

# AÇIK OCAK NİHAİ SINIRLARININ BİLGİSAYAR DESTEKLİ TASARIMI VE BATI KEF KROM YATAĞINA UYGULANMASI

COMPUTER AIDED DESIGN OF ULTIMATE PIT LIMITS  
AND APPLICATION OF IT TO THE WESTERN KEF  
CHROMIUM DEPOSIT

A. UNA»\*)  
E. YALÇINI\*\*)

## ÖZET

Bu bildiride, optimum açık ocak nihai sınırlarının bilgisayar destekli tasarımı konusu işlenmektedir. İlk önce optimum sınırların bulunması için geliştirilen teknikler irdelenmekte, daha sonra da bu tekniklerden birisi olan uç-boyutlu dinamik programlama tekniğinin algoritması verilmektedir. Son kısımda ise, uç-boyutlu dinamik programlama tekniğinin bilgisayar yardımıyla Batı Kef Krom Yatağı için açık ocak nihai sınırlarının tasarımında kullanılması konu edilmektedir. Blok modellemesi, veri girişi, yazılım ve donanım konusunda karşılaşılan zorluklar ve bulunan çözümler aktarılmaktadır.

## ABSTRACT

This paper considers the computer aided design of ultimate open pit limits. First, the techniques developed for this purpose are compared and then the algorithm of one such technique, 3-dimensional dynamic programming is given. In the last part, the computer implementation of the 3-dimensional dynamic programming technique to the design of the ultimate open pit limits for the Western Kef Chromium Deposit is discussed. The difficulties encountered in block modeling, data entry, hardware, and software are discussed, and the solutions found are given.

(\*) Y. Doç. Dr., Maden Muh. Bol., O.O.T.U., Ankara

(\*\*) Araş. Gor., Maden Müh. Bol., O.D.T.U., Ankara

## 1. GİRİŞ

Bir cevher yatağının rantabil bir işletmeye dönüştürülmesinde önemli rol oynayan unsurların başında iyi bir planlama gelmektedir. Bir işletmenin planlanması herşeyden önce belirli bir süre içerisindeki üretim miktarının ve dolayısıyla yatağın ömrünün tayin edilmesini öngörür. Planlama sırasında ilk yapılacak iş, nihai açık ocak sınırlarını tayin etmektir. Nihai açık ocak sınırları, bir açık işletmenin ömrü sona erdiğinde elde edilecek nihai şekil ve ölçüleri ifade etmektedir.

Cevher yatağının açık işletme metoduyla işletilmesi uzun yıllar almakta ve çok büyük miktarda yatırım yapılmasını gerektirmektedir. Bu nedenle, işletmeye başlamadan önce yataktaki cevher tiplerinin tenor dağılımları ve rezervleri makul ölçüler içerisinde bilinmelidir. Bütün bunlar sahada yapılan sondajlardan, yarmalardan ve benzeri yollardan elde edilen bilgilerin nitelik ve niceliklerine bağlı olarak hesaplanabilmektedir.

Üretim planlamasının başlıca amacı, cevher yatağından ekonomik ömrü boyunca maksimum kârı elde etmektir. Bu durumda, nihai sınırların tayini planlama işleminin temelini teşkil etmekte ve bir cevher yatağının ekonomik potansiyelinin değerlendirilmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Ayrıca inşa edilecek yerüstü tesisleri, tumba sahaları ve diğer faaliyetler için gerekli yerlerin planlanmasına temel teşkil edecek en önemli etken nihai açık işletme sınırının önceden bilinmesidir.

Nihal açık ocak sınırlarının klasik metodlar ile belirlenmesinde takip edilen aşamalar şöyle özetlenebilir:

1. Düşey kesitlerin çıkarılması

Her düşey kesit üzerinde:

2. İşletmeye uygun cevher sınırlarının belirlenmesi

3. Basamak alt kotlarının çizilmesi

En üst kottan başlayarak en alt kota doğru her basamak için:

4. Sınırlar arasında kalan cevherin miktar ve tenorunun belirlenmesi,

5. Sınırlardan nihai sev açıların çekilerek bir üst basamağa göre diferansiyel dekapaj miktarının belirlenmesi,

6. Diferansiyel dekapajın cevher miktarına oranı ekonomik dekapaj oranını geçiyor ise bir üst kotun nihai kot olarak belirlenmesi (alt kotların yeraltı işletmesine bırakılması).

