BK, basamaklar arası minimum emniyetli mesafeyi (m); AB, basamak yüksekliğini (m) ve α ise emniyetli çalışma şev açısını (°) ifade etmektedir.

### 2.2 Kazı Dilimindeki Dekapaj ve Kömür Kazı Miktarının Hesabı

Herhangi bir periyod ve basamaktaki kazı diliminde kazısı yapılacak olan N adet bloğun toplam dekapaj ve kömür miktarları şu eşitliklerle hesaplanılır.

$$TOP_j = \sum_{i=1}^N (VO_{ij} \cdot T_{ij}) \quad j = 1, 2, \dots, BS \quad (8)$$

$$KOM_j = \sum_{i=1}^N (VO_{ij} \cdot K_{ij} \cdot YK) \quad j = 1, 2, \dots, BS \quad (9)$$

$$KAZ_j = TOP_j + \frac{KOM_j}{YK} \quad j = 1, 2, \dots, BS \quad (10)$$

Burada TOP, bir basamaktaki kazı dilimi ile kazısı yapılacak blokların toplam örtü miktarını ( $m^3$ ); KOM, bir basamaktaki kazı dilimi ile kazısı yapılacak blokların toplam kömür tonajını (t); KAZ, bir basamaktaki kazı dilimi ile kazısı yapılacak olan toplam kazı miktarını ( $m^3$ ) ve BS ise basamak sayısını ifade etmektedir.

### 2.3 İşletme Ömrünün Belirlenmesi

Yaklaşık işletme ömrü şu şekilde belirlenir. Blok modelinde belirlenen her bir seviyenin (k) bir basamak, bu basamakların hepsinde de üretimin yapılacağı kabul edilmektedir. Daha önce belirlenen ilk kazı noktası ve ilerleme yönüne göre, birinci basamaktan başlanılarak periyodlara göre kazı dilimi oluşturulur. Belirtilen kısıtlamalara göre ilerlemeler yapılarak sırayla alt basamaklarda da üretime başlanılır. Bu ilerleme en alt seviyedeki (nk) basamak oluşturuluncaya kadar devam eder. Bu arada en alttaki basamakta kazıya kaçınıcı periyotta (NY) başlanılabileceği ve bu periyodun başına kadar, bütün basamaklarda kazısı yapılacak olan toplam kazı miktarı (TK) belirlenir. Belirlenen bu değerler, nihai ocak sınırı içerisinde yapılacak olan toplam kazı miktarı ve bir periyotta talep edilen kömür miktarına göre işletme ömrü (NO) aşağıda belirtilen eşitlikle hesaplanılır.

$$TK_{NY-1} = \sum_{i=1}^{NY-1} \sum_{j=1}^{n_k} TBK_{ji} \quad (H)$$

$$NO = \left[ \frac{(KM + TM - YM) - TK_{NY-1} + NY - 1}{KTM} \right] \quad (12)$$

Burada TBK<sub>ji</sub>, j.basamakta ve i.periyotta yapılan toplam kazı miktarını ( $m^3$ ); TM, nihai ocak sınırı içerisindeki toplam dekapaj miktarını ( $m^3$ ); KM, nihai ocak sınırı içerisindeki toplam kömür miktarını ( $m^3$ ); KTM, bir periyotta üretimi arzulanan kömür miktarını ( $m^3$ ) ve YM ise yardımcı işmakinaları ile yapılacak olan düzeltme yüzey kazı miktarını ( $m^3$ ) ifade etmektedir.

### 2.4 Ekskavator Sayısının Hesabı

Kazı sırası belirlenirken, basamak sayısının tesbit edilmesi gerekir. Ocak sınırı içerisinde yardımcı iş makinaları ile yüzey düzeltme kazısı dışındaki toplam dekapaj ve kömür kazısını yapabilecek ekskavator sayısı (ES) şu eşitlikle hesaplanılır.

