

AÇIK İŞLETMELERDE NİHAİ SINIR TESBITİNDE YENİ BİR YÖNTEM : DÜZELTİLMİŞ KOROBOV ALGORİTMASI

A NEW METHOD IN DETERMINING THE FINAL OPEN PIT LIMIT : THE KOROBOV ALGORITHM

AH. ONUR

Çukurova Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Adana

ÖZET : Günümüzdeki artan bilgisayar teknolojisine paralel olarak ucuzlayan fiyatları ile kolay edinebilme olanağına sahip olan kişisel bilgisayarlar, tüm alanlarda olduğu gibi madencilikte de sıkça kullanılmaktadır. Özellikle açık işletmelerde planlama aşamasında kullanılan yazılımlar sayesinde zaman ve işgücü konusunda büyük tasarruflar elde edilmiştir. Açık işletme nihai sınır tesbitine yönelik bu çalışma, mevcutlara alternatif bir yöntem olarak geliştirilerek, yöntemin matematiksel kanıtı yapılmıştır. Bu çalışmanın ikinci kısmında ise yazılım, TKİ'ye bağlı ELİ Soma işletmesi Güney Işıklar ocağına uygulanmış ve sonuçlar sunulmuştur.

ABSTRACT : In the developing computer technology, the availability of personal computers have become easy so more applications in the mining industry take place during the last decade. The use of computers have made the planning procedures easy and time efficient for both underground and open pit mining. Rapid changes of the planning parameters have become easy to reflect in the mine planning work in a short time period. This work is about to define the final shape of an open pit. There are some approaches on the subject but mathematically proven this algorithm has some advantages over other methods. Later in the paper, an application for a case study will be introduced.

1.GİRİŞ

Günümüzde kullanılan açık işletme nihai sınırı tesbitine yönelik bilgisayar yazılımları genellikle iki grup halinde ele alınırlar. Birinci grupta, matematiksel olarak doğruluğu kanıtlanmış yöntemler, ikinci grupta ise sonuçta daha kısa zaman süresinde ulaşabilen, fakat optimum sonuçtan fedakarlık edilen yöntemlerdir. Birinci gruptaki en önemli yöntem Lerchs-Grossman' in 1965 yılında geliştirdikleri, grafik teorisine dayanan bir uygulamadır (Lerchs,H., GrossmanJ..F., 1965). Dinamik programlama, lineer programlama ve network akışları yöntemleri bu grup altında incelenebilir. İkinci grupta ise hareketli koni, parametrik analiz, korobov algoritmaları sayılabilir. İkinci gruptaki yöntemlerin en önemli özellikleri istenilen şev açılan ile çalışabilmeleri ve algoritma mantıklarının çok kolay olmalarıdır. Bu önemli

avantajlarından dolayı bilgisayar yazılımı gerçekleştiren kuruluşlar tarafından bu yöntemler tercih edilmişlerdir.

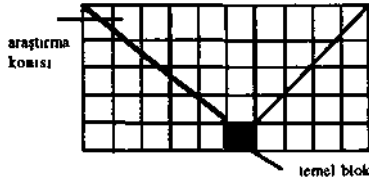
Açık işletme nihai sınırı tesbitine yönelik bütün yöntemler, inceleme yapılacak bölgenin bloklara ayrılmasına dayanır. Özel teknikler vasıtası ile bu bloklara, sondajlardan elde edilen veriler yardımı ile üç boyutlu olarak tüm teknik değerler (tenör, kalori, nem, kül, mekanik değerler vs.) atanır. Bu değerler kullanılarak, tüm blokların ekonomik değerlendirmeleri yapılır. Bunun anlamı, sınır değerinin altında tenöre sahip olan bloklara ka/ı maliyetleri (negatif olarak verilir), sınır değer üstü blokla ise içerdikleri cevherin kalitesine ve üretilebilirliğine bağlı olarak kar değeri (pozitif olarak verilir) olarak atanır. Tüm yöntemlerin mantığı, üç boyutlu olarak ekonomik değerleri verilen bloklar içerisinde hangi blokların kazanılması ile maksimum kar elde edileceğinin belirlenmesidir. Maksimum kar kavramı

şöyle açıklanabilir : Ocak içerisindeki bloklardan birinin veya bir grubun kaldırılması sonucu ile oluşacak yeni ocak karı, bir önceki blok grubunun kaldırılması ile elde edilecek kardan büyük olmalıdır. Yöntem aşağıda ayrıntıları ile açıklanmaktadır.