Yukarıda tarif edilen klasik metodun elle uygulanması halinde ne kadar uzun bir zaman alacağı üzerinde durmaya gerek yoktur. Daha da önemlisi, işletmeye uygun cevher sınırlarının tek etapta belirlenmesi ancak öznel kararlarla mümkündür, üstelik diğer bütün aşamalar da bu öznel karara bağlı olacaktır. Örneğin, herhangi bir kotta cevher yatağı düşey yönde bir arakesme ile ayrılmış ise ve ince olan cevher daha yüksek tenörlü ise işletmeye uygun cevher sınırı olarak ne tanımlanmalıdır' Bu problem o kot için üç seçenerek düşünülerek çözülebilir, (1) sadece ince cevher, (ii) sadece kalın cevher ve fin) ince ve

kalın cevher ile arakesme bir arada. Halbuki arakesmelerle ayrılmış cevher damarlarının sayısı arttıkça bu problemin çözümünün de o ölçüde artacağı aşikardır. Aşağıdaki kotlarda bu sayının veyahut kalınlıkların değişmesi ile de çözümsüzlüğe varılabileceği çok mümkündür.

Klasik metodun diğer bir zayıflığı da optimizasyona elverişli dolaysız bir algoritmaya sahip olmamasıdır. Her ne kadar dekapaj cevher oranı kârı garantileyecek şekilde bir sınır değere oturtuluyor ise de, kârın en üst düzeyde olmasını sağlayacak bir mekanizma oluşturmak klasik metod bünyesinde mümkün olmamaktadır.

Cevher yatağının bloklara bölünerek sayısal olarak modellenmesi klasik metoda göre büyük avantajlar sağlamaktadır. Tenoru ve cevher geometrisini ve dolayısıyla da kârı analitik fonksiyonlar olarak tanımlamak ve buradan klasik optimizasyona gitmek pratikte mümkün değildir ama cevher yatağının bölündüğü her bloğa bir ortalama tenor değeri atamak mümkündür. Böylelikle, her blok için ortalama tenöre göre tesbit edilecek satış gelirinden kazı maliyetim çıkarmak marifetiyle bir de net veyahut kâr değeri atamak mümkündür. Sonuç olarak nihai ocak sınırının tesbiti nihai şev açılarını sağlayacak şekilde içeride kalacak blokların net değerim maksimize edecek bir optimizasyon problemine dönüşmektedir. Nihai açık ocak sınırlarının bulunması problemi günümüzde çeşitli optimizasyon teknikleri ve bilgisayar kullanarak çözülmüştür. Böylelikle, maliyet, satış fiyatı ve rezervler dahil, herhangi bir değişikliğin nihai sınıra nasıl etki ettiğini görmek çok kısa bir süre ve en az emekle mümkün olmaktadır.

## 2 OPTİMİZASYON TEKNİKLERİ

Optimum nihai açık işletme sınırını bulabilmek için son yıllarda bilgisayara dayalı dđđışık teknikler geliştirilmiştir. Bu teknikler genel olarak şöyle sınıflandırılabilir (Koenigsberg, 1982),

- 1 Graf tekniği
- 2 Lineer programlama tekniği
- 3 Network akım tekniği
- 4 Hareketli koni yöntemi
- 5 Dinamik programlama tekniği

Yukarıdaki tekniklerden ilk üçü günümüzde çok az kullanılan tekniklerdir (Kim, 1978). Bu tekniklerin uygulanması çok zor ve uzun zaman almaktadır. Hareketli koni yönetimi ise yaygın olarak kullanılan tekniklerden birisidir. Eğer bütün koni parametreleri doğru seçilir ve koninin yeri de doğru saptanır ise optimum nihai sınır elde edilebilmektedir. Çalışması sırasında büyük miktarda bilgisayar hafızasına ve zamana ihtiyaç vardır (Wright, 1987). Deneme yanılma prensibine dayandığı ve sonsuza yakın parametre değeri denenmesi gerektiğinden gerçek optimumun bulunması garanti değildir. Yaygın olarak kullanılan diğer bir teknik ise dinamik programlama tekniğidir. Bu tekniğın anlaşılmasının çok kolay oluşu, ve çalışması sırasında gereken bilgisayar zamanının makul oluşu, bu tekniğın yaygın olarak kullanılmasını sağlamaktadır. Ayrıca elde edilen nihai sınırlar optimum nihai sınıra çok yakın olmakta ve oldukça güvenilir

sonuçlar vermektedir. Bu çalışmada, optimum nihai sınırlar 3 - boyutlu dinamik programlama tekniği ile bulunmuştur.

Nihal açık işletme sınırlarını tayin etmek amacı ile geliştirilmiş olan bütün yeni modeller blok kavramı üzerine kurulmuştur. Blokların yüksekliği, genellikle işletme basamaklarının yüksekliğine esli olacak şekilde alınır. Blokların diğer boyutları ise yatağı jeolojik yapısı, verilerin duyarlılığı, uygulanacak işletme yöntemi, ekipman seçimi, planlama şekli ve genel eğim açıları gibi etkenlere bağlıdır. Hesaplarda kolaylık olması bakımından bütün blokların aynı boyutlarda olması tercih edilir.