$$ES = \frac{TM + KM - YM}{NO \cdot C \cdot \eta_{ort}} \quad (13)$$

### 2.5 Paranın Net Bugünkü Değerinin Hesabı

Eğer faiz oranı O'dan büyük ise, bir bloğun net bugünkü değeri, o bloğun işletme ömrü boyunca üretileceği periyoda göre değişir. Kazı sırasının belirlenmesinde hedeflenen sonuç, işletme ömrü boyunca bütün blokların kazı sırasına göre net bugünkü değerlerinin toplamını maksimum yapan alternatif bulmaktır. Net bugünkü değerler şu eşitliklerle hesaplanabilir.

$$NBD_{ijk} = BED_{ijk} \cdot O_{ijk} \cdot \frac{1}{(1+r)^n} \quad (14)$$

$$NBD_i = \sum_{j=1}^N \left[ BED_{ji} \cdot O_{ji} \cdot \frac{1}{(1+r)^n} \right], i = 1, 2, \dots, NO \quad (15)$$

$$TNBD_k = \sum_{i=1}^{NO} NBD_i, k = 1, 2, \dots, AS \quad (16)$$

Burada BED<sub>ijk</sub>, i, j ve k ile tanımlanan bloğun ekonomik değerini (\$ veya TL); NBD, bir bloğun n. periyotta üretimi durumunda net bugünkü değerini (\$ veya TL); r, bir periyod için öngörülen faiz oranını (%); N, i.periyotta üretimi yapılacak blok sayısını ve TNBD<sub>k</sub> ise k alternatif üretim sırasına göre işletme ömrü boyunca toplam net bugünkü değerini (\$ veya TL) ifade etmektedir.

## 3 UYGULAMA

Yukarıda tanımlanan algoritmaya göre, Dağ 1997 tarafından Fortran 77 diliyle yazılmış olan bilgisayar programı, TEAŞ Afşin-Elbistan Linyit İşletmesi Çöllolar sektörüne ait, yatak modellemesi ile bulunan blok verileri (örütü oranı, kömür oranı, kaloris, nem ve kül içeriği, ekonomik değerleri) blok açık işletme sınır verileri ve ilk kazı noktası alternatiflerine ait blok verileri ile aşağıda verilen girdi değerlerine göre çalıştırılmış ve girilen ilk kazı noktası sayısı kadar alternatif kazı sırası belirlenmiştir. Girdi değerleri;

-Yıllık kömür üretim miktarı : 20 milyon t/yıl,

Ekskavatörün teorik kapasitesi	3000 m <sup>3</sup> /saat
Çalışma şev açısı	1/6,
Kalori değeri (alt sınır)	1050kcal/kg.
Kül içeriği (üst sınır)	%21,
Kem içeriği (üst sınır)	%64

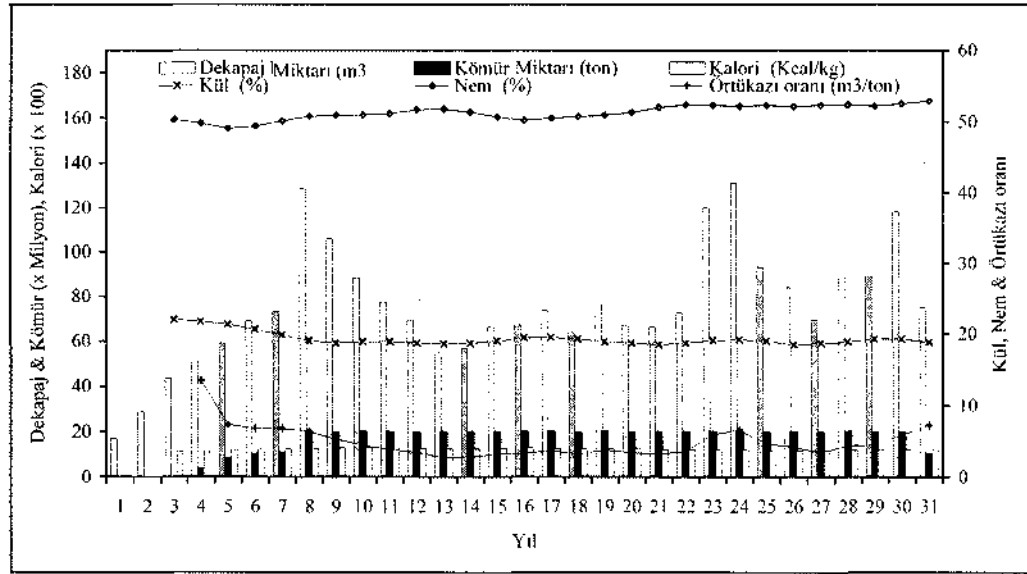
Belirlenen alternatifler arasında paranın net bugünkü değerinde maksimum karı veren alternatifin her yıl ve basamaktaki kazı dilimine ait Çizelge 1'deki gibi sonuçlar elde edilmiştir. Bu sonuçlara göre, işletme