2. KOROBOV ALGORİTMASI

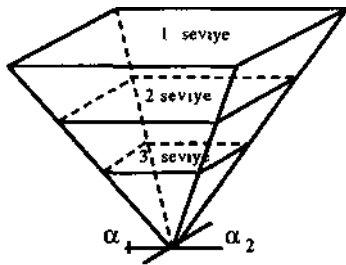
1974 yılında rus matematikçisi tarafından geliştirilen bu yöntem, daha sonra optimum sonuçtan büyük sapmalar meydana getirdiği gözlemlendikten sonra fazla kullanım olanağı bulunmamıştır (Korobov, S. 1974). Yöntem her türlü şav açısında çalıştığı ve hızlı sonuç üretebildiği için yeniden değerlendirmeye değer bulunmuştur.

Yöntemin aslı, bloklara ayrılmış bir cevher yatağında, yüzeyden başlayarak tüm pozitif ekonomik değere sahip bloklardan istenilen yöndeki şev açısı uygulanarak yüzeye ulaşmaya kadar bir ters koni oluşturulmasıdır. Bu koni içerisindeki tüm bloklar, incelenen bir bloğa ulaşılması için kaldırmak zorunluluğu olan bloklardır. Şekil 1' de sunulan 2 boyutlu örnekte görüleceği üzere tabandaki herhangi bir bloktan yüzeye doğru alınacak blokları belirleyen şev açısı istenilen yönde oluşturulabilir.



Şekil 1. İki boyutlu araştırma konisi.

3 boyutlu uzayda ise olay şekil 2' de gösterildiği gibi açıklanabilir ve asıl kullanılacak şekil budur.



Şekil 2. Üç boyutlu araştırma konisi

Oluşturulan koniler içerisindeki bloklara pozitif bloklar tarafından ödeme yapılır. Ödeme işlemi sonunda pozitif bloğun (ekonomik değere sahip blok) değeri ödeme miktarı kadar azalır, ödenen blok değeri 0 olarak değişir. Eğer araştırma konisi içerisindeki tüm negatif blok değerlerine ödemeler yapıldıktan sonra, temel blok pozitif olarak kalabiliyor ise bu temel blok ile araştırma konisi üzerindeki tüm bloklar araştırmadan çıkartılır. Algoritma en üstteki bloklardan, çıkartılan bloklar olmadan araştırmaya devam eder. Araştırma, bölgede pozitif blokların tümü kaldırılmaya kadar devam eder. Her defasında pozitif bir değer ekleneceği için en son nihai sınır maksimum kan verir. Yöntemin daha iyi anlaşılması için iki boyutlu bir örnek sunulacaktır.

