

## OPTİMUM NİHAİ AÇIK İŞLETME SINIRLARINI BULAN OPTİMİZASYON TEKNİKLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

### COMPARISON OF THE ULTIMATE PIT LIMIT OPTIMIZATION TECHNIQUES

E YALÇIN  
S. SAYDAM

Dokuz Eylül Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, izmir

**ÖZET:** Açık ocaklarda optimum nihai sınırların bulunması için bilgisayar destekli açık işletme sınır analizlerinin yapılması günümüzde yaygın hale gelmiştir. Bu amaçla, son yirmibeş yıl içerisinde değişik algoritmalar geliştirilmiştir.

Bu yazıda, örnek bir cevher yatağının optimum nihai açık işletme sınırları dört değişik algoritma ile bulunmuş ve en iyi sonucu Pozitif Hareketli Koni algoritmasının verdiği görülmüştür.

**ABSTRACT:** Computerised open-pit limit analysis is now the common practice for establishing the optimum final limits of open-pits. A multitude of algorithms have been developed over the last twenty-five years.

In this paper, the optimum ultimate pit-limits of a sample deposit were determined by using four different algorithms and it was seen that, the best result was obtained with the Positive Moving Cone algorithm

#### 1. GİRİŞ

Açık işletmelerde, uzun vadeli üretim planlarının yapılabilmesi için optimum nihai açık işletme sınırlarının önceden bilinmesi gerekmektedir. Bu amaca yönelik olarak değişik teknikler geliştirilmiştir. Günümüzde bu tekniklerden yaygın olarak kullanılanları "*Dinamik Programlama*" ve "*Hareketli Koni*" yöntemleridir.

Üç boyutlu Dinamik Programlama tekniği, ilk olarak Lerchs ve Grossman (1965) tarafından geliştirilen iki boyutlu dinamik programlama algoritmasına dayanarak Johnson ve Sharp (1971) tarafından geliştirilmiştir. Johnson ve Sharp'ın algoritmasıyla bulunan sınırlarda uyumsuzluklar olabilmektedir. Bu nedenle bilgisayar teknolojisindeki gelişmelere paralel olarak son on beş yıl içinde, önemli çalışmalar yapılmıştır.

Koenigsberg (1982), Wilke ve Wright (1987) tarafından yeni dinamik programlama algoritmaları geliştirilmiştir (Yalçın, 1991a). Aynı şekilde, Hareketli koni tekniğinde de önemli gelişmeler kaydedilmiştir (Lizotte, 1988).

Denby ve Schofield (1993), genetik teorisiye dayanarak "*Genetik Algoritması*" adı altında yeni bir teknik geliştirmişlerdir. Bu algoritmanın başarısı hakkında henüz yeterli sonuç mevcut değildir.

Bu makalede, örnek bir cevher yatağının optimum açık işletme sınırları, yukarıda bahsedilen algoritmalara göre yazılmış bilgisayar yazılımları yardımıyla bulunmakta ve elde edilen sonuçlar birbiriyle karşılaştırılmaktadır.

#### 2. BİLGİSAYAR YAZILIMLARININ TANITIMI

Örnek cevher yatağının optimum açık işletme sınırları 4 değişik yazılım ile bulunmuştur. Yazılımlardan bir tanesi Johnson ve Sharp algoritmasına (JS) göre, bir tanesi Pozitif Hareketli Koni algoritmasına (PHK) göre ve iki tanesi de Wilke ve Wright algoritmasına göre (WW1 ve WW2) sınır bulmaktadır. Bu algoritmalar Yalçın (1991a), Yalçın (1991b) ve Lemieux (1979) kaynaklarında detaylı olarak verilmiştir. Wilke ve Wright algoritmasına göre sınır bulan yazılımlardan birincisi, (WW1), bloklar için bulunan ocak sınırları ile bloklar üzerindeki hareketli konilerde yer alan blokların kontrolünü yapmaktadır. İkincisi, (WW2), ise bu kontrol işlemini yapmamakta ve daha kısa sürede sonuca gitmektedir.

