

# *Tesis Yeri Seçiminde Taşıma Maliyeti Optimizasyonu ve Kuyu Yeri Seçimi Uygulaması*

The Optimization of Transportation Cost and an Application for Shaft Site

Adnan KONUK (\*)  
Saim SARAÇ (\*)

## ÖZET

Madencilikte tesis yeri seçimini ve yerleşmiş tesislere ek olarak yerleştirilecek yeni tesisler için yer seçimini etkileyen pek çok faktör vardır. Bunların en önemlilerinden biri de, maden yatağından tesise ya da bir tesisten diğerine yapılacak taşımanın maliyetidir. Bazı faktörlerin değerlendirilmesi sonucu çok sayıda yer, tesis yerleşimi için alternatif yer özelliğini kazanabilir. Bu alternatif yerlerin değerlendirilmesi ise, taşıma maliyeti optimizasyonu ile yapılabilir.

Bu çalışmada, taşıma maliyeti optimizasyonu için bir matematiksel model geliştirilmiş, modelin bilgisayar programı yapılmıştır. Model, kuyu yeri seçiminde alternatif noktaların değerlendirilmesi için uygulanmıştır.

## ABSTRACT

In mining industry, there are a number of factors which affect the selection of sites for new plants and/or for additional plants to the established ones. The most important factor is the cost of transportation from one plant to another. From the assessment of some factors, many sites may be found to be appropriate for establishing plant. The evaluation of the alternative sites depend on the optimization of transportation cost.

in this study, for the optimization of transportation cost, a mathematical model was developed and a computer programme of the model was prepared. The model was used for assessment of alternative places in selection of shaft of shaft site.

(\*) Maden Yük. Müh., A.C. Muh. Mim. Fak. Maden Bölümü, ESKİŞEHİR.

## 1. GİRİŞ

Madencilik yatırımları, birçok belirsizlikler içeren koşullar altında yapılır. Her maden yatağı kendine özgü karakteristiklere sahiptir. Maden yataklarının aranması, cevherin rezerv ve tenorunun saptanması, işletilmesi ve pazarlanması aşamalarındaki çeşitli belirsizlikler nedeniyle, yatırım kararının çok iyi değerlendirilmesi gerekir.

Madencilik tesisleri büyük yatırımları gerektirdiğinden, bunların yerleşimi, ilk yatırım ve işletme dönemi giderleri üzerinde önemli rol oynar. Diğer sanayi dallarının aksine, madencilik tesislerinin yerleşiminde bölge seçimi söz konusu değildir. Tesisler, maden yatağının bulunduğu bölgede ya da yakınında kurulurlar ve enerji, su, malzeme gibi gereksinimlerin kolay ve ucuz olarak sağlanmasına olanak vermelidirler. Bunlardan başka, tesislerin kurulacağı yerlerin kamulaştırma durumları ve topoğrafik yapısı ile çevre şartlarının uygunluğu yer seçiminde önemli rol oynayan faktörlerdir. Ayrıca, tesis arazisinin ihtiyaca yeterli olması, gelecekteki genişlemelere uygun olması ve madencilik faaliyetlerinden etkilenmemesi istenir.

Madencilikte, üretim öncesi tesis yerlerinin seçiminde ya da üretim sırasında yapılacak değişiklikler için gerekli ek tesis yeri seçiminde, birçok faktörün değerlendirilmesi sonucu, çok sayıda yer alternatif yer özelliğini kazanabilir. Bu alternatif yerlerin değerlendirilmesi ise, maden yatağından tesislere ya da bir tesisten diğer bir tesise yapılacak cevher taşıma maliyeti optimizasyonu ile olanaklıdır. Taşıma maliyeti optimizasyonu  $m$ , doğrusal programlama tekniklerinden olan ulaştırma-atama yöntemi temelinde bir model geliştirilerek yapılabilir.

Ulaştırma - atama yöntemi, her türlü alternatif tesis yerinin değerlendirilmesinde kullanılabilir. Aşağıdaki bölümlerde, ulaştırma - atama yöntemi temelinde, kuyu yeri alternatiflerinin değerlendirilebilmesi için geliştirilen model ve bu modelin bilgisayarla çözümü tanıtılacaktır.

## 2. TESİS YERİ SEÇİM MODELİ

Modelce, çeşitli parametresere göre tesis yeri için seçilen alternatif yerlerin değerlendirilmesi yapılacaktır. Modelin esası, tesisler arasında

da yapılacak taşımanın toplam maliyetinin en az olmasıdır. Tesisler arasındaki taşıma maliyeti, uzaklıkla ve taşınacak malzeme miktarı ile orantılı olarak değiştiğinden, öncelikle daha önceden varolan tesisler ile alternatif tesis yerleri arasındaki uzaklıklar, daha sonra da, taşınacak malzeme miktarına bağlı olarak taşıma maliyetleri hesaplanacaktır. Taşıma maliyetlerinin ulaştırma-atama yöntemi ile değerlendirilmesiyle de, en az maliyetli alternatif yerlere tesisler atanacaktır.

