

151568

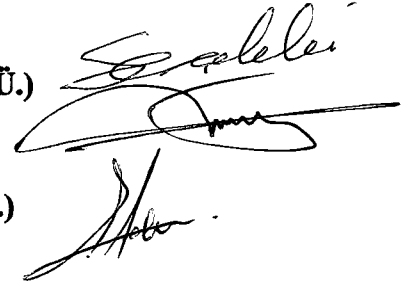
**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BİLGİSAYAR DESTEKLİ ENTEGRE AÇIK İŞLETME  
TASARIMI VE PLANLAMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
Müh. Öykü SELİMOĞLU  
(505011031)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 22 Aralık 2003  
Tezin Savunulduğu Tarih : 14 Ocak 2004**

**Tez Danışmanı : Doç.Dr. Selamet ERÇELEBİ (İ.T.Ü.)**  
**Diğer Jüri Üyeleri : Doç.Dr. Hasan ERGİN (İ.T.Ü.)**  
**Yrd.Doç.Dr. Ataç BAŞÇETİN (İ.Ü.)**



**OCAK 2004**

## ÖNSÖZ

Bu çalışmanın gerçekleşmesinde her türlü yardımı gösteren değerli hocam Sayın Doç. Dr. Selamet ERÇELEBİ'ye çok teşekkür ederim. Eti-Bor A.Ş. Kestelek Bor İşletmesi'nde çalışan Jeoloji Mühendisi Sayın Yavuz GENÇOĞLU'na çalışmam sırasında gösterdiği yardımlar için teşekkür ederim. Ayrıca O.D.T.Ü. Maden Mühendisliği Bölümünde görevli Ar. Gör. Sayın Esenay HACIOSMANOĞLU'na teşekkür ederim. Kuzey Amerika ve Avrupa Bölge Yöneticisi Maden Mühendisi Sayın Robert SLADE'e Vulcan programı hususunda gösterdiği yardımlar için teşekkür ederim.

Öykü SELİMOĞLU

Aralık, 2003



## İÇİNDEKİLER

|                                                            |             |
|------------------------------------------------------------|-------------|
| <b>TABLO LİSTESİ</b>                                       | <b>v</b>    |
| <b>ŞEKİL LİSTESİ</b>                                       | <b>vi</b>   |
| <b>ÖZET</b>                                                | <b>viii</b> |
| <b>SUMMARY</b>                                             | <b>ix</b>   |
| <b>1. GİRİŞ</b>                                            | <b>1</b>    |
| <b>2. BİLGİSAYARLI AÇIK İŞLETME TASARIMI VE PLANLAMASI</b> | <b>3</b>    |
| 2.1. Bilgisayarlı Açık İşletme Tasarımı                    | 3           |
| 2.1.1. Veri Tabanı Oluşturma                               | 4           |
| 2.1.2. Topoğrafyanın Oluşturulması Ve Yüzey Modellemesi    | 4           |
| 2.1.3. Maden Yatağının Modellenmesi                        | 5           |
| 2.1.4. Rezerv Hesaplama                                    | 8           |
| 2.1.5. Çevre Modelleme                                     | 9           |
| 2.2. Açık İşletmenin Planlanması                           | 9           |
| 2.2.1. Üretimin Optimizasyonu                              | 11          |
| 2.2.2. Optimum Açık İşletme Sınırının Belirlenmesi         | 14          |
| 2.2.2.1. Klasik Yöntemler                                  | 19          |
| 2.2.2.2. Lerchs-Grossman Yöntemi                           | 19          |
| 2.2.2.3. Hareketli Koniler Yöntemi                         | 22          |
| 2.2.2.4. Koenigsberg Dinamik Programlama Algoritması       | 23          |
| 2.2.2.5. Wright Dinamik Programlama Algoritması            | 25          |
| 2.2.2.6. Korobov Algoritması                               | 26          |
| 2.2.2.7. Parametirizasyon Tekniği                          | 29          |
| 2.2.2.8. Maksimum Akım Tekniği                             | 30          |
| 2.2.3. Üretim Zamanın ve Sırasının Belirlenmesi            | 33          |
| <b>3. MADENCİLİKTE BİLGİSAYAR YAZILIMLARININ KULLANIMI</b> | <b>38</b>   |
| 3.1. Vulcan Madencilik Paket Programı                      | 39          |
| 3.2. Surpac Madencilik Paket Programı                      | 41          |
| 3.3. Datamine Madencilik Paket Programı                    | 44          |
| 3.4. Microlynx Madencilik Paket Programı                   | 44          |
| 3.5. Minesight Madencilik Paket Programı                   | 45          |
| 3.6. Madencilik Paket Programlarının Genel Değerlendirmesi | 46          |