Yazılımlara; blok modeli oluşturulmuş olan cevher yatağındaki maksimum kat, kolon ve kesit sayıları, yatağın topoğrafik durumu, her kolonda inilebilecek maksimum seviye ile her bir bloğun net değeri girdi olarak verilmektedir.

Çıktıda ise ocağın optimum olarak işletilmesinden sonraki nihai topografya, optimum ocak net değeri, sınırlar içindeki negatif ve pozitif net değere sahip blok sayıları yer almaktadır.

#### 3. ÖRNEK CEVHER YATAĞI

Örnek cevher yatağı 5 kat, 12 kolon ve 13 kesitten oluşmaktadır ve toplam 780 blok içermektedir. Her

kesitin en üst katına blok net değerleri 0.0 olan başka bir kat ilave edilmekte ve böylece blok modelinde toplam 936 blok yer almaktadır.  
Örnek cevher yatağının blok net değerleri Çizelge

l'de verilmiştir. Çizelge l'de, ilk sıradaki 1-12 sayıları kesitlerdeki kolon numaralarını, solda ilk kolondaki 1-6 sayılan ise kesitlerdeki kat numaralarını belirtmektedir.

Çizelge 1. örnek Cevher Yatağının Blok Net Değerleri

1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9
3	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9
4	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9
5	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9
6	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9
1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2	-9.9	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-9.9
3	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9
4	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9
5	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9
6	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9
1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2	-9.9	-1.0	-1.0	-1.0	5.0	5.0	-1.0	-1.0	5.0	5.0	5.0	-9.9
3	-9.9	-9.9	-2.0	4.0	4.0	-2.0	-1.0	4.0	4.0	4.0	-9.9	-9.9
4	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9
5	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9
6	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9
1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2	-9.9	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-9.9
3	-9.9	-9.9	-2.0	-2.0	4.0	4.0	-2.0	4.0	4.0	4.0	-9.9	-9.9
4	-9.9	-9.9	-9.9	3.0	3.0	-3.0	3.0	3.0	3.0	-9.9	-9.9	-9.9
5	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9
6	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9
1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2	-9.9	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-9.9
3	-9.9	-9.9	-2.0	-2.0	-2.0	-2.0	-2.0	-2.0	-2.0	-2.0	-9.9	-9.9
4	-9.9	-9.9	-9.9	-3.0	3.0	-3.0	3.0	3.0	3.0	-9.9	-9.9	-9.9
5	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	2.0	2.0	2.0	2.0	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9
6	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9
1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2	-9.9	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-9.9
3	-9.9	-9.9	-1.0	-1.0	-2.0	-2.0	-2.0	-2.0	-2.0	-2.0	-9.9	-9.9
4	-9.9	-9.9	-9.9	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	-3.0	-9.9	-9.9	-9.9
5	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-4.0	2.0	2.0	2.0	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9
6	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-5.0	-5.0	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9
1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2	-9.9	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-9.9
3	-9.9	-9.9	-2.0	-2.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	-2.0	-9.9	-9.9
4	-9.9	-9.9	-9.9	-3.0	-3.0	3.0	3.0	3.0	-3.0	-9.9	-9.9	-9.9
5	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-4.0	-4.0	2.0	-4.0	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9
6	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-5.0	-5.0	-9.9	-9.9	-1.0	-1.0	-9.9

(Çizelge 1 'in Devamı)