### 2.1. Simgeleme

#### 2.1.1. İndisler

- $m$  : Daha önceden var olan tesis sayısı
- $k$  : Daha önceden var olan tesisler  
( $k = 1, 2, \dots, m$ )
- $n$  : Alternatif tesis yerlerinin sayısı
- $i$  : Alternatif tesis yerleri ( $i = 1, 2, 3, \dots, n$ )
- $j$  : Yeni kurulacak tesis yerleri  
( $0 = 1, 2, 3, \dots, n$ )

#### 2.1.2. Değişken ve Sabitler

- $T^{\wedge}$  : Daha önceden var olan tesisler
- $x^{\wedge}$  : Var olan tesislerin yeryüzüne paralel  $x$  koordinatı
- $Y_k$  : Var olan tesislerin yeryüzüne paralel  $y$  koordinatı
- $z^{\wedge}_k$  : Var olan tesislerin yeryüzüne dik  $z$  koordinatı
- $A_i$  : Alternatif tesis yerleri
- $x_j$  : Alternatif yerlerin  $x$  koordinatı
- $y_j$  : Alternatif yerlerin  $y$  koordinatı
- $z_j$  : Alternatif yerlerin  $z$  koordinatı
- $*k_i$  : Var olan tesislerden yeni kurulacak tesislere taşınacak malzeme miktarları (ton)
- $d_{jk}$  : Alternatif yerler ile var olan tesislerin yatay uzaklığı (km)
- $h_{jk}$  : Alternatif yerler ile var olan tesisler arası dik uzaklıklar (m)
- $b$  : Ulaşım aracına bağlı olarak değişen, tesisler arası dikey taşıma gideri (TL/ton-m)
- $a$  : Ulaşım aracına bağlı olarak değişen, tesisler arası yatay taşıma gideri (TL/ton-km)
- $K$  : Seçilecek tesis (kuyu) yerleri
- $C_{ij}$  : Yeni tesisler ile eski tesisler arasındaki nakliye maliyeti (TL)

## 2.2. Tesisler Üe Alternatif Tesis Yerleri Arası Uzaklıklar

Var olan m adet tesisin yerleşim koordinatları simgelemeye göre,  $T_k (x_k, y_k, z_k)$ 'dir. Alternatif tesis yerlerinin koordinatları da  $A_j (X_j, y_j, Z_j)$ 'dir. Alternatif yerler ile var olan tesisler arası yatay uzaklık dik doğrusal ya da öklid uzaklık yöntemleriyle, dikey uzaklık da dik doğrusal uzaklık yöntemiyle hesaplanabilir.

a) Dik doğrusal uzaklık :

$$dik = d(A_i, T_k) \quad [1]$$

$$d_{ik} = |x_i - x_k| + |y_i - y_k| \quad [1]$$

b) Öklid uzaklığı:

$$dik = [(x_i - x_k)^2 + (y_i - y_k)^2]^{1/2} \quad [3]$$

c) Dikey uzaklık:

$$h_{ik} = |z_i - z_k| \quad [4]$$

## 2.3. Tesisler İle Alternatif Tesis Yerleri Arası Taşıma Giderleri

Alternatif tesis yerlerinin ( $A_j$ ) herbirine yeni tesis ( $K_i$ ) kurulması durumunda, var olan tesislerden ( $T_k$ ) yeni tesislere taşınacak malzemenin taşıma giderleri,

$$C_{ij} = (a \cdot d_{ik} \cdot R_{kj}) + (b \cdot h_{ik} \cdot R_{kj}) \quad [5]$$

Daha sonraki bölümlerde de değinileceği gibi, modelin çözülebilmesi için  $i = j$  olmalıdır. Eğer  $i < j$  ise, yeni kurulacak tesislere  $i = j$  olacak şekilde yeteri kadar yapay tesis eklenir. Yapay tesislere malzeme taşımak sözkonusu olmadığından yapay tesisler için,  $R_k = 0$  olur.

## 2.4. Genel Atama Modeli

Tesis yeri seçiminde amaç, alternatif yerlere istenilen sayıda ve kapasitede tesis kurulduğunda, tesisler arası taşıma giderleri toplamının minimum olmasıdır. Bu bir karar problemidir. Burada karar değişkenleri ( $X_{jj}$ ), alternatif yerlere tesis kurulması ya da kurulmaması olup, tesis kurulduğunda  $x_{ij} = 1$ , kurulmadığında  $X_{ij} = 0$ 'dir. Parametreler

ise, her bir alternatif yere tesis kurulması halinde meydana gelebilecek giderlerdir ( $C_{jj}$ ).

Tesis yeri seçimi karar probleminde var olan kısıtlar (sınırlayıcı şartlar) ise şunlardır.

1. Her bir alternatif yere sadece bir tesis kurulabilir.

$$\sum_{j=1}^n X_{ij} = 1 \quad (i = 1, 2, 3, \dots, n) \quad [6]$$

$V_j$ : için  $X_{jj} = 0$  ya da 1'dir.

2. Her bir tesis sadece bir alternatif yere kurulabilir.

$$\sum_{j=1}^n X_{ij} = 1 \quad (j = 1, 2, 3, \dots, n) \quad [7]$$

$V_{jj}$  için  $X_{jj} = 0$  ya da 1'dir.