|                                                                                           |           |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>4. VULCAN 4.5. PROGRAMI İLE ETİ-BOR KESTELEK A.Ş. SAHASININ TASARIMI VE PLANLAMASI</b> | <b>48</b> |
| 4.1. İşletmenin Tanıtılması                                                               | 48        |
| 4.1.1. Coğrafi konum                                                                      | 48        |
| 4.1.2. Genel jeoloji                                                                      | 50        |
| 4.1.3. Mineraloji                                                                         | 54        |
| 4.2. Veri Tabanının Oluşturulması ve Vulcan Programına İşlenmesi                          | 56        |
| 4.3. Maden Yatağının Modellenmesi                                                         | 57        |
| 4.4. Açık İşletme Planlamasının Yapılması                                                 | 60        |
| <b>5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA</b>                                                            | <b>63</b> |
| <b>KAYNAKLAR</b>                                                                          | <b>66</b> |
| <b>EKLER</b>                                                                              | <b>69</b> |
| <b>ÖZGEÇMİŞ</b>                                                                           | <b>90</b> |



## TABLO LİSTESİ

|                                                                                                                    | <u>Sayfa No</u> |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|
| <b>Tablo 2.1.</b> Planlamada Ana İnceleme Alanları ve Karar Verme Alanları ile Bunları Etkileyen Parametreler..... | 10              |
| <b>Tablo 2.2.</b> Optimum Açık işletme Sınırının Belirlenmesinde Kullanılan Teknikler ve Araştırmalar.....         | 17              |
| <b>Tablo 2.3.</b> İki Farklı Üretim Sırası İçin Nakit Akışının İncelenmesi .....                                   | 34              |
| <b>Tablo 4.1.</b> Rezerv Hesapları.....                                                                            | 58              |
| <b>Tablo 4.2.</b> Kestek Açık İşletmesinde Şimdiye Kadar Çıkarılan Dekapaj Miktarı.....                            | 59              |