### 3. DİNAMİK PROGRAMLAMA TEKNİĞİ

Dinamik programlama tekniği ilk olarak Lerchs ve Grosemannt1965) tarafından iki boyutlu olarak geliştirilmiştir. Basit oluşu ve gerçeğe yakın neticeler vermesinin yanısıra, bütün diğer kesit yöntemlerinde olduğu gibi bilhassa açık ocağın dip kısımlarında ve kenar kesitlerinde bir takım düzeltmeler gerektirmektedir. Bu da büyük bir gayret ve zaman gerektirmekte ve neticede ancak nadir hallerde iki boyutlu optimum sınırdan üç boyutlu optimum sınırlara seçilebilmektedir. (Shengguı, 1965).

İki boyutlu tekniğin temel teşkil ettiği üç boyutlu dinamik programlama tekniği Johnson ve Sharp (1971) tarafından geliştirilmiştir, iki boyutlu tekniğin başlıca sakıncası olan son ayarlama işlemini minimuma indirmekte ve doğrudan doğruya üç boyutlu optimumu vermektedir. Bu metodun avantajlarından

diğer biri de, açık işletmenin değişik yönlerinde değişik şev açısı elde edilebilir olmasıdır. Bu algorithmada yapılacak küçük bir değişiklikle sağlanabilmektedir.

### 3.1. Dinamik Programlama Tekniğinin Algoritması

3 boyutlu dinamik programlama algoritmasının temeli 2 boyutlu dinamik programlama algoritmasıdır ve esası aşağıdaki şekilde açıklanabilir :

tik olarak cevher yatağı düşey doğrultuda eşit aralıklarla enine kesitlere ayrılır . Her kesit üzerinde, açık işletme sev açısını sağlayacak boyutlarda bloklar oluşturulur ve her bloğun net değeri  $\{m_{ij}\}$  hesaplanarak 2 boyutlu A matrisine kaydedilir. Burada  $i, j$  bloğun bulunduğu satır(kat),  $j$  ise sütun sayısıdır. Sonra, her sütunda en üstteki bloktan başlayarak en alttaki bloğa kadar kümülatif net değer,  $M$  hesaplanarak B matrisine kaydedilir

$$M_{ij} = \sum_{q=1}^j m_{iq}$$

Yanı,  $M_{ij}$ ,  $j$  sütununda  $i$  satırına kadar olan blokların kümülatif net değeridir. Daha sonra

$$P_{ij} = M_{ij} + \max_{r \leq i+r, j-1} (P_{ir})$$

eşitliği kullanılarak P matrisindeki  $P_{ij}$  bloğunun değeri hesaplanır. Burada  $r$ , bir önceki sütun için düşey yönde nihai şev açısını aşmayacak şekilde atlanabilecek (yukarı ve aşağı doğru) bloklar kümesim tariflemektedir. Bu işlem birinci

sütundan başlamak **Qzere** her sütunun bütün katları için tekrarlanır ve  $P$  bloğundan  $\text{Max} (P_{ij})$   $r_i + r_{j-1}$  bloğuna giden bir ok işaretlenir. Daha sonra son sütundan başlayarak ve-okları takip ederek birinci kolona kadar maximum kârı sağlayan optimum sınır tesbit edilir. Yukarıda anlatılan algoritma önce birinci kat için, sonra ikinci kat için ve her seferinde kat sayısını bir artırmak suretiyle son kata kadar tekrarlanır ve kesit üzerindeki nihai sınır, adı geçen kattan en az bir blok alacak şekilde tesbit edilir. Bu sınır içinde kalan bloklardan elde edilen net değer  $S$ - matrisine kaydedilir ( $S_{ik}$ ). Burada  $S_{ik}$ ,  $k$  kesitinin  $i$  katı için bulunan sınırdan elde edilen net değerdir. Her bir kesitin her katı için bulunan  $S_{ik}$  değerlerinden oluşan  $S$  matrisi cevher yatağının uzunlamasına projeksiyon kesitini oluşturmaktadır ve her bir bloğun değeri algoritmanın ilk kısmında anılan  $m$  gibi düşünülebilir. Böylelikle, 2 boyutlu dinamik programlama algoritmasının tekrar uygulanmasıyla, optimum uzunlamasına sınır elde edilir. Uzunlamasına sınır üzerindeki her blok  $(i,k)$  kesiti üzerinde  $i$  katından en az bir blok alacak şekilde bulunmuş optimum olan sınırı temsil etmekte olup net değeri en yüksek düzeyde tutan sınırı tarif etmektedir. Bu algoritma ile tarif edilen sınırın içindeki blokların kümülatif net değerinden büyük bir değer verecek şev açılarıyla uyumlu diğer bir bloklar kümesi bulmak mümkün değildir.