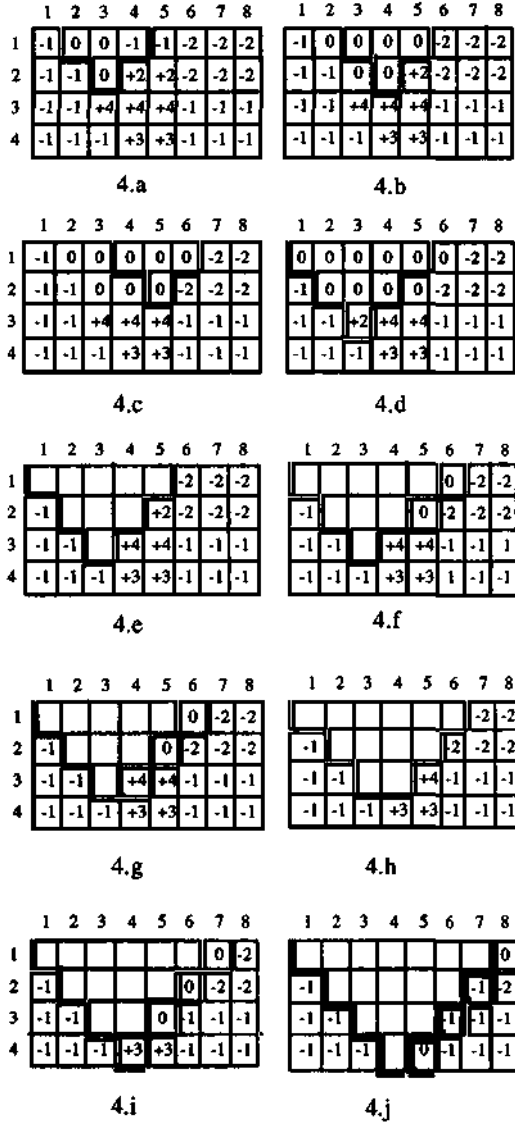
Örneğimiz 4 satır ve 8 sütundan meydana gelmektedir. Burada satır derinliği, sütun ise blokların herhangi bir yöndeki uzantılarını göstermektedir (Şekil 3).

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	-1	-1	-1	-1	-1	-2	-2	-2
2	-1	-1	+2	+2	+2	-2	-2	-2
3	-1	-1	+4	+4	+4	-1	-1	-1
4	-1	-1	-1	+3	+3	-1	-1	-1

Şekil 3. İki boyutlu analiz için örnek bloklar

Örnekteki blok boyutları 10x10 m ve şev açısı her yönde 45° olarak alınmıştır. Şekil 4' te görüleceği üzere, yüzeyden itibaren ilk rastlanan pozitif blok (2,3) dir (birinci indis satır, ikinci indis sütunu gösterir). Bu bloğun değeri +2 dir ve bu bloktan yukarı doğru 45° lik bir açı ile koni oluşturulursa (1,2), (1,3), (1,4) nolu bloklar oluşturulan koni içerisinde kalır (Şekil 4).

+2 değerli temel blok, bu bloklardan ancak ikisine ödeme yapabilir. Sonuç Şekil 4.a' da gösterilmiştir. (1,2), (1,3) ve temel blok (2,3) sıfır değerine sahip olmuştur. Eğer ödeme sonucunda temel bloğun değeri pozitif kalsa ve araştırma konisi içerisinde hiç negatif blok kalmasaydı bu blok grubu kaldırılabilirdi. Ancak bu şartlar yerine gelmediği için araştırma bir sonraki pozitif bloktan devam edecektir. Bu blok (2,4) tür. Temel blok olarak alınan bu eleman üzerinde



Şekil 4. Optimum sınır tesbiti aşamaları

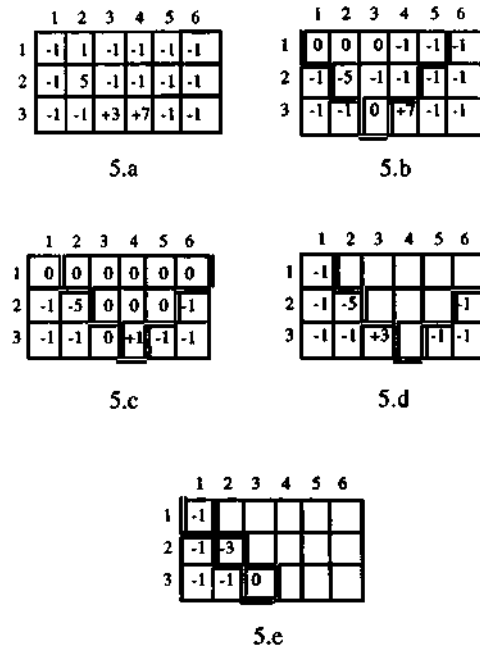
oluşturulacak 45° lik koni içerisinde (1,3), (1,4) ve (1,5) blokları kalır. Bu bloklardan (1,3), (2,3) temel bloğu tarafından ödendiği için sadece (1,4) ve (1,5) blokları ödenecektir. Temel blok ödeme sonunda yine pozitif değerde olmadığı için bir sonraki pozitif değeri bloğa geçilir. Aynı olay burada da söz konusu olduğu için, temel blok (2,5), araştırma konisi içerisindeki (1,6) bloğuna ödeme yapabilir ve 0