Bu kısıtlar altında, j tesislerinin i alternatif yerlerine kurulması halinde, oluşacak en küçük toplam maliyet,

$$\text{Enk } f(x) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n C_{ij} \cdot X_{ij} \quad [8]$$

## 2.5. Atama Modelinde Düzenlemeler

Genel atama modelini, tesis yeri seçiminde alternatif noktaların değerlendirilmesine uygulayabilmek için aşağıdaki düzenlemelerin yapılması gerekebilir.

— Yerleştirilecek tesis sayısı alternatif yer sayısına eşit değil ise ( $j \neq i$ ), eşitlik sağlanıncaya kadar modele satır ya da sütun eklenerek (yapay alternatif yer ya da yapay yerleştirilecek tesis tanımlanarak) en iyi çözüm araştırılır.

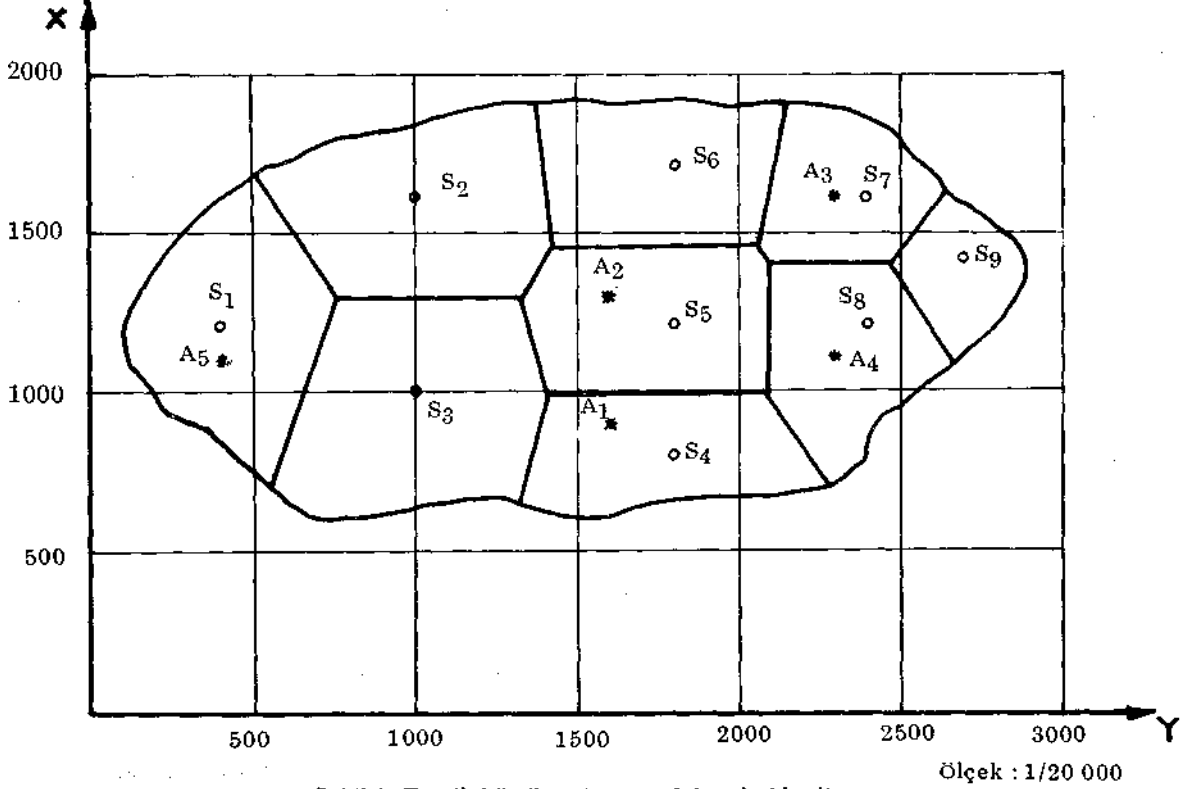
- Yerleştirilecek bazı tesislerin, bazı alternatif yerlere kurulması istenmiyorsa, ilgili hücreye yeterince büyük bir maliyet yüklenerek, çözümde karşı gelen karar değişkeninin değerinin sıfır olması, yani ilgili yere atama yapılmaması sağlanır.

### 3. MODELİN ÇÖZÜMÜ VE KUYU YERİ SEÇİMİ UYGULAMASI

Alternatif yerleri değerlendirerek tesis yeri seçimi amacıyla oluşturulan optimizasyon modelinin çözümü, kuyu yeri seçimi örneği üzerinde açıklanacaktır.

Örnek olarak Şekil 1'deki teorik bir kömür damarı ele alınmıştır. Kömür damarının rezervi poligon yöntemiyle hesaplanmış olup, her bir

poligona ait veriler Çizelge 1'de verilmiştir. Poligonların her biri önceden yerleştirilmiş tesis C"k) g'b' düşünülerek, kömür taşımalarının poligon sondaj noktalarından alternatif kuyu yerlerine ( $T^{\wedge} \rightarrow A_j$ ) olacağı kabul edilmiştir. Alternatif kuyu yerlerinin koordinatları da Çizelge 2' de verilmiştir. Şekil 1'de de görüldüğü gibi sahada 9 adet poligon ve 5 adet alternatif kuyu yeri vardır. Bu alternatif kuyu yerlerinden 2'si seçilecek.