Kısaca özetlemek gerekirse, 3 boyutlu dinamik programlama algoritması öne her düşey kesit üzerinde, her satıra inecek



şekilde 2 boyutlu algoritmayı kullanarak optimum sınırları bulur. Daha sonra bu bilgileri kesitlere dik yönde tek bir düşey kesit üzerine yansıtır. Bu kesit üzerinde 2 boyutlu dinamik programlama algoritmasını tekrar kullanarak nihai sınırları bulur. Her sınır bloğu inilmesi gereken satırı gösterdiği ve bu satıra inildiği takdirde optimum olan sınır daha önce tesbit edilmiş olduğu için 3 boyutta optimum sınır bulunmuş olur.

#### 4. BATI KEF KROM YATAĞI UYGULAMASI

Bu kısımda algoritması yukarıda verilmiş olan üç boyutlu dinamik programlama tekniği uygulayan bir bilgisayar yazılımı vasıtasıyla Batı Kef Krom Yatağı için açık ocak nihai sınırlarının tasarımı anlatılmaktadır. Ayrıca, veri girişi ve blok modelin yaratılması için geliştirilmiş bir dizi bilgisayar yazılımı da tanıtılmakta ve uygulamada karşılaşılan güçlükler ve bulunan pratik çözümlerden bahsedilmektedir.

##### 4.1. Projenin Tanıtımı

Etibank, ruhsat sahibi olduğu Batı Kef Krom Yatağı'nı değerlendirmek üzere bir proje hazırlatmıştır. Bu yatağa, 1989 yılında açık ocak olarak üretime başlatıp 1991 başında da yeraltından üretime geçerek değerlendirmeyi öngören bu projenin sadece açık ocağa esas teşkil edecek sınırların tasarımı bu tebliğde konu edilmektedir. Değişik maliyet ve satış fiyatları yanında proje birincisi ferrokrom satışı ve ikincisi ise tüvenan cevher ve konsantre satışı olmak üzere iki alternatifte dayandırılmaktadır.

#### 4.2. Cevher Yatağı

Yatak N59E doğrultusunda ve 54SE yatımdadır (Teknomad, 1988). Eğim boyunca yer yer ıkı kola ayrılıp birleşmektedir. Orta bölümde kalınlık 50 m.ye çıkmakta olup Kuzeydoğu ve Güneybatıya doğru incelererek surmektedir. Cevher zonu içerisinde gözlenen bantlaşmalar genellikle yantaş-cevher sınır düzlemine paraleldir. Doğrultu boyunca 600 m civarında uzanan yatak yer yer mostra vermektedir.

#### 4.3. Blok Modelin Kurulması

Batı Kef Krom Yatağının yapısı ve tenor dağıtımı cevher kesen 40 m. aralığı i 14 düzey enine kesit üzerinde hazırlanmış bulunmaktaydı. Bu kesitlere dayanılarak kurulan blok modele göre yapılan ilk tasarımlarda ocak nihai kotunun son derece yüksekte çıktığının farkına varılmıştır. Dinamik Programlama algoritması nihai sınırın yüzeyden başlayıp yüzeye çıkmasını gerektirmektedir ve her ocakta sınır cevher içinde başlayıp cevher içinde bitmeyebilir. Bu sebeplerden dolayı 14 kesitin önüne ve arkasına, cevher ihtiva etmese de, ek kesitler konması gerektiği sonucuna varılmıştır. Eğer gerekli sayıda kesit alınmaz ise limit kot yapay olarak üste çıkacak ve kullanıcıyı aldatacaktır. Bilgisayar belleği sınırlı olduğundan eklenecek kesit sayısını mümkün olduğunca düşük tutmak mecburiyeti vardır. Bu mesele, boyuna kesit üzerinde açık ocağın inmesi muhtemel en alt kottaki noktadan her ıkı tarafa şev açısında çekilecek doğruların yüzeyi kestiği yeri eklenecek kesitlerin sınırı kabul ederek çözülmüştür.

Sonuç olarak Doğu yönünde 3 ve Batı yönünde 1 kesit ilave edilerek kesit sayısı 18'e çıkarılmıştır. Kesitler arası mesafe 40 m. ve satırlararası mesafe basamak yüksekliğini de temsil etmek üzere 10 m. olarak alınmıştır. Büyük cepheli Kuzey ve Güney duvarları için şev açısı maksimum 50" olarak kabul edildiğinden „bunu sağlayacak olan sütunlararası mesafenin 8,4 metre olması gerekmektedir. Doğu ve Batı duvarlarında ise şev açısı 50\* üzerinde duraylı olacak ise de bu doğrultuda maksimum blok atlama sayısı (r) beş olarak tesbit edilerek şev açısının 51,3' yi geçmesi önlenmiştir. Böylelikle, her kesit 66 sütun ve 44 satıra(kst) bölünerek üç boyutta eş hacimli toplam 52272 bloktan oluşan bir model oluşturulmuştur.