## ŞEKİL LİSTESİ

|                                                                                                                       | <u>Sayfa No</u> |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|
| Şekil 2.1 : Üretim Planlaması Parametrelerinin Çevrimsel İlişkisi.....                                                | 14              |
| Şekil 2.2 : Her Bloğun Net Değerini Gösteren Düşey Bir Kesit.....                                                     | 21              |
| Şekil 2.3 : 1.Adım Sonundaki Kesit.....                                                                               | 21              |
| Şekil 2.4 : Optimum Nihai Açık İşletme Sınırı .....                                                                   | 21              |
| Şekil 2.5 : Hareketli Koniler Yönteminde Konilerin Aldığı Değer Tabloları                                             | 23              |
| Şekil 2.6 : Koenigsberg Dinamik Programlama Algoritmasına Göre Bir<br>Blok Etrafındaki Komşu Blokların Konumları..... | 24              |
| Şekil 2.7 : Korobov Algoritmasının Bir Örnek Üzerinde İncelenmesi.....                                                | 27              |
| Şekil 2.8 : İki Basamaklı Ekonomik Model.....                                                                         | 30              |
| Şekil 2.9 : Blok Modelin Network Gösterimi.....                                                                       | 30              |
| Şekil 2.10 : Network'ün Optimum Çözümü.....                                                                           | 31              |
| Şekil 2.11 : Optimum Açık İşletme Nihai Şekli.....                                                                    | 31              |
| Şekil 2.12 : Üç basamaklı Örnek Blok Model.....                                                                       | 32              |
| Şekil 2.13 : I.Adım İçin Optimum Çözüm.....                                                                           | 32              |
| Şekil 2.14 : II. ve Son Adım İçin Optimum Çözüm.....                                                                  | 32              |
| Şekil 2.15 : İkinci Örnek İçin Optimum Açık İşletme.....                                                              | 33              |
| Şekil 2.16 : İki Üretim Yönünün Karşılaştırılması.....                                                                | 34              |
| Şekil 4.1 : Eti-Bor Kestelek Bor Madenleri İşletmeleri Sahası Ulaşım<br>Durumu.....                                   | 49              |
| Şekil 4.2 : Kestelek Bölgesinin Neojen Kesiti.....                                                                    | 51              |
| Şekil 4.3 : Kestelek İşletme Sahasının ve Çevresinin Jeolojik Yapısı.....                                             | 53              |
| Şekil A.1 : Orjinal Topoğrafya ve Sondajlar.....                                                                      | 69              |
| Şekil A.2 : Orjinal Topoğrafyanın Görünüşü.....                                                                       | 70              |
| Şekil A.3 : Kestelek Açık İşletmesinin ve Döküm Sahasının<br>Mayıs-2003'teki 3 Boyutlu Görünümü.....                  | 71              |
| Şekil A.4 : Kestelek Açık İşletmesinin Mayıs-2003'teki<br>3 Boyutlu Görünümü.....                                     | 72              |
| Şekil A.5 : Kestelek Sahası'nın Orjinal Topoğrafyasının Konturları.....                                               | 73              |
| Şekil A.6 : Kestelek Açık İşletme Sahası'nın<br>Mayıs-2003'teki Topoğrafyasının Konturları.....                       | 74              |
| Şekil A.7 : Cevherleşmenin Tavan Yüzeyinin İzohips Eğrileri.....                                                      | 75              |
| Şekil A.8 : Cevherleşmenin Taban Yüzeyinin İzohips Eğrileri.....                                                      | 76              |
| Şekil A.9 : Kuzey-Güney Yönünde 23600N Kesiti.....                                                                    | 77              |
| Şekil A.10 : Kuzey-Güney Yönünde 23400N Kesiti.....                                                                   | 78              |
| Şekil A.11 : Doğu-Batı Yönünde 33500E Kesiti.....                                                                     | 79              |
| Şekil A.12 : Açık İşletme Projesinin Basamaklarının Stringler<br>(Çubuklar) Halinde Görünümü.....                     | 80              |
| Şekil A.13 : Açık İşletmenin Üretim Devam Ederkenki Dönemden<br>Bir Görünümü.....                                     | 81              |

|                                                                                                                                       |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Şekil A.14</b> : Üretim Tamamlandıktan Sonra Açık İşletmenin Aldığı Hal<br>(Taban, Orta ve Taban Cevherleri Gözükmemektedir.)..... | 82 |
| <b>Şekil A.15</b> : Cevherleşmenin Tavan ve Tabanının Grid Modellemesi.....                                                           | 83 |
| <b>Şekil A.16</b> : Kuzey-Güney Yönünde 235000Y Kesitinde Blok Modelleme....                                                          | 84 |
| <b>Şekil A.17</b> : Blok Modelleme yapılmış Cevher Yatağının 100metre<br>Etki Alanlı Kesiti.....                                      | 85 |
| <b>Şekil A.18</b> : Kuzey-Güney Yönünde 23500N Kesitinde % Tenör<br>Değerleri Atanmış Olan Blok Modellemenin Görünümü.....            | 86 |
| <b>Şekil A.19</b> : Lerchs-Grossman ile Oluşturulan Alternatif Açık İşletme Projesi                                                   | 87 |
| <b>Şekil A.20</b> : Lerchs-Grossman Yöntemiyle Projelendirilen<br>Alternatif Optimum Açık İşletme Sahasının Görünümü .....            | 88 |
| <b>Şekil A.21</b> : Lerchs-Grossman Yöntemiyle Projelendirilen Alternatif<br>Optimum Açık İşletme Sahasının 3 Boyutlu Görünümü.....   | 89 |