Şekil 1. Teorik kömür yatağı sondaj yerleri haritası.

Çizelge 1 — Örnek Kömür Yatağında Oluşturulan Poligonların Rezerv ve Sondaj Koordinatları

Sondaj No	Yerüstü kotu (m)	Kömüre giriş kotu (m)	Kömür kalın. (m <sup>2</sup> )	Poligon alanı (x10 <sup>3</sup> m <sup>2</sup> )	Rezerv(*) (x10 <sup>3</sup> ton)	Koordinatlar		
						X	Y	Z
1	850	600	5	377	2262,0	400	1200	595
2	925	590	6	407	2930,4	1000	1600	584
3	950	590	6,5	474	3697,2	1000	1000	583.5
4	800	350	8	265	2544,0	1800	800	342
5	825	350	7,5	323	2907,0	1800	1200	342.5
6	835	350	7	313	2629,2	1800	1700	343
7	830	290	9	206	2224,8	2400	1600	281
8	820	290	10	265	3180,0	2400	1200	280
9	950	240	6	120	864,0	2700	1400	234

\*) Rezerv hesaplamalarında kömür yoğunluğu 1,2 t/m alınmıştır.

Çizelge 2 — Alternatif Kuyu Yerlerinin Koordinatları.

Alternatif Yer No	Koordinatlar		
	X	Y	Z
1	1600	900	810
2	1600	1300	830
3	2300	1600	830
4	2300	1100	815
5	400	1100	845

Poligon ağırlık merkezlerinden alternatif kuyu yerlerine taşınacak kömürler için taşıma maliyetleri aşağıdaki aşamalarda hesaplanmıştır.

### 3.1. Alternatif Kuyu Yerleri İle Poligonlar Arası Uzaklıklar

Üretilecek kömür yeraltından kuyu dibine taşınacak, daha sonra kuyudan yerüstüne çıkarılacaktır. Bu nedenle uzaklıklar dik doğrusal uzak-

lık varsayımına göre yatay ve dikey olmak üzere iki aşamada hesaplanır.

1) Yatay uzaklıklar: Yatay taşımanın birim gideri TL/ton-km olduğundan, poligon noktalarından alternatif kuyu yerlerine olan yatay uzaklıklar km olarak hesaplanacaktır. Hesaplamalar [2] ifadesine göre yapılmış olup, sonuçlar 1000'e bölünerek Çizelge 3a'da gösterilmiştir.

2) Dikey uzaklıklar: Dikey taşımanın birim gideri de TL/ton-m olarak ifade edildiğinden, poligon noktalarından alternatif kuyu yerlerine dikey uzaklıklar da [4] ifadesinden hesaplanıp, sonuçlar metre cinsinden Çizelge 3b'de gösterilmiştir.

### 3.2. Kuyu Kapasiteleri

Poligon ağırlık merkezleri olan sondaj noktalarından kuyulara taşınacak kömür miktarları hesaplanarak Çizelge 4'de 1000 ton cinsinden veril-

Çizelge 3a — Sondajlarla Alternatif Kuyu Yerleri Arası Yatay Uzaklıklar (\*).

$T_k$	$T_1$	$T_2$	$T_3$	$T_4$	$T_5$	$T_6$	$T_7$	$T_8$	$T_9$
$A_i$									
$A_1$	1,5	1,3	0,7	0,3	0,5	1,0	1,5	1,1	1,6
$A_2$	1,3	0,9	0,9	0,7	0,3	0,6	1,1	0,9	1,2
$A_3$	2,3	1,3	1,9	1,3	0,9	0,6	0,1	0,5	0,6
$A_4$	2,0	1,8	1,4	0,8	0,6	1,1	0,6	0,2	0,7
$A_5$	0,1	1,1	0,7	1,7	1,5	2,0	2,5	2,1	2,6

$T_u$  : Sondaj noktaları,

$A_i$  : Alternatif kuyu yerleri

Çizelge 3b — Sondajlarla Alternatif Kuyu Yerleri Arası Dikey Uzaklıklar (\*).

$T_k$	$T_1$	$T_2$	$T_3$	$T_4$	$T_5$	$T_6$	$T_7$	$T_8$	$T_9$
$A_i$									
$A_1$	215	226	226,5	468	467,5	467	529	530	576
$A_2$	235	246	246,5	488	487,5	487	549	550	596
$A_3$	235	246	246,5	488	487,5	487	549	550	596
$A_4$	220	231	231,5	473	472,5	472	534	535	581
$A_5$	250	261	261,5	503	502,5	502	564	565	611

(\*) Yatay uzaklıklar "km", dikey uzaklıklar ise "m" cinsinden verilmiştir.

mistir. Çizelge 4 değerlerinin oluşturduğu R<sup>o</sup>: matrisinden de görülebileceği gibi, seçilecek kuyu yeri sayısı 2, alternatif kuyu yeri sayısı 5 olduğundan, 5-2 = 3 tane "yapay kuyu" tanımlanmıştır. Yapay kuyulardan kömür taşınması yapılmadığından, yapay kuyular için R<sup>o</sup>: = 0 alınmıştır.