Dinamik Programlama için gerekli girdi her blok için satış fiyatından üretim maliyetinin çıkarılmasıyla bulunan parasal net değerdir. Bu sebeple her iki alternatif için de önce tenöre bağlı olarak ton başına dolar cinsinden bir net değer modeli çıkartılmıştır. Tenöre bağlı olarak çıkartılan diğer bir model de yoğunluk modelidir. Böylelikle her bloğun ihtiva ettiği cevher veya steril malzeme hacmi ve ortalama tenor bilindiği takdirde, o blok için net değer hesaplanabilmektedir.

Topografya veya yeraltında bırakılmış ambarlar tarafından kesilen bloklar hacim olarak havayla kaplanan kısım nisbetinde daha az cevher veya dekapaj malzemesi içermektedir. Bu gerçeği blok modelde doğru olarak temsil edebilmek üzere her blok için bir de doluluk oranı hesap edilmiştir. Doluluk oranı bir bloğun içerdiği malzemenin hacminin tüm blok hacmine oranı olarak tarif edilebilir. Böylelikle sadece hava içeren bir bloğun doluluk

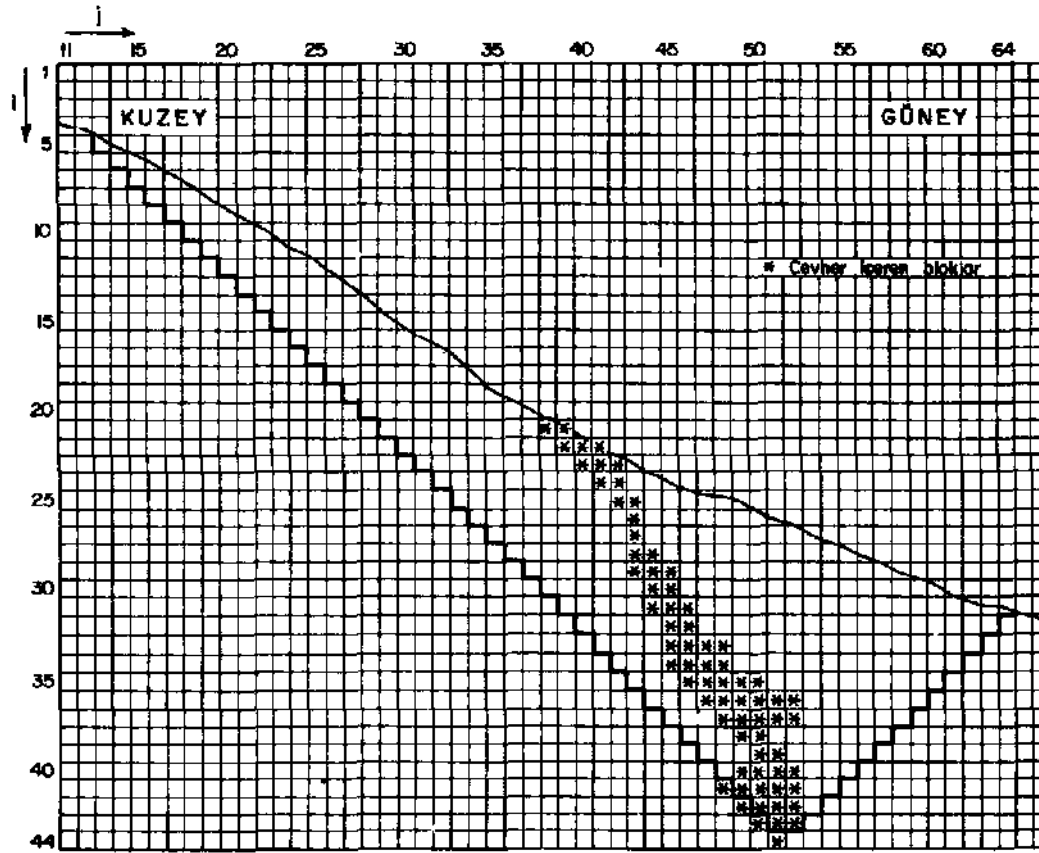
oram sıfır ve hiç hava içermeyen bir bloğun doluluk oranı ise bir olmaktadır. Her bloğun ihtiva ettiği cevher veya steril malzeme hacmi ise standard olan blok hacminin doluluk oranı ile çarpılmasıyla bulunur