## **BİLGİSAYAR DESTEKLİ ENTEGRE AÇIK İŞLETME TASARIMI VE PLANLAMASI**

### **ÖZET**

Madencilik birçok sektöre kıyasla büyük yatırımlar gerektiren bir sektördür. Dolayısıyla bir madeni işletmeye başlamadan önce detaylı ve titiz bir hazırlığın yapılmasının önemi, işletmenin çalışmasının sürdüğü ileriki yıllarda daha iyi anlaşılmaktadır.

Bilgisayar destekli tasarım ve veri tabanlı yazılım programları 80'li yılların başından beri madencilik sektöründe yaygın olarak kullanılmaktadır. Bilgisayar teknolojisindeki gelişmelere paralel olarak, madencilikte kullanılan yazılımlar da hızla gelişme göstermiş ve yaygın uygulama alanı bulmuşlardır.

Jeolojik modelleme, rezerv tespiti ve üretim planlaması gibi çalışmaların verimli ve kısa sürede yapılması bilgisayar destekli sistemler olmadan çok zaman alıcı olmaktadır. Zaten günümüzde, artan bilgisayar teknolojisine paralel olarak gelişen bilgisayarların madencilik alanında kullanımı kaçınılmaz olmuştur.

Bu çalışmada; madencilığe yönelik yazılımların açık işletme tasarımı ve planlamasındaki çalışma prensipleri ve takip ettiği aşamalar anlatılmıştır. Bu aşamalar; veri tabanı oluşturma, modelleme, üretim planlaması gibi ana başlıklar altında toplanabilir. Üretim planlaması içerisinde, optimum ekonomik açık işletme sınırının tespitinde kullanılan algoritmalar tanıtılmıştır. Madencilik sektöründe kullanılan bu tür yazılımlardan Vulcan, Surpac, Datamine, Microlynx, Minesight paket programları kısaca özellikleriyle tanıtılmıştır. Vulcan 4.5 programı ile Eti-Bor A.Ş. Kestelek Açık İşletmesi Sahası'nın tasarımı ve planlaması yapılmıştır. Eti-Bor Kestelek Açık İşletmesi Müdürlüğü'nden alınan topoğrafya verileri (koordinatlar ve dere gibi yüzey topoğrafyası bilgileri) ve sondaj verileri (koordinatlar, formasyonlar ve % B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tenör değerleri) ile bir veri tabanı dosyası oluşturulmuştur. Modellenen arazi ve cevher yatağı ile rezerv ve dekapaj hesapları yapılmıştır. Kestelek Açık İşletmesinin blok modellemesi yapılmıştır. Bloklara ayrılan sahada bloklara atanan değer sayesinde her bloğun rezervi, formasyonu ve tenör kalitesi hesaplanabilmektedir. Daha sonra planlama bölümünde sahaya uygun bir açık işletme projesi yapılmıştır. Vulcan programı içinde Lerchs-Grossman algoritması çalıştırılarak alternatif optimum açık işletme projesi geliştirilmiştir. Sonuçta, madencilik paket programlarında işletmenin tasarımının ve planlamasının birbirine bağımlı olarak çalıştığı görülmüştür. Ayrıca bu tür madencilik paket programlarının kullanımı sayesinde maden tasarımı ve planlaması işlemlerinin çok daha kolaylaştığı, pratikleştiği ve yapılan işlerin hassasiyetinin arttığı görülmüştür.