değerini alır. Şekil 4d' deki temel blok olarak alınan (3,3), araştırma konisi içerisindeki tüm blokların ödenmesi sonucu +2 değerinde kaldığından, bir başka deyişle pozitif olarak kaldığından dolayı, bu blok tüm araştırma konisi ile birlikte kaldırılır. Elde edilen ekonomik değer :

$$6x(-1) + 2x(+2) + (+4) = +2$$

birim olarak hesaplanır. Algoritmanın özelliği olarak, bu bloklar kaldırıldıktan sonra geriye kalan bloklara orijinal değerleri atanarak yeniden en üst seviyeden araştırmaya devam edilir. Bu mantık ile diğer aşamalar sırası ile Şekil 4 e, f, g, h, i ve j de gösterilmektedir. Nihai sınır böylece tesbit edilir. Burada maksimum kar (+2) + (+3) = +5 olarak tesbit edilmektedir.

2.1. Düzeltilmiş korobov algoritması

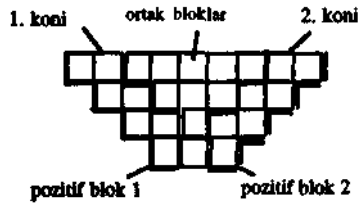


Şekil 5. Hata kaynağını açıklayan örnek

Yukarıda anlatılan algoritma bazı özel durumlarda hata yapabilmektedir. Şekil 5a, b, c, d, e' de verilen örnekte hatanın nedeni anlatılmaktadır.

Bu örnekte 3 satır ve 6 sütundan meydana gelmiştir. Şekil 5.b de görüldüğü üzere, eğer ilk pozitif blok

(3,3) den yukarı bir koni oluşturulursa (1,1), (1,2), (1,3), (1,4), (1,6), (2,2), (2,3), (2,4) kaldırılması gereken blokların oluşturduğu bir gruptur. Pozitif temel blok bu grup içerisinde sırası ile (1,1), (1,2), (1,3)' e ödeme yaptığı takdirde değeri 0' a iner (Şekil 5.b). Bir sonraki işlemde pozitif blok (3,4) üzerinde koni meydana getirerek ödeme yapar. Şekil 5x' de görüldüğü gibi, koni içerisine pozitif blok tarafından ödeme yapıldıktan sonra değeri +1 olarak kalır. Bu da, bu grup blokların üretilmesi gerekliliğini gösterir. Aslında üretildiği zaman -1 lik bir değeri destekler ki, ekonomik bir değer değildir. Hata tesbit edildikten sonra, bunun giderilmesi sağlanmıştır. Dikkat edilirse herhangi kesişen iki koninin mevcut olması durumunda böyle bir hata gözlenmektedir.



Şekil 6. Blokların kesişimi

Pozitif bloklar üzerinde inşa edilen koniler eğer kesişirler ise ödeme önce ortak olmayan bölgeye yapılmalıdır. Bu durum şekil 6' da açıklanmaktadır. Böylece öncelikle kesişen bloklar tesbit edilip, sırası ile birbirlerini kesen bölgeler bulunup ödemeler buralara yapılmalıdır. Bunun en kolay yolu, yanlış ödemeleri bulup bunları ödendikleri yerden kaldırmak ve istenilen yere yemden atamaktır.