Her bloğun ortalama tenoru enine düşey kesitlerdeki cevher geometrisine ve tenor dağılımına göre bloklara taşınmıştır

#### 4.3. Veri Girişi ve Diğer Yazılımlar

Blok model matrisini oluşturan toplam 52272 bloğun her birisi için ortalama tenor ve doluluk oranlarının girilip yoğunluk ve maliyet model Teri içinde kullanılarak her iki alternatif için net değerler yaratılması gerekmektedir. Net değerleri hesaplanarak bilgisayara tek tek girilmesi aylar sürecektir bir operasyondur. Bu sebeple ortalama tenorların ve doluluk oranlarının kolaylaştırılarak bilgisayara iki ayrı dosya olarak girilmesi için bir yazılımın ve bu bilgileri her iki alternatif için net değere dönüştürecek diğer bir yazılımın hazırlanmasına karar verilmiştir.

Ortalama tenor genelde Şekil 1'de görüldüğü üzere toplam blokların ancak %2 sinde limit tenorun üzerindedir. Doluluk oranı ise ancak blokların %3 ünde birden farklıdır. Ven girişi sadece bu bloklar için çok kısa bir zaman gerektirecektir. Bu noktalardan yararlanarak biri tenor, diğeri doluluk oranı dosyası olmak üzere iki dosya yaratacak bir yazılım gerçekleştirilmiş ve veriler bu yazılım kullanılarak girilmiştir. Bu yazılım, tenor için bir üst sınır değeri verildiğinde girilen değerlerin bu değerden



ŞEKİL 1 . 7. nolu kesit üzerinde her iki alternatif için bulunan optimum nihai sınır.

küçük olup olmadığını kontrol ederek hataları en aza indirmektedir. Doluluk oranının bu üst değer birdir. Bu tedbirin hatalı veri girişlerim bütünüyle önleyemediği ve oldukça uzun gecikmelere yol açtığı tecrübeler ile tesbit olunmuştur. Veri giriş hatalarım elimine etmenin bir yolu dosyaların çıktılarına yazdırılarak teker teker kontrolüdür ki pek de pratik bir çözüm değildir, önerilebilecek en pratik çözüm ise verilerin ayrı iki kişi tarafından ya da aynı kişi tarafından iki kere girilerek karşılaştırılması ve tutarsızlıkların düzeltilmesidir.

Gerçekleştirilen bir diğer bilgisayar yazılımı ise blok net değer yazılımıdır. Tenor ve doluluk oram dosyalarını okuyup net değer modelini kullanan bu yazılım bir blok net değer dosyası yaratmaktadır. Her iki alternatif için de blok net değer dosyası bu yazılım tarafından yaratılmakta ve DP algoritmasını uygulayan bilgisayar yazılımına girdi teşkil etmektedir.

uç boyutlu Dinamik Programlama algoritmasını uygulayan bilgisayar yazılımı Fortran IV lisanında yazılmış olup, anabilgisayarda kullanılmaktaydı. Bu proje dolayısıyla kişisel bilgisayara uyarlama çabalarından, karşılaşılan güçlükler ve zaman darlığı sebebiyle vazgeçilmiştir. Verilerin kişisel bilgisayarda girilerek sınırların belirlenme işlerinin anabilgisayarda yapılması dosya transferi açısından büyük zorluklar çıkarmış ise de başarıyla tamamlanmıştır.