### 3.3. Maliyetlerin Hesaplanması

Poligonlardan kuyulara yapılacak taşımanın maliyetleri [5] ifadesinden hesaplanmış olup, yatay taşıma birim maliyeti a = 19 TL/ton-km, dikey taşıma birim maliyeti b = 0,1 TL/ton-m alınmıştır. Hesaplama sonuçları Çizelge 5'de verilmiş olup, taşınacak kömür miktarı 1000 ton olarak ifade edildiğinden, C<sub>ij</sub> matrisi 1000 ile çarpılmıştır.

### 3.4. Modelin Çözümü

Tesis yeri seçiminde alternatif noktaların değerlendirilmesi amacıyla oluşturulan atama modelinin çözümü "Macar Algoritması" ile yapılır.

Macar Algoritması, atama problemlerinin çözümünde kullanılan etkin bir yöntemdir. Bu yöntem temel olarak dört işlemsel adımla açıklanabilir.

#### 3.4.1. Fırsat Maliyetleri Çizelgesinin Hazırlanması

Herhangi bir kuyunun, en küçük maliyetli bir alternatif noktaya atanması durumunda oluşan maliyetin, diğer alternatif noktalara atanması durumunda oluşabilecek maliyetlerden çıkarılması durumunda, atama yapılan noktanın fırsat maliyetleri elde edilir. Benzer şekilde, herhangi bir alternatif nokta da, en düşük maliyetli kuyuya atanarak, diğerlerine atanması durumunda oluşacak fırsat maliyetleri bulunabilir.

Fırsat maliyetleri çizelgesi iki aşamada hazırlanır.

i) Maliyet çizelgesindeki (matrisindeki) her sütunun en küçük maliyet değeri, o sütunun bütün

Çizelge 4 — Poligon Sondaj Noktalarından (Tk), Kuyulara (K:) Taşınacak Kömür Miktarları (R<sub>kj</sub>)

Tk	K <sub>1</sub>	K <sub>2</sub>	K <sup>(Y)</sup>	K <sub>1</sub> <sup>(Y)</sup>	K <sup>(Y)</sup>
T <sub>1</sub>	754,0	1508,0	0	0	0
T <sub>2</sub>	976,8	1953,6	0	0	0
T <sub>3</sub>	1232,4	2464,8	0	0	0
T <sub>4</sub>	848,0	1696,0	0	0	0
T <sub>5</sub>	969,0	1938,0	0	0	0
T <sub>6</sub>	876,4	1752,8	0	0	0
T <sub>7</sub>	741,6	1483,2	0	0	0
T <sub>8</sub>	1060,0	2120,0	0	0	0
T <sub>9</sub>	288,0	576,0	0	0	0

K<sub>j</sub> : Seçilecek kuyu sayısı, K<sub>j</sub><sup>(Y)</sup> : Yapay kuyular, T<sub>k</sub> : Sondaj noktaları

Çizelge 5 — Poligonlardan Kuyulara Toplam Taşıma Giderleri (C<sub>ij</sub>).

K <sub>i</sub>	K <sub>1</sub>	K <sub>2</sub>	K <sup>(Y)</sup>	K <sub>1</sub> <sup>(Y)</sup>	K <sup>(Y)</sup>
A <sub>1</sub>	375.317.160	750.731.220	0	0	0
A <sub>2</sub>	384.547.210	769.094.420	0	0	0
A <sub>3</sub>	407.532.410	815.064.820	0	0	0
A <sub>4</sub>	388.728.110	777.456.220	0	0	0
A <sub>5</sub>	446.119.310	892.238.620	0	0	0

elemanlarından çıkarılarak fırsat maliyetleri elde edilir (sütun indirgeme). Kuyu yeri seçimi için bulunan maliyetler Çizelge 5'deki gibidir.

Her bir sütunun en küçük değeri bulunup diğerlerinden çıkarılarak elde edilen fırsat maliyetleri Çizelge 6'da verilmiştir.

ii) Birinci aşamada elde edilen fırsat maliyetleri çizelgesinin her satırındaki en küçük değer, o satırındaki bütün değerlerden çıkarılarak "toplam fırsat maliyetleri çizelgesi" elde edilir (satır indirgeme) (Çizelge 7).

#### 3.4.2. Optimum Atamanın Yapılıp Yapılmadığının Kontrolü

Kuyu yeri seçiminde amaç, kuyuların alternatif noktalara en az maliyetle atanmasıdır. Bu amaçla, kuyuların toplam fırsat maliyetleri "sıfır" olan noktalara atanması gerekir.

Bir optimum atama planının bulunup bulunmadığını araştırmak üzere en uygun yol, toplam fırsat maliyetleri çizelgesinde, bütün "sıfır" değer-

lerinden geçen en az sayıda doğrunun çizilmesi- dir. Eğer çizilen doğru sayısı, satır ya da sütun sayısına eşit ise, optimum atama planı vardır. Aksi halde, yeni bir toplam fırsat maliyetleri çizelgesi hazırlanmalıdır.