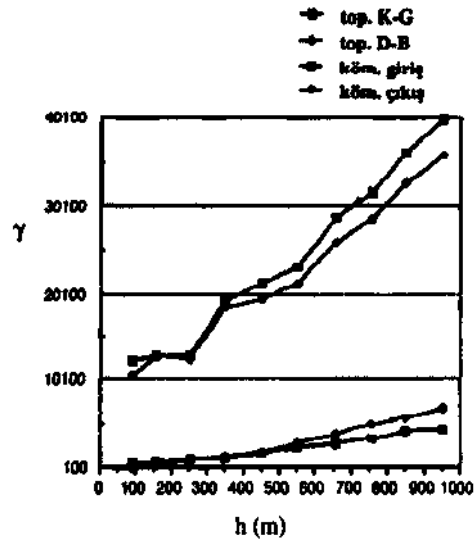
3. SOMA GÜNEY IŞIKLAR HAVZASI İÇİN BİR UYGULAMA

Yukarıda tanıtımı yapılan bilgisayar yazılımı, Soma Güney Işıklar bölgesinden elde edilen sondaj haritasının değerlendirilmesi sonucu oluşturulan veriler kullanılarak, değişik kömür satış değerleri için denenmiş ve sonuçlar irdelenmiştir. Bu bölgenin seçilmesindeki amaç kömürün ortalama 18° - 20° yatım ile derine daldığı bilinmekte ve şu an eldeki ekipman parkı ile 1:7 olan ekonomik örtü kazı

oranının üzerinde örtü kazı oranım sahip olan bölgede yeraltı işletmeciliği planlanmaktadır. Burada amaçlanan, tanıtımı yapılan bilgisayar programı kullanılarak, değişik kömür birim fiyatı, örtü-kazı maliyeti ve şev açılan kullanarak hangi derinliklere kadar açık işletme uygulanabileceğinin saptanmasıdır. Program değişik parametrelere göre çalıştırılarak açık işletme nihai sınırı tesbit edilmiştir.

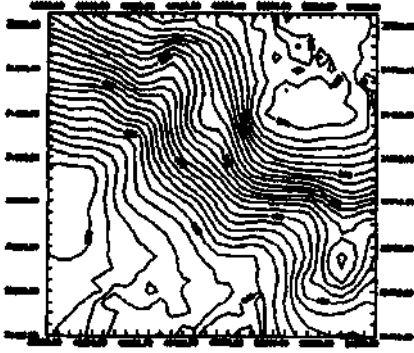
3.1. İşletme için veri hazırlama

önceki bölümlerde de anlatıldığı üzere, verilerin hazırlanması için blok kuramına göre bölgenin bir blok yapısının oluşturulması sağlanmıştır. Elde çok detaylı haritaların mevcut bulunmamasından ve kaliteye yönelik veri eksikliğinden dolayı tüm bölgedeki kömür eşit kalitede kabul edilerek hesaplamalar yapılmıştır. Mevcut sondaj haritalarında kömüre giriş, kömürden çıkış ve topografik değerler için 100x100 m lik iki boyutlu bloklara ayrılarak kriging yapılmış, bu bloklar tavandan tabana 30 m yüksekliğinde düşey bloklara ayrılarak üç boyutlu toplam 42x42x22 adet blok için analiz yapılmıştır. Blok boyutları büyük gibi görünse de, incelenen bölgenin büyük boyutlu olmasından dolayı bilgisayar kapasitesine bağlı kaldığı için bu blok boyutları optimum olarak seçilmiştir.