## **INTEGRATED COMPUTER AIDED OPEN PIT DESIGN AND PLANNING**

### **SUMMARY**

When compared to other industries, mining industry needs intensive capital investment. For this reason, before starting to produce any ore, a detailed exploration study of the ore body and careful planning of mining operations are necessary in order to avoid unexpected expenses.

Since early 80's computer aided design programs and database softwares are used in mining industry. With the technological improvements in computers, mining softwares have been developed very fast and finding applications widely.

It is a hard and time consuming job to do mine planning and design by hand. Database creation, surveying, geological and geostatistical modeling, mine planning and production optimisation and the environmental modelling can be easily made with integrated computer aided systems.

In this study, the principles and stages of mine design and planning of mining operations with the help of softwares are mentioned. These stages can be gathered under the creating database, modelling and production scheduling titles. Under the production scheduling part, the algorithms of defining optimum economic open pit limits are mentioned. Briefly, Vulcan, Surpac, Datamine, Microlynx, Minesight package programs are explained with their properties. Eti-Bor A.Ş. Kestelek Open Pit Mine designed and planned by using Vulcan software program. Topographic data (coordinates and surface topographic informations) and drilling data (coordinates, formations and % B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> grade) are obtained from Eti-Bor A.Ş. Kestelek Bor Mines. By using ore body model and topography model, waste amount and orebody deposit reserves are calculated. Blok modelling applied to Kestelek open pit mine and by this way from each blok; deposits, formations and ore grade values are obtained. In mine planning part, an open pit mine projected and also by using Lerchs-Grossman algorithm in Vulcan software program, an optimum open pit mine is determined. In conclusion, how mining software programs are integrated with design and planning is seen. Also, by using this kind of softwares how design and planning are done effectively and easily is demonstrated.

## 1. GİRİŞ

1950’li yıllarda birçok maden işletmesinde elektro mekanik makineler bulunmasına rağmen, makinaların kullanım yavaşlığı ve işletme maliyetinin yüksekliği nedeniyle, bilgisayarın madencilik faaliyetlerinde kullanımı yaygınlaşamamıştır. Ancak, 1950’li yılların sonunda ve 1960’ların başında IBM 1620 ve IBM 1401 türü bilgisayarların geliştirilmesi ile küçük programlar madencilik sektöründe kullanılmaya başlanmıştır. 1960’lı yıllardan 1980’li yıllara kadar bilgi işlem dünyasındaki tüm gelişmeler, madencilik faaliyetleri ile uğraşan araştırmacıların ufkunu açmış ve faaliyetlerin geliştirilmesi ve hızlı akışının sağlanması yönünde minimum hata sınırları çerçevesinde kompleks yapıdaki yazılım programlarının gelişmesine neden olmuştur. Madencilik faaliyetleri için geliştirilen yazılım programlarının geliştirilmesinde etkili olan diğer bir faktör ise bilgisayar işletim sistemleri ve programlama dillerinin gelişmesidir. 1990’lı yılların özellikle ikinci yarısından sonra bilgisayar donanımlarındaki ucuzlamalar; birbiriyle ilişkili sistemlerin geliştirilmesi ve yazılımların kullanılmasının yaygınlaşması sayesinde madencilik endüstrisinde de bilgisayar kullanımlarında büyük artışlar olmuştur. Ayrıca madenciliğin özel konuları için çok sayıda yazılımın geliştirilmesi ile de seçim alternatifleri çoğalmıştır.