Çizelge 8'den de görülebileceği gibi, çizilen doğru sayısı satır ya da sütun sayısına eşit değildir.

#### 3.4.3. Toplam Fırsat Maliyetleri Çizelgesinin Yeniden Düzenlenmesi

Bu aşamada, çizilen satır ve sütunların dışında, bazı atamalar yaparak toplam fırsat maliyetleri çizelgesi yeniden düzenlenir. Bunun için şu işlemler yapılır.

i) Çizilmemiş satır ve sütunlarda bulunan elemanlardan en küçük olanı seçilir ve bu değer bütün çizilmemiş değerlerden çıkarılır. Çizelge 8'den de görülebileceği gibi, çizilmemiş satır ve sütunlar içinde en küçük değer 9 230 050'dir. Bunun diğer elemanlardan çıkarılması ile elde edilen sonuçlar Çizelge 9'da verilmiştir.

Çizelge 6 — Sütun İndirgeme İle Elde Edilen Fırsat Maliyetleri

K <sub>i</sub>	K <sub>1</sub>	K <sub>9</sub>	K <sub>2</sub>	K <sub>4</sub>	K <sub>5</sub>
A <sub>1</sub>	0	0	0	0	0
A <sub>2</sub>	9.230.050	18.363.200	0	0	0
A <sub>3</sub>	32.215.250	64.333.600	0	0	0
A <sub>4</sub>	13.410.950	26.725.000	0	0	0
A <sub>5</sub>	70.802.150	141.507.400	0	0	0

Çizelge 7 — Satır İndirgeme İle Elde Edilen Fırsat Maliyetleri

K <sub>i</sub>	K <sub>1</sub>	K <sub>0</sub>	K <sub>2</sub>	K*	K<
A <sub>1</sub>	0	0	0	0	0
A <sub>2</sub>	9.230.050	18.363.200	0	0	0
A <sub>3</sub>	32.215.250	64.333.600	0	0	0
A <sub>4</sub>	13.410.950	26.725.000	0	0	0
A <sub>5</sub>	70.802.150	141.507.400	0	0	0

Çizelge 8 — Toplam Fırsat Maliyetleri

<sup>A</sup> i	K <sub>i</sub>	K <sub>2</sub>	K <sub>3</sub>	K <sub>4</sub>	K <sub>5</sub>
A <sub>2</sub>	9.230.050	18.363.200	0	0	0
A <sub>3</sub>	32.215.250	64.333.600	0	0	0
A <sub>4</sub>	13.410.950	26.725.000	0	0	0
A <sub>5</sub>	70.802.150	141.507.400	0	0	0
			1	2	3

Çizelge 9 — İndirgenmiş Fırsat Maliyetleri

<sup>K</sup> j	K <sub>j</sub>	K <sub>2</sub>	K <sub>3</sub>	K <sub>4</sub>	K <sub>5</sub>
A <sub>j</sub>	0	0	0	0	0
A <sub>2</sub>	0	9.133.150	0	0	0
A <sub>3</sub>	22.985.200	55.103.550	0	0	0
A <sub>4</sub>	4.180.900	17.494.950	0	0	0
A <sub>5</sub>	61.572.100	132.277.350	0	0	0

ii) Seçilmiş bulunan en küçük değer, herhangi iki doğrunun kesiştiği yerdeki sayıya eklenerek "düzenlenmiş fırsat maliyetleri çizelgesi" elde edilir (Çizelge 10). Optimum atamanın yapılıp yapılamayacağı bir kez daha kontrol edilirse, görüleceği gibi satır-sütun sayısına eşit 5 adet doğru çizilebilmektedir.

#### 3.4.4. Atamanın Sonuçlandırılması

Atamanın sonuçlandırılması için şu işlemler yapılır:

Önce, yalnız bir tane sıfırlı elemanı bulunan satır ya da sütun seçilerek, sıfır değerli hücreye ilk atama yapılır. Bu sıfır değerli hücrenin bulunduğu satır ve sütun 1-1' doğruları ile çizilir (Çizelge 11). Sonra, kalan satır ve sütunlar arasından, yine tek bir sıfır değerli elemanı bulunan seçilerek başka bir atama yapılır. Bu sıfır değerli hücrenin bulunduğu satır ve sütun da 2-2' doğrusu ile çizilir. Bu işlem bütün atamalar yapılanaya dek sürdürülür.

Çizelge 11'den de görüleceği gibi, optimum atama şu şekilde gerçekleşmektedir:

K<sub>j</sub> kuyusu . . . . . A<sub>2</sub> alternatif noktasına,  
K<sub>2</sub> kuyusu . . . . . A<sub>j</sub> alternatif noktasına,  
K<sub>3</sub>, K<sub>4</sub> ve K<sub>5</sub> yapay kuyuları da A<sub>3</sub>, A<sub>4</sub>, A<sub>5</sub> noktalarına alternatifli olarak atanabilir. Ancak bunların taşıma maliyeti sıfırdır.

Bu şekildeki atama durumunda, toplam taşıma maliyeti en küçük değerini almaktadır.

$$\text{Enk } f(x) = 750\,731\,220 + 384\,547\,210 \\ = 1\,135\,278\,400 \text{ TL.}$$

#### 4. BİLGİSAYAR PROGRAMI

Kuyu yeri seçiminde taşıma maliyetlerinin optimizasyonu için bir bilgisayar programı yazılmış ve önceki bölümde elle çözümü verilen probleme uygulanmıştır.

BASIC dilinde yazılan program, bir ana program ve iki alt programdan oluşmaktadır (Şekil 2). Ana programda, verilerin okutulması ve çıktıların yazdırılması işlemleri yapılmaktadır. Birinci alt



Çizelge 10 — Düzenlenmiş Fırsat Maliyetleri

$K_i$	$K_M$	$K_1$	$K_2$	$K_3$	$K_5$
	0	0	9.230.050	9.230.050	9.230.050
$A_2$	1	9.133.150	0	0	0
$A_3$	22.985.200	55.103.550	0	0	0
$A_4$	4.180.900	17.494.950	0	0	0
$A_5$	61.572.100	132.277.350	0	0	0
	4	5	1	2	3

Çizelge 11 — Optimum Atama Durumunda Fırsat Maliyetleri

$K_i$	$K_1$	$K_2$	$K_3$	$K_4$	$K_5$
$A_1$	0	0	-9.230.050	-9.230.050	-9.230.050
$A_2$	0	-9.133.150	0	0	0
$A_3$	22.985.200	55.103.550	0	0	0
$A_4$	4.180.900	17.494.950	0	0	0
$A_5$	61.572.100	132.277.350	0	0	0
	2 4	1			

programda yatay taşıma uzaklıkları, dikey taşıma uzaklıkları ve poligonlardan kuyulara taşınacak cevher miktarları hesaplandıktan sonra, maliyet matrisi oluşturulmaktadır. İkinci alt programda ise, Macar Algoritması yöntemiyle toplam taşıma maliyeti en küçük olacak şekilde, kuyuların alternatif yerlere atanması işlemi yapılmaktadır.

#### 4.1. Verilerin Okutulması

Gerekli veriler programa aşağıdaki sıraya göre verilmiştir.

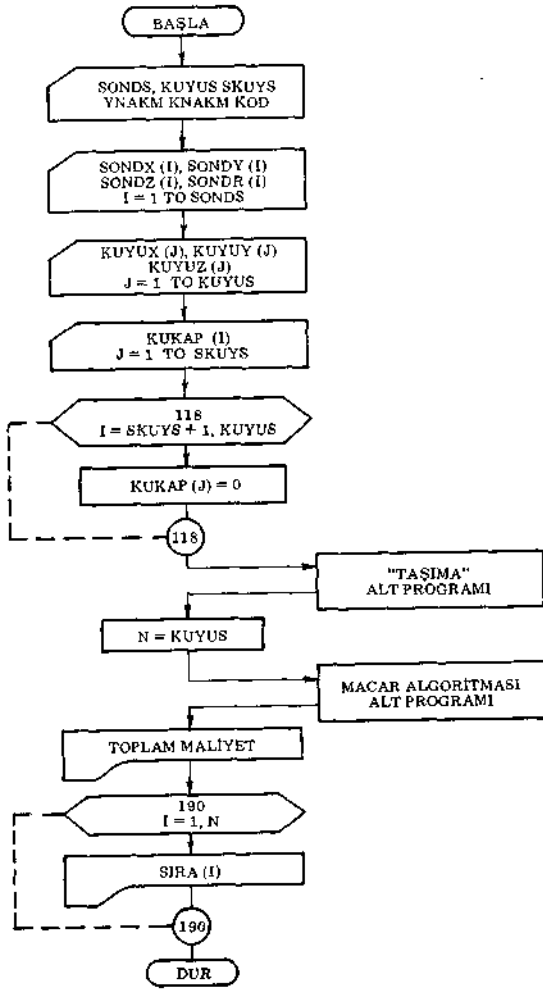
- Sondaj sayısı (SONDS = 9).
- Alternatif kuyu yeri sayısı (KUYUS = 5).
- Seçilecek kuyu sayısı (SKUYS = 2).
- Yeraltı taşıma maliyeti (YNAKM = 10TL/ton-km).
- Kuyu taşıma maliyeti (KNAKM = 0.1 TL/ton-m).
- Problemin maksimizasyon ya da minimizasyon problemi olduğunu belirleyen KOD, problem

bir minimizasyon problemi ise KOD = 0, Maksimizasyon problemi ise KOD = 1 olarak verilir. Bu programda KOD = 0 olarak verilmiştir.

- Sondajların x, y, z koordinatları ve poligon rezervleri, SONDX (I), SONDY (I), SONDZ (I), SONDR (I) sırasıyla Çizelge Ve uygun olarak verilmiştir.
- Alternatif kuyu yerlerinin x, y, z koordinatları, KUYUX (I), KUYUY (I), KUYUZ (I) sırasıyla Çizelge 2'ye uygun olarak verilmiştir.
- Taşınacak toplam miktarın yüzdesi olarak kuyu kapasiteleri, KUKAP (I) sırasıyla 0.3333 ve 0.6667 olarak verilmiştir.

Kuyu yeri seçimi uygulaması için gerekli veriler DATA satırlarında aşağıdaki şekilde verilmiştir.

```
220 DATA 9, 5, 2,10,1,0
230 DATA 400, 1200, 595, 2262000, 1000,
1600, 584, 2930400, 1000, 1000, 583.5,
3697200, 1800, 800, 342, 2544000, 1800,
1200,342.5,2907000
```



Şekil 2. Bilgisayar programı akış diyagramı.

240 DATA 1800, 1700, 343, 2629200, 2400,  
1600, 281, 2224800, 2400, 1200, 280,  
3180000, 2700, 1400, 234, 864000  
250 DATA 1600, 900, 810, 1600, 1300, 830,  
2300, 1600, 830, 2300, 1100, 815, 400,  
1100, 845  
260 DATA . 3333, 6667

#### 4.2. Bilgisayar Çıktısı

Veriler bilgisayara verilip, program çalıştırıldıktan sonra, bilgisayar önce birinci alt programda yatay taşıma uzaklıkları ( $D_{ij}$ ), dikey taşıma uzaklıkları ( $H_{i.}$ ) ve poligonlardan kuyulara taşınacak cevher miktarlarını ( $R_{ij}$ ) hesaplayıp, yeraltı ve kuyu taşıma maliyetlerini de gözönüne alarak maliyet matrisini oluşturacak ve çıktı olarak basacaktır. Uygulama için maliyet matrisi çıktısı aşağıdaki gibi alınmıştır.

#### ORJİNAL MATRİS

3,80257E + 08	7,60629E + 08	0	0	0
3,84509E + 08	7,69133E + 08	0	0	0
4,05796E + 08	8,11714E + 08	0	0	0
3,88689E + 08	7,7495E + 08	0	0	0
4,46075E + 08	8,92283E + 08	0	0	0

Maliyet matrisi oluşturulduktan sonra bilgisayar, 2. alt programda Macar Algoritması yöntemini kullanarak toplam taşıma maliyeti en küçük olacak şekilde, kuyuları alternatif yerlere atmakta, toplam taşıma maliyetini hesaplamakta ve çıktı olarak basmaktadır. Uygulama için, atanan kuyu yerleri ve toplam maliyet çıktısı aşağıdaki şekilde alınmıştır.

#### ATAMA PROBLEMİ OPTİMAL ÇÖZÜMÜ

TOPLAM MALİYET: 1/14514E + 09

- 1 KUYUSU İÇİN ATANAN YER: 2
- 2 KUYUSU İÇİN ATANAN YER: 1
- 3 KUYUSU İÇİN ATANAN YER: 3
- 4 KUYUSU İÇİN ATANAN YER: 4
- 5 KUYUSU İÇİN ATANAN YER: 5

#### 5. SONUÇ

Tesis yeri seçiminde, bir çok faktöre göre alternatif yer özelliğini kazanan yerlerin değerlendirilmesinde kullanılabilir en etkin yöntem, taşıma maliyeti optimizasyonudur. Bu yöntem sayesinde tesisler, taşıma maliyetleri en az olacak şekilde yerleştirilebilmektedir.

Tanıtılan model ve bilgisayar programında yapılacak bazı değişikliklerle yöntem, kuyu yeri seçimi dışında pek çok tesis yeri seçimi problemleri için de uygulanabilir.

Geliştirilen modelin çözümü, bilgisayar kullanmaksızın yapılabilmekle birlikte, veri sayısının fazla olması durumunda çok uzun ve sıkıcı matris işlemleri yapmak gerekmektedir. Bilgisayar programının kullanılması durumunda, bir kaç dakikada sonuçlar alınabilmekte ve hata olasılığı ortadan kalkmaktadır.

#### KAYNAKLAR

1. GILLET, B.E., Introduction to Operations Research, McGraw-Hill Book Co., 1976.
2. FANCIS, R.L., Facility Layout and Location-An Analytical Approach, Prentice Hall, 1974.
3. TULUNAY, Y., Matematik Programlama ve İşletme Uygulamaları, İ.Ü. Yayın No: 2721, İstanbul, 1980.
4. KARA, İ., Yöneylem Araştırması, EİTİ Akademisi, Eskişehir, 1980.

# *Hidrometalurji*

Hidrometallurgy (\*)

Fathi HABASHİ (\*\*)

Çeviren: Mehmet CANBAZOĞLU (\*\*\*)

## ÖZET

Metal üretiminde kısmen düşük sıcaklıklarda etkin olan hidrometalurjik yöntemler yüksek sıcaklık gerektiren pirometalurjik yöntemlere üstünlük kazanmaktadır.

## ABSTRACT

Recovering metals by use of aqueous solutions at relatively low temperatures increasingly is competing with dry, high-temperature pyrometallurgical methods.

(\*) Chemical and Eng. News, Şubat 1982, Sayfa 46-58.

(\*\*) Prof. Dr., Faculty of Min. and Met, Laval University, Ouebec, Kanada

(\*\*\*) Dr. Maden Yük. Müh., MTA Maden Analizleri ve Teknolojisi Dairesi, Ankara.