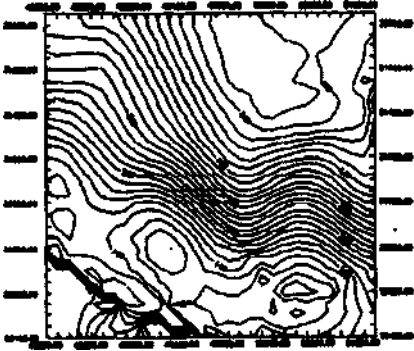


Şekil 7. Üç parametreye göre oluşturulan variogramlar

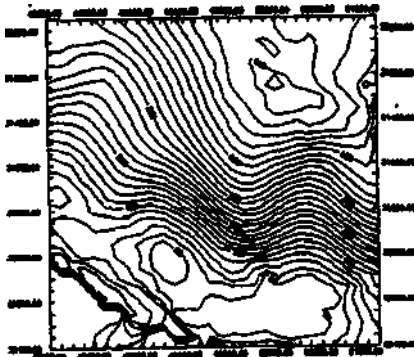
Toplam 113 adet sondajın topografik değeri, kömüre giriş ve kömürden çıkış değerleri için Şekil 7' de verilen variogramlar elde edilerek değerlendirmeler gerçekleştirilmiştir.



Şekil 8. Topografya haritası



Şekil 9. Kömüre giriş haritası



Şekil 10. Kömürden çıkış haritası

Bu variogramları kullanarak, her bir sondaj değeri dosyadan çıkartılmış, oluşturulan matematiksel model kullanılarak her bir sondaj için tahmin işlemi gerçekleştirilmiştir. Daha sonra gerçek değerler ile tahmini değerler arasında korelasyon katsayısı hesaplanmıştır. Topografya için oluşturulan modelde 0.863, kömüre giriş için oluşturulan modelde 0.928 ve kömürden çıkış için 0.940 gibi çok yüksek korelasyon katsayılarına ulaşılmıştır ki, bu kullanılan modellerin geçerliliğini gösterir. Bu modelleri kullanmak sureti ile elde edilen üç harita sırası ile şekil 8,9 ve 10' da gösterilmiştir.

3.2. Elde edilen sonuçların değerlendirilmesi

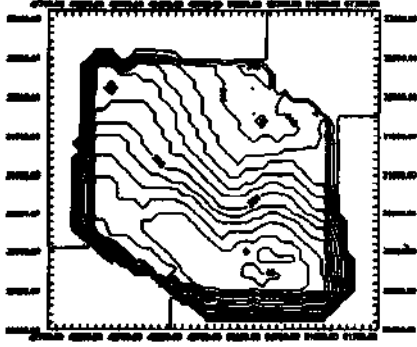
Bir önceki bölümde anlatıldığı üzere hazırlanan veri dosyasında üç boyutlu olarak topografya, kömüre giriş ve kömürden çıkış değerleri 100x100x30 m'lik bloklara atanmıştır. Bu bloklar tablo 1' de verilen maliyetler ile ekonomik değerlendirmeye tabi tutulmuş ve programın oluşturduğu ocak konturlarından sadece ikisi şekil 11 ve 12' de verilmiştir. Bu iki şekilde görüleceği üzere, 500.000 Tl/ton ' luk satış fiyatı ve 2.500.000 Tl / ton ' luk kömür satış fiyatı ile oluşturulan ocak sınırları arasında önemli bir fark meydana gelmiştir. Tablo 1 değişik kömür satış fiyatlarına göre oluşturulan ocakların nihai sınırı içerisindeki net geliri (bugünkü değer ile), toplam açık işletme ile üretilebilir rezervi ve dekapaj miktarını göstermektedir.

Tablo 1. Programın ürettiği sonuçlar

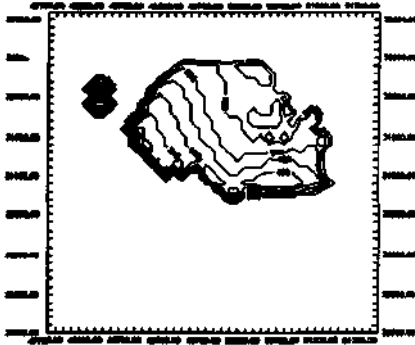
	net kar $\times 10^6$ Tl	toplam kömür miktarı $\times 10^6$ t	toplam örtü miktarı $\times 10^6$ m ³	örtü kazı oranı m ³ /t
Alt.1	481252	258.94	3140.83	12.12
Alt.2	395486	198.55	1879.07	9.46
Alt.3	296779	199.57	1907.75	9.55
Alt.4	196932	198.55	1879.07	9.48
Alt.5	402501	200.89	1854.23	9.28
Alt.6	13326	64.56	333.84	5.2

Tablo 1 (Devam)

	Kömür satış fi. Tl/t	nihai şev açısı	dekapaj mali. Tl/m ³	yıkama mal. Tl/t
Alt1	2500000	45	50000	5000
Alt2	2500000	45	75000	5000
Alt_3	2000000	45	50000	5000
Alt4	1500000	45	50000	5000
Alt5	2500000	60	50000	5000
Alt6	500000	45	50000	5000



Şekil 11. 2.500.000 Tl / ton kömür satış fiyatına göre oluşturulan nihai ocak sınırı



Şekil 12. 500.000 Tl / ton kömür satış fiyatına göre oluşturulan nihai ocak sınırı

Bu uygulamada, daha önce de belirtildiği gibi, kömür kalitesi ile ilgili bilgiler mevcut olmadığı için değerlendirmeye katılmamış, tüm kömür eşit kalori değerinde alınarak tek fiyat, nihai sınırın belirlenmesinde kullanılmıştır. Uygulamada değişik kalori, kül, nem, kükürt oranlarına göre kömürün fiyatı değişmekte, bu da kolaylıkla veri olarak programa girilebilmektedir.

4. SONUÇLAR

Düzeltilmiş korobov algoritması ile, mevcut programların en büyük dezavantajı olan istenilen yönde şev açısı uygulama olanağı sağlanmıştır. Bir matematiksel denklem vasıtası ile ifade edilebilen koni ile istenilen her yönde, hatta değişik seviyelerde farklı formasyonlar göz önüne alınarak şev açısı değişimini sağlamak mümkündür. Yöntemin matematiksel ispatı yapılmış ve doğru sonuç verdiği kanıtlanmıştır. Ayrıca direkt ulaşım ile veriler bilgisayar sabit belleğinden okunup yazılabilmekte, bu da çok büyük boyutlu maden yatakları için kullanım olanağı sağlamaktadır. Üretilen sonuçlar ekranda basamak eşyükselti haritaları, düşey kesit ve sayısal değerler olarak verilmektedir. Örnekteki uygulama 486 SX tipli bir IBM uyumlu bilgisayar kullanarak ortalama 100 dakikada herbir sonuç elde edilmiştir. Bu süre, verilerin karmaşıklığına ve blok sayısına bağlıdır. Böyle bir programın en önemli avantajı, istenilen verilerle programın çalıştırılıp, yeni oluşan durumlara göre, üretilebilecek cevher miktarı, dekapaj oranları kısa süreler içerisinde elde edilmesidir. Ayrıca bölgede bulunan, üretim esnasında karşılaşılabilecek zorluklar (sert formasyonlar, artan su vb.) kazı maliyetini artırma yönünde programa yansıtılabilir.

KAYNAKLAR

- David.M., Dowd, P.A. ve Korobov.S 1974. *Forecasting departures from planning in open pit design and grade control*. 12th APCOM symposium, Golden, Colorado, USA, pp 131-153.
- Dowd, P.A., Onur,A.,H. 1993. *Open Pit Optimization - part 1: optimal open pit design*.

Trans. Instn Min. Metall. .Section A , 102,
A95 - 104.

Korobov, S. 1974. *A Method for determining optimum open pit limits*. Technical Report No EP 74-R-4 Departement de Genie Mineral, Ecole Polytechnique de l'Université de Montreal, Canada.

Lerchs.H. ve Grossman, I.,F. 1965. *Optimum design^fopen pit mines*. Transactions of the Can. IMM, volume LXVII, pp 17-24.