1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2	-9.9	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	5.0	5.0	5.0	-1.0	-1.0	-9.9
3	-9.9	-9.9	-2.0	-2.0	-2.0	4.0	4.0	4.0	4.0	-2.0	-9.9	-9.9
4	-9.9	-9.9	-9.9	-3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	-3.0	-9.9	-9.9	-9.9
5	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-4.0	2.0	2.0	-4.0	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9
6	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	8.0	8.0	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9
1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2	-9.9	-1.0	-1.0	-1.0	5.0	5.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-9.9
3	-9.9	-9.9	-2.0	8.0	8.0	-2.0	8.0	8.0	8.0	-2.0	-9.9	-9.9
4	-9.9	-9.9	-9.9	6.0	-3.0	-3.0	-3.0	-3.0	6.0	-9.9	-9.9	-9.9
5	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-4.0	-4.0	-4.0	-4.0	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9
6	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9
1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2	-9.9	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-9.9
3	-9.9	-9.9	-2.0	4.0	4.0	-2.0	4.0	4.0	4.0	4.0	-9.9	-9.9
4	-9.9	-9.9	-9.9	3.0	-3.0	-3.0	-3.0	-3.0	3.0	-9.9	-9.9	-9.9
5	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9
6	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9
1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2	-9.9	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-9.9
3	-9.9	-9.9	4.0	4.0	4.0	-2.0	-2.0	4.0	4.0	4.0	-9.9	-9.9
4	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9
5	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9
6	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9
1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2	-9.9	-1.0	5.0	5.0	-1.0	-1.0	-1.0	5.0	5.0	5.0	5.0	-9.9
3	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9
4	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9
5	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9
6	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9
1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9
3	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9
4	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9
5	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9
6	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9

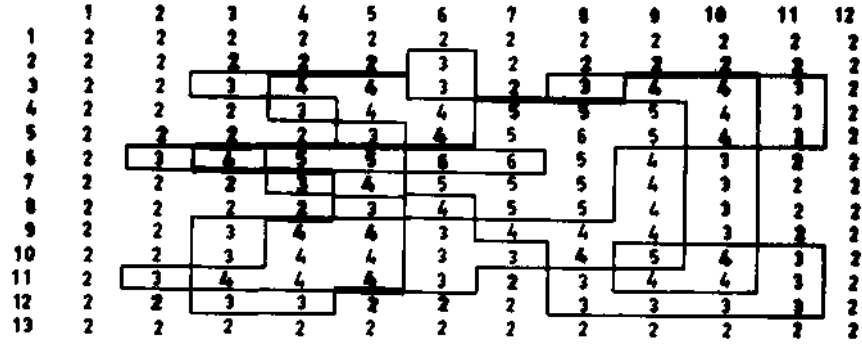
#### 4 ELDE EDİLEN SONUÇLAX

Örnek cevher yatağı için dört değişik algoritmaya göre hazırlanmış olan yazılımlardan elde edilen optimum nihai ocak topografyaları Çizelge 2-5'de verilmiştir. Çizelgelerdeki her bir rakam, kesitlerin her kolonunda işletme sırasında inilebilecek nihai katın bir fazlasını yani nihai topografyayı belirtmektedir.

Genel olarak, aynı kesit üzerinde yanyana bulunan kolonlar arasındaki kat farklarının ve yine yan yana bulunan kesitlerin aynı kolonlarındaki ve çapraz

kolonlarındaki kat farklarının l'den büyük olmaması gerekir. Aynı şekilde, kat nihai sınır konturlarının birbiri ile temas etmemesi, çakışmaması ve birbirini kesmemesi gerekmektedir. Çizelge 2'deki JS algoritması ile elde edilen sınırlarda koyu rakamlarla ve kalın çizgilerle belirtilen bölgelerde bu kurallara uyulmadığı, yan yana veya çapraz pozisyonlardaki kolonlar arasındaki kat farklarının l'den büyük olduğu, kat nihai sınırlarının bazı bölgelerde birbirleri ile çakıştıkları ve bu nedenle uyumsuzlukların olduğu görülmektedir.

Çizelge 2. JS Algoritmasına Göre Optimum Ocak Topografyası

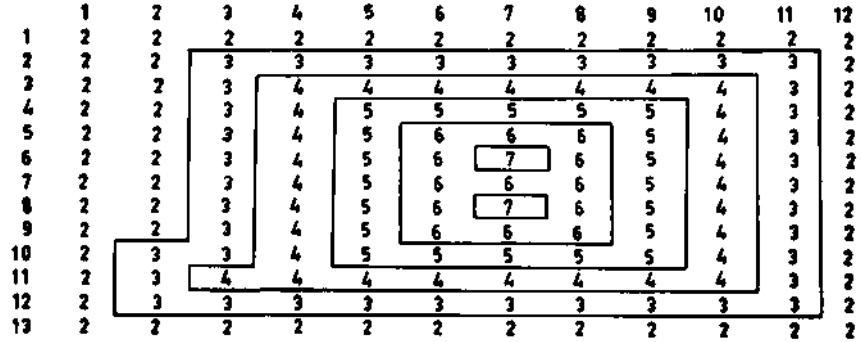


Diğer üç algoritmayla elde edilen sınırlara bakıldığında ise bu kurala uyulduğu görülmektedir. Çizelge 3'deki WW1 algoritması ile elde edilen sınırlarda 6. ve 8.kesitlerin 7. kolonlarında en alt kata kadar üretim yapılmakta ve kesitler üzerinde sınırlar incelendiğinde bazı gereksiz blokların sınırlar içine dahil edildiği görülmektedir. Bu durum, Çizelge 6'da görüldüğü gibi ocağın optimum net değerini azaltmaktadır. WW2 ve PHK algoritmaları ile elde edilen sınırların ise birbirine çok yakın olduğu ve diğerlerine göre daha iyi

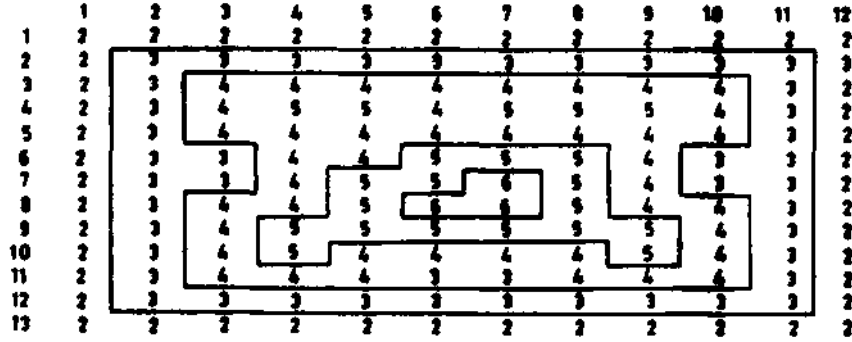
sonuçlar verdiği yine Çizelge 6'daki optimum net değerlerden anlaşılabilir. Bu iki algoritma arasında ise en iyi sonucu pozitif hareketli koni algoritması vermektedir.

Çizelge 6'da en yüksek optimum ocak net değeri JS algoritmasında elde edilmektedir. Bu algoritmayla elde edilen pozitif ve negatif blok adetleri diğerlerine göre daha azdır. Bunun nedeni, daha önce de bahsedildiği gibi, kesitler arasında birden fazla sayıdaki blok atlayışlarıdır. Sınırlar el ile düzeltilindiğinde ise optimumdan uzaklaşmaktadır.

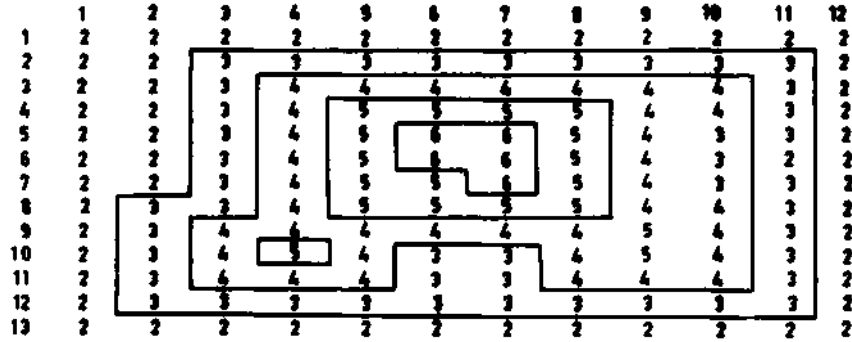
Çizelge 3. WW1 Algoritmasına Göre Optimum Ocak Topografyası