Günümüzde birçok firma cevher yatağının modellenmesi, rezerv hesaplanması, maden tasarımı ve üretim planlaması konularında birbirlerine geçişler yapacak şekilde entegre yazılımlar piyasaya sürmüşlerdir. Bu alandaki programlardan bazıları şunlardır: Coralis, Datamine, Geovariance, Minesight, Microlynx, Pcmine, Surpac, Whittle, Micromine, Geosoft, Vulcan, Surpac). Entegre madencilik yazılımlarında bir veri tabanı oluşturulduktan sonra haritaların çizilmesi, yatağın modellenmesi, rezervin hesaplanması, maden işletmesinin planlanması, üretim optimizasyonu ve çevre modellemesi ek yazılımlara ihtiyaç duyulmadan yapılabilir hale gelmiştir.

Madencilik yatırımlarının gerek riskli olması gerekse ilk yatırımın geri dönüş süresinin uzun olması nedeniyle maden sahalarının detaylı analizlerinin iyi yapılması

büyük önem taşımaktadır. İşletmenin zaman içerisinde alacağı şekil, seçilen metodun zamanla ocak yapısını nasıl değiştireceği ve diğer önemli parametrelerin bilgisayar ortamında önceden belirlenip, tasarlanmasının önemi bu nedenle artmıştır.

Günümüz gelişen bilgisayar teknolojisinde, bilgisayar destekli maden tasarım teknikleri, maden mühendisi tarafından cevher yataklarının optimum cevher üretimini sağlamak amacıyla tasarım modeli analizlerinin yapılmasında yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Bu sayede, normalde bir çok hesaplama ve bunlara bağlı olarak oluşturulan plan, kesit vb. gibi çizimler çok daha hassasiyetle yapılabilir hale gelmiştir. Ayrıca bunlarla ilgili parametrelerin değişmesi durumunda aynı işlemlerin çok daha kısa sürede yapılmasını sağlamaktadır. Proje planlama ve duyarlılık analizlerinin çok hızlı bir şekilde yapılabilmesi sayesinde değişen şartlarda daha önceden ekonomik ve teknik olmayan parametreler uygulanabilir hale gelmektedir.

Bilgisayar ortamında verilerin aktarılması ve yorumlanması kolaylığı, maden işletmesine yön veren kararların üretim faaliyetleri devam ederken alınabilmesini sağlamaktadır.

Bu çalışmada paket programlarla bilgisayar ortamında açık işletme tasarımı ve planlamasının nasıl yapıldığı anlatılmıştır. Dünyada maden sektöründe kullanılan Vulcan, Surpac, Datamine, Microlynx, Minesight programları kısaca özellikleriyle birlikte tanıtılmıştır. Bu çalışmada Maptek Firmasının en son sürümü olan Vulcan 4.5 madencilik paket programı kullanılarak, ETİBOR A.Ş. Kestelek Bor Açık İşletme Sahası'nın entegre açık işletme planlaması ve tasarımı yapılmıştır.

## **2. BİLGİSAYARLI AÇIK İŞLETME TASARIMI VE PLANLAMASI**

### **2.1. Bilgisayarlı Açık İşletme Tasarımı**

Maden işletilmeye başlamadan önce şu işlemlerin yapılması şarttır:

- 1) Sondaj ve jeolojik verilerin yüzey jeolojisi bilgilerini de kullanarak değerlendirilmesi ve yatağın göz önünde canlandırılması
- 2) Düşey ve yatay kesitlerin çıkarılması
- 3) Cevher yatağının sınırlarına göre ve jeolojik formasyonların yüzey konturlarına göre 3 boyutlu bir cevher yatağı modelinin oluşturulması
- 4) Tenör ve rezerv hesaplarının yapılması
- 5) Hangi yöntemle madenin işletileceğinin belirlenmesi ve planlarının yapılması
- 6) Ekonomik fizibilite çalışmaları
- 7) Çevre Modelleme

Bir madeni çalıştırmaya başlamadan önce yapılan bu işlemler oldukça önemlidir. Bu işlemlerin elle yapılması, sonuçların hassaslığını etkileyeceğinden gelecek dönemlerde madenin üretimi sırasında problemlere yol açabilir. Buna karşılık son on yıldır bilgisayar donanımlarındaki ucuzlamalar, yazılımların kullanılmasının yaygınlaşması, birbiriyle ilişkili işletim sistemlerinin geliştirilmesine bağlı olarak büyük ilerlemeler sağlanmış ve çok yönlü madencilik paket programları geliştirilmiştir.