ömrü boyunca yıllara göre; üretim, dekapaj, örtükazı oranı ve kömür kalite değerlerinin değişimi Şekil 4'de verilmiştir. Çizelge 1'deki gibi işletme ömrü boyunca her yıla ait planlama sonuçlarından elde edilen blok verileri ile işletme ömrünün istenilen periyodu sonundaki ocak imalat haritaları da elde edilebilmektedir.

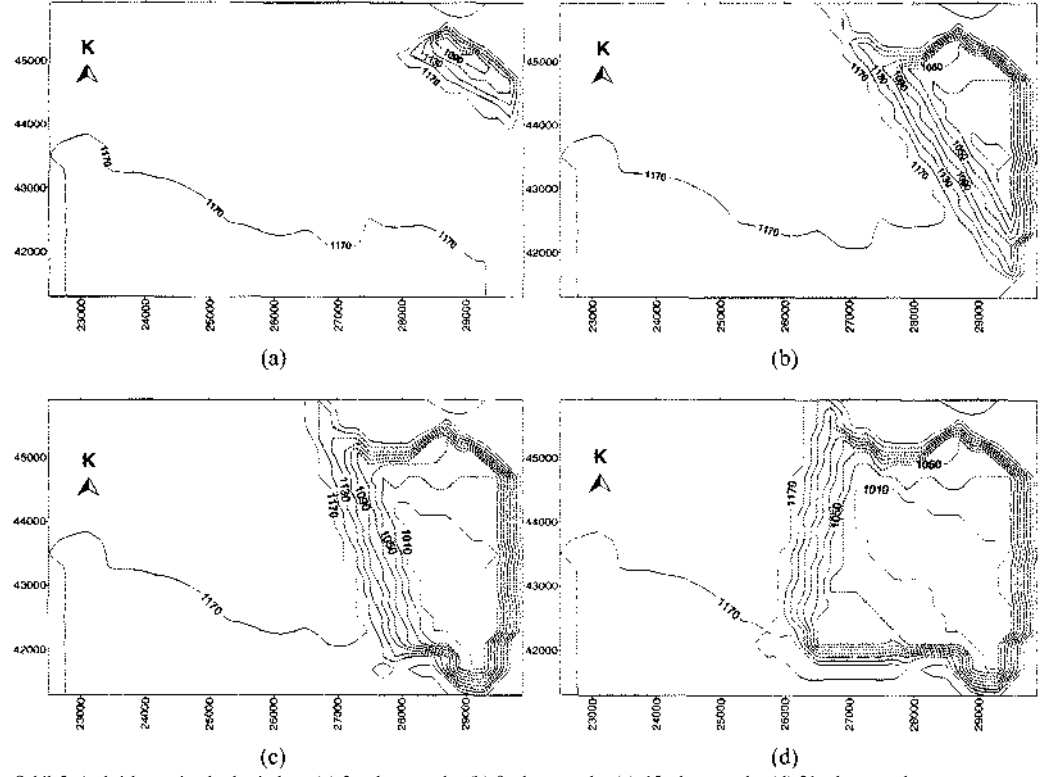
Şekil 5'de verilen ocak imalat haritaları elde edilen sonuçlara göre Surfer programı ve Kriging yöntemi kullanılarak çizilmiştir.

Çizelge 1. Programın ürettiği kazı sırasını ifade eden sonuçlardan sadece işletmenin birinci yılı kazı planlamasına ait bilgiler (Dağ ve Anıl, 1998).

Yıl Bas.	Kazı Dilimi Poligon Noktaları ve Koordinat Değerleri								-Bl. Dekapaj (x10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> )	Kömür Kal. (kcal/kg)	Kül (%)	Nem (%)	
	1	2	3	4	5	6	7	8					
1 1	26648.545900.030100.045900.030100.044505.526648.545900.0								3	13658.1	.0	.0	.0
1 2	27102.745900.030100.045900.030100.044689.027102.745900.0								2	2622.7	.0	.0	.0
1 3	27405.545900.030100.045900.030100.044811.327405.545900.0								2	883.6	.0	.0	.0
1 4	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
1 5	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
1 6	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
1 7	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
1 8	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
1 9	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0



Şekil 4. Elde edilen planlama sonucuna göre kazı, üretim, örtükazı ve kömür kalite değerlerinin değişimi.



Şekil 5. Açık işletme imalat haritaları; (a) 3. yılı sonunda, (b) 9.yılı sonunda, (c) 15.yılı sonunda, (d) 21.yılı sonunda.

#### 4 SONUÇLAR

Planlama aşamalarının bilgisayarla belirlenmesi, yatak modellemesi sonucu tahmin edilen blok değerlerine göre yapıldığından dolayı tahmin edilen bu değerlerin yatağı temsil eden doğru değerler olması gerekmektedir. Sondajlarla elde edilen jeolojik verilerin hassasiyeti, sondaj sayısı, tahmin tekniği ve bu teknikte yapılan analizler blok değerlerin tahminindeki hassasiyeti önemli ölçüde etkileyecektir. Blok değerlerinin yanında teknik ve ekonomik kısıtlama ve parametrelerin tamamının birlikte değerlendirilmesi de sonuçların optimizasyonunu belirleyecektir.

İlk kazı noktasına inşa edilen bir tek bant dağıtım noktasının planlanıldığı ve kazı yüzeyinin bir eksen etrafında döndürüldüğü kazı yöntemine göre geliştirilmiş olan program ile optimum sonuçlar bulunmuştur. Fakat değerlendirilen kısıtlama ve parametrelere uygun bir planlama sonucu bulunamaması durumunda, o zaman bant dağıtım noktasının işletme ömrü boyunca birden fazla noktada planlanması ve diğer kazı yöntemlerinin de (kazı yüzeyinin paralel ilerletilmesi, bir eksen etrafında döndürülmesi veya ikisinin birlikte uygulanması) değerlendirilmesi ile bulunan sonuçlar optimum sonuçlar olacaktır. Program, Afşin-Elbistan Linyit işletmesi Çöllolar sahasına ait verilere göre çalıştırılmış ve uygun so-

nuçlar elde edilmiştir. Mevcut verilere ve B Elektrik santralinin yıllık 20 milyon ton linyit ihtiyacına göre, Çöllolar açık işletmesinin, yaklaşık 510 milyon ton kömür, 4.66 m<sup>3</sup>/ton örtü kazı oranı ile 3000 m<sup>3</sup>/saat teorik kapasiteli 9 adet döner kepçeli ekskavatörle 31 yılda üretimi yapılabilecektir. Elde edilen sonuçlara göre; basamak ve ekskavatör sayısı, kazı makineleri için ne zaman yatırımların yapılması gerektiği, kömür üretimine veya istenilen kapasitede kömür üretimine ne zaman başlanabileceği, yaklaşık dış döküm miktarı, iç döküme ne zaman başlanabileceği, yıllık kazı miktarlarının basamaklara dağılımı, kazıda olabilecek muhtemel darboğaz dönemleri gibi birçok bilgiler de elde edilebilmektedir.

#### KAYNAKLAR

- Dağ, A., 1997. *Döner kepçeli ekskavatör açık işletme yönteminde bilgisayar destekli üretim planlaması: Afşin-Elbistan Linyit İşletmesi Çöllolar sahasına uygulaması*. Çukurova Üni-versitesi, Fenbilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 184s.
- Dağ, A. ve Anıl, M., 1998. *Afşin Elbistan Linyit (TEAŞ) Çöllolar açık işletmesi kazı sırasının belirlenmesi*. Türkiye 11. Kömür Kongresi Bildiriler Kitabı, 173-184.