Çizelge 4 WW2 Algoritmasına Göre Optimum Ocak Topografyası



Çizelge 5 PH Algoritmasına Göre Optimum Ocak Topografyası



Çizelge 6 Dört Değişik Algoritmaya Göre Optimum Ocak Net Değerleri ve Sınır İçindeki Blok Sayıları

Algoritma Adı	Optimum Ocak Değeri	Pozitif Blok Sayısı	Negatif Blok Sayısı	Toplam Blok Sayısı
JS Algoritması	205	69	75	144
WW1 Algoritması	119	82	136	218
WW2 Algoritması	140	73	130	203
PHK Algoritması	171	76	114	190

Diğer uç algoritma içinde ise en yüksek optimum net değeri PHK algoritması vermiştir. Aynı şekilde, bu algoritmayla bulunan sınırlar içindeki negatif blok sayısı ve işletilmesi gereken toplam blok sayısı diğerlerine göre daha azdır. Bu durum üretim planlaması

açısından da bir avantajdır. Çünkü daha az sayıda blok, diğerlerine göre daha kısa zamanda işletilecek ve blok net değerleri kısa sürede nakite dönüştürülecektir.

## 5 SONUÇ

Yöneylem araştırma bilim dalındaki ve bilgisayar teknolojisindeki gelişmeler sayesinde bilgisayar destekli açık işletme dizaynı son yıllarda önemli gelişmeler kaydetmiştir. Cevher yatağından maksimum kân elde edebilmek için çok detaylı ekonomik analizler yapmak gerekir. Bunun için değişik alternatiflere göre optimum nihai açık işletme sınırlarının çok kısa sürede ve doğru olarak bulunması zorunludur. Optimum nihai sınırlar, yukarıda bahsedilen yöntemlerle bulunabilmektedir.

örnek cevher yatağı üzerinde test edilen dört değişik algoritmadan en iyi sonucu Pozitif Hareketli Koni algoritması vermiştir. Daha sonra sırasıyla, Wilke ve Wright'ın kontrol işlemi yapmayan, kontrol işlemi yapan ve en son olarak Johnson ve Sharp'ın algoritmaları gelmektedir.

Bu sıralamanın doğruluğunun kanıtlanabilmesi için, değişik cevherleşme özelliklerine ve topografyalara sahip yataklarda bu algoritmaların test edilmesi gerekmektedir.

## 6. KAYNAKLAR

- Denby, B. ve Schofield, D., 1993, *Open-Pit Design and Scheduling By Use of Genetic Algorithms*, Ins. of Min. and Met.-Artificial Int. in the Mineral Sector, The University of Nottingham, 9p.
- Johnson, T. B. ve Sharp, R. W., 1971, *Three-Dimensional Dynamic Programming Method for Optimal Ultimate Pit Design*, US Bureau of Mines, RI 7553.
- Koennigsberg, E., 1982, *The Optimum Contours of an Open Pit Mine; An Application of Dynamic Programming*, Proc. 17th APCOM Symp., Soc. Min. Eng., AIME, New York, p. 274-278.
- Lemieux, M., 1979, *Moving Cone Optimizing Algorithm*, Computer Methods for the 80's, AIME, New York, p. 329-345.
- Lerchs, H. ve Grossmann, I. F., 1965, *Optimum Design of Open Pit Mines*, Can. Ins. Min. Bul., Vol. 58, p. 47-54.
- Lizette, Y., 1988, *The Economics of Computerised Open-Pit Design*, Int. J. of Sur. Min., No 2, p. 59-78.
- Wright, E. A., 1987, *The Use of Dynamic Programming for Open Pit Mine Design: Some Practical Implications*, Min. Sei. and Tech., Vol. 6, p. 97-104.
- Yalçın, E., 1991a, *Açık İşletme Dizaynı için Üç Boyutlu Dinamik Programlama Tekniği*, Madencilik, Cilt 30, Sayı 2, s. 21-27.
- Yalçın, E., 1991b, *Dinamik Programlama Tekniğinde/ti Gelişmeler*, Madencilik, Cilt 30, Sayı 4, s. 13-19.