1980'lerin başından bugüne kadar CAD ve veritabanı tipi yazılımlar maden endüstrisinde kullanılmaya başlanmış olup, özellikle jeostatistiksel tekniklerin gelişmesi ile maden yataklarında bilgisayarlı modelleme yöntemleri gelişmiştir. Günümüzde gelişen bilgisayar teknolojisi ile bilgisayar destekli maden tasarım teknikleri, maden mühendisleri ve jeologlar tarafından cevher yatağından optimum üretimi sağlamak amacıyla yaygın olarak kullanılmaya başlamıştır.

Günümüzde birçok firma cevher yatağının modellenmesi, rezerv hesaplanması ve maden planlaması konularında birbirlerine geçişler yapacak şekilde entegre yazılımlar piyasaya sürmüşlerdir. Bu programlardan bazıları şunlardır: Datamine, Microlynx, Minesight, Pcmine, Surpac, Vulcan, Micromine.

Bilgisayarlı açık işletme tasarımı aşağıdaki aşamalardan oluşmuştur:

#### **2.1.1. Veri Tabanı Oluşturma**

Arama faaliyetlerinde sahaya ait elde edilen dataların depolanması, sınıflandırılması, değerlendirilmesi, logların oluşturulması, dataların temel istatistik analizlerinin yapılması, her doğrultuda jeolojik kesit alınması ve görüntülenmesi, rapor edilmesi v.b. işlemler "jeolojik veri tabanı modülü" ile yapılmaktadır. Veri tabanının; Microsoft Access, Paradox, Oracle (Unix), Informix (Unix) gibi popüler veri tabanları ile uyumlu olmaları ve direk olarak veri transferi yapılabilmesi önemli bir parametredir. Veritabanının bu tür yazılımlarda önemli bir yeri olup, yazılımın aşağıda açıklanacak diğer modülleri tarafından yoğun olarak kullanılmaktadır.

#### **2.1.2. Topoğrafyanın Oluşturulması ve Yüzey Modellemesi**

Maden sahasının mevcut durumu ve çevresinin topoğrafik durumu, sahanın planlanmasında önemli bir parametredir. Topoğrafik bilgilerin bilgisayar ortamına aktarılması için mevcut haritalardaki konturlar veya 3 boyutlu topoğrafik noktalar tarayıcı ile bilgisayara yüklenir. Eğer araziden alınmış sayısal datalar mevcutsa, paket programların topoğrafya (surveying) modülü kullanılarak DXF uzantılı olarak direk transfer yapılır ve sahaya ait diğer bütün veriler girilir. İşletme içinde ve çevresindeki bina ve yerleşimler, sondaj noktaları, mevcut işletme basamakları, yollar v.d. veriler topoğrafik veritabanına (survey database) yüklenir. Maden ocağında yeni aynalar oluşturulması gerektiğinde teknik ve ekonomik açıdan en uygun yerin belirlenmesinde topoğrafik veritabanına yüklenen veriler kullanılır. Mevcut işletme ve topoğrafik datalar girildikten sonra, "Digital Terrain Modelleme (DTM) modülü" ile üç boyutlu olarak (3D) işletmenin durumu ve çevresi modellenir. DTM modülü, kullanıcı tarafından belirlenen kıstaslara bağlı olarak (kod, jeolojik formasyon, kimyasal analiz değerleri v.b) belirlenen yüzeyi ileri bir programlama tekniği ile üçgenler oluşturarak 3D olarak modeller.

Bu oluşturulan yüzeylerde kimyasal dağılımlar istenilen aralