

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

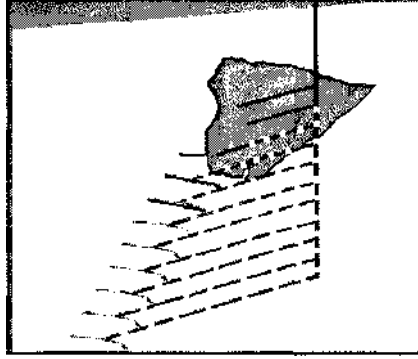
gündeme getirmektedir. Genellikle bu şekilde derinleştirilen kuyular, belirli bir derinlikten sonra istenen üretim talebini karşılayamamakta, bu ise alternatif nakliye sistemi arayışını gündeme getirmektedir.

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.

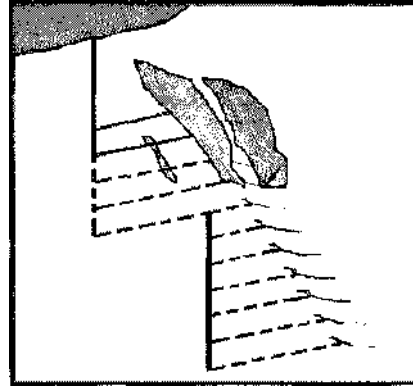
Söz konusu işletme için işletme yönetimiyle beraber aşağıda verilen nakliye alternatiflerinde mutabık kalınmıştır:

- 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.

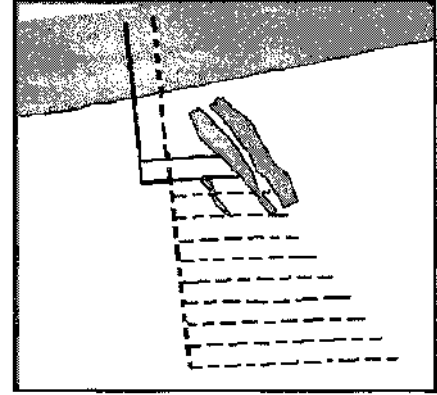
- b) Alternatif B: Bu alternatifte öncelikle mevcut kuyunun (-310 m) katına kadar derinleştirilmesi ve daha sonra (-310 m) katından (-490 m) katma kadar bir iç kuyu (kör kuyu) sürülmesi öngörülmüştür (Şekil 2).



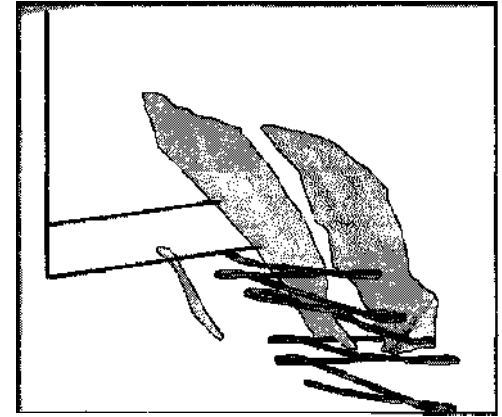
Şekil 2. Alternatif B: Mevcut kuyu ve iç kuyu.

- 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..

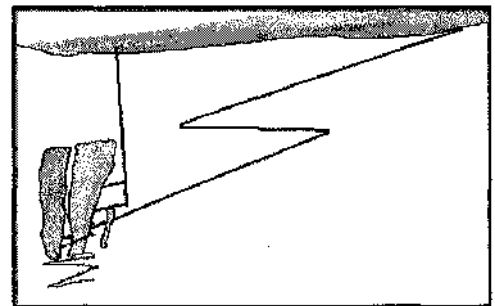


Şekil 3. Alternatif C: Yeni kuyu.



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 söz konusudur. Söz konusu 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 (fi)
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 söz konusudur. Söz konusu matrisi göre Alternatif A 4. sırayı almış olmasına karşın, teknik olarak

Çizelge 7. Alternatiflere özgü değer sentezi.

Alternatif	Kriterler						W
	f ₁	f ₂	f ₃	f ₄	f ₅	f ₆	
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 söz konusu 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.