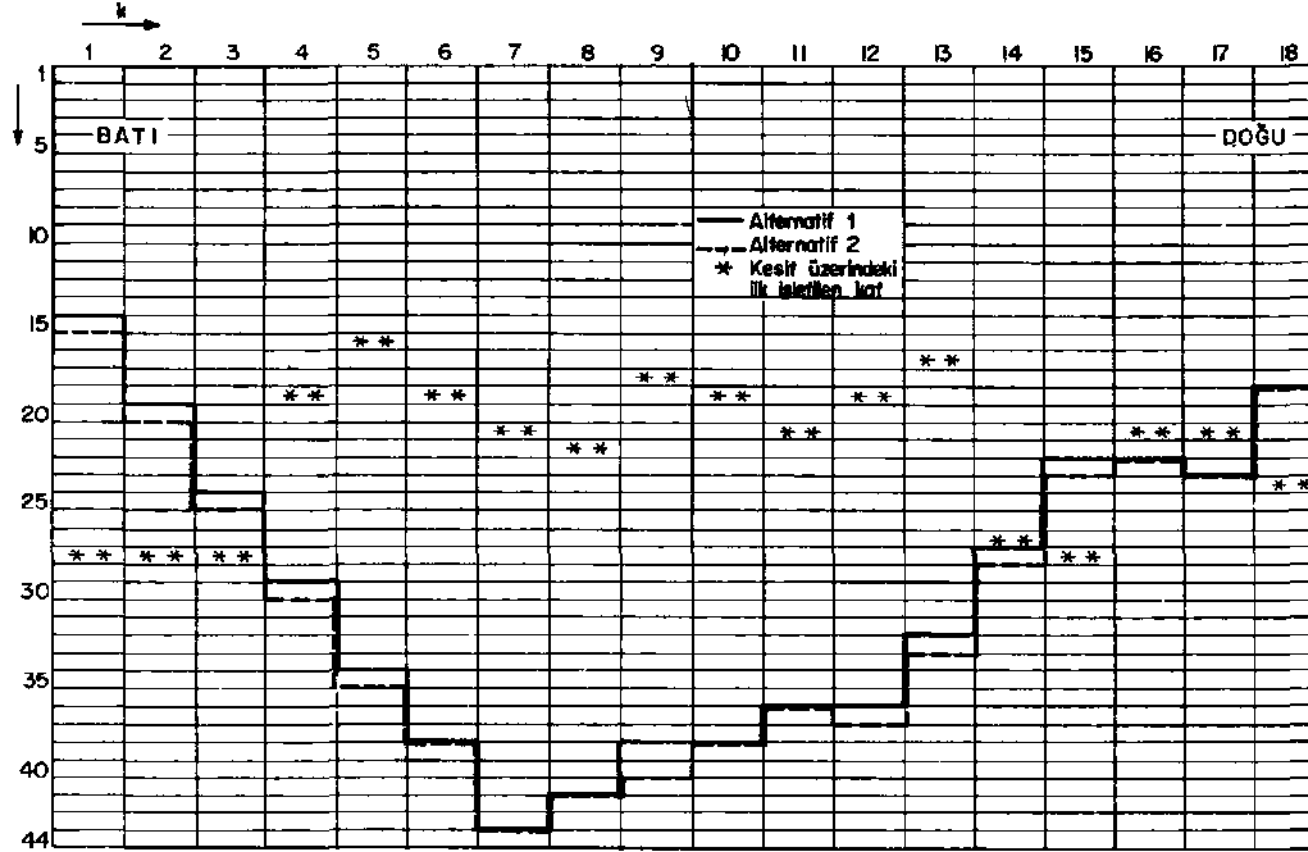
#### 4.5. Açık Ocak Sınırlarının Tasarımı

Açık işletme sınırlarının bulunması için, 3-boyutlu dinamik

programlama tekniği için hazırlanan bilgisayar yazılımı, her iki alternatif için ayrı ayrı çalıştırılarak optimum nihai sınırlar elde edilmiştir. Her iki alternatif için elde edilen boyuna kesit üzerindeki optimum nihai sınırlar Şekil 2 de verilmiştir. Şekil 1 de verilen bir örnek enine kesitte görüldüğü gibi, sınırın 1 blok aşağıya veya yukarıya gitmesine müsaade edilirken, Şekil 2 de verilen boyuna kesitte S bloğa kadar aşağıya veya yukarıya gitmesine müsaade edilmiştir. Bunun sebebi kesit kalınlığının 40 m. ve basamak yüksekliğinin 10 m. oluşudur. Böylelikle oluşan açı, 51.3 dereceyi geçmemektedir. Simr, 7. kesitte limit kota ulaşmakta, bu noktadan itibaren tekrar yükselmeye başlamakta ve 18. kesitte yüzeye ulaşmaktadır.

Boyuna kesitte her iki Alternatif için bulunan optimum sınıra bağlı olarak, enine kesitlerdeki optimum nihai sınırların başlama, en alt ve bitiş noktaları Tablo 1 de verilmiştir. Parantez içindeki birinci rakam katı, ikinci rakam ise sütunu ifade etmektedir. Ayrıca 7 no.lu kesit üzerindeki optimum nihai sınır Şekil 1 de verilmiştir.

Tablo 1 den de görüldüğü gibi kesitlerdeki optimum nihai sınırlar birbirleriyle oldukça uyum içindedirler. Sadece başlangıç ve bitiş kesitlerinde bir miktar düzeltme yapmak gerekmektedir. Bu işlem bir önceki kesitteki taban blok sayısını arttırarak veya eksilterek yapılabilir. Burada yapılması gereken düzeltmenin sebebi, topografyanın çok eğimli oluşu ve dolayısıyla cevhere ulaşınca kadar işletme yapılmamasının (net değer = 0) seçilmiş olmasıdır.



ŞEKİL 2 Alternatif 1 ve Alternatif 2 için boyuna kesit üzerinde bulunan optimum açık işletme sınırları



Tablo i- Enine Kesitlerde Optimum Nihai Sınırların  
Başlama ve Bitiş Noktaları

Kesit , no	A1:ernatıf 1			A2:ernatıf 2		
	Başlama noktası	Taban noktası	Bitiş noktası	Başlama noktası	Taban noktası	Bitiş noktası
1	-	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-	-
3	-	-	-	-	-	-
4	(14,32)	(29,47)	(23,53)	(14,32)	(30,48)	(24,54)
5	(9,24)	(34-49-50)	(27,57)	(8,22)	(35,49)	(27,57)
6	(7,20)	(38-51)	(30,59)	(7,20)	(38-51)	(30,59)
7	(5,13)	(43,51-52)	(31,64)	45,13)	(43,51-52)	(31,64)
8	(9,18)	(41,50)	(29,62)	(9,18)	(41,50)	(29,62)
9	(8,19 )	(38,49,50)	(28,60)	(6,15 )	(40,49)	(28,60)
10	(8,18 )	(38,48)	(30,56)	(8,18 )	(38,48)	(30,56)
11	(10,19)	(36,45)	(28,53)	(10,19)	(36,45)	(28,52)
12	(9,17)	(36,44)	(26,54)	(8,15)	(37,44)	(27,54)
13	(7,15)	(32,40)	(24,48)	(6,13)	(33,40)	(24,49)
14	(6,16 )	(27,37-38)	(22,43)	(6,15 )	(28,37-38)	(22,44)
15	-	-	-	-	-	-
16	(18,39)	(22,43)	(21,44)	(18,39)	(22,43)	(21,44)
17	(15,35)	(23,43)	(20,46)	(15,35)	(23,43)	(20,46)
18	-	-		-	-	

3-boyutlu Dinamik Programlama tekniği ile her iki alternatif için bulunan optimum nihai sınırlar birbirlerine çok yakın çıkmıştır. Kullanılan bilgisayar programı, optimum nihai sınır içindeki bloklardan elde edilecek toplam net kârı da vermektedir.

#### 5. SONUÇLAR

Klasik metodlarla bilgisayar desteksiz açık işletme nihai sınırlarının tasarımı hem özne kararlara bağlı olması açısından hem de metodoloji açısından optimuma ulaşmayı engelleyebilir. Ayrıca, rezerv modelinin, maliyetin, veyahut satış fiyatlarının değişmesi durumunda sınırların tekrar hesaplanması çok zaman alıcıdır. Buna karşılık üç boyutlu dinamik programlama algoritmasını blok model üzerinde uygulayacak bir bilgisayar yazılımı her defasında optimum açık işletme nihai sınırını bulabilecektir.

Rezerv modelinde yapılabilecek değişiklikler ve topografyadaki değişimler bilgisayar sayesinde zahmetsizce güncelleştirilebilecektir. Net değer yazılımında yapılacak birkaç ufak değişiklikle ise çeşitli cevher satış fiyatı' ve maliyet senaryolarına göre açık ocak kârı duyarlılık analizleri derhal yapılabilecektir.

Bu tebliğe, bilgisayar yardımıyla açık ocak nihai sınırı tasarımı yapabilmek üzere gerçekleştirilen bilgisayar yazılımları tanıtılmış ve Batı Kef Krom Yatağına uygulanması anlatılmıştır.

#### KAYNAKLAR

1. KIM, Y.C., Ultimate Pit Limit Design Methodologies Using Computer Models-The State of the Art , Soc. of Min. Eng., October 1978, s.1454-1458.
2. KOENIQSBERQ, E. The Optimum Contours of an Open Pit Mine: An Application of Dynamic Programming , Proc. 17 th. APCOM Symp, Soc. Min. Eng., AIME, 1982, s. 274-287.
3. WRIGHT, E.A., The use of Dynamic Programming for Open Pit Mine Design. Some practical implications ,Min. Sec. and Tech. 1987, S. 97-104.
4. LERCHS, H ve GROSSMANN I.F , Optimum Design of Open-Pit Mines , Can. Mm. and Met. Bull., V. 58, 1965, s. 47-55.
5. SHENGGUI, Z. ve STARFIELD, A.M., Dynamic Protrammig with Colour Graphics Smoothing for Open-Pit design on a Personel Computer , Int. J. of Min. Eng., 1985, s. 27-34.
6. JOHNSON, T.B. ve SHARP, W.R. A Three Dimensional Dynamic Programming Method for Optimal Ultimate Open Pit Design , Bureau of Mines, RI, 7553, 1971
7. TEKNOMAD A.Ş., Etibank Batı Kef Krom Ocağı Modernizasyon Projesi Ocak Edüdü Nihai Raporu , Rapor No 88/6, Mayıs 1988, 105 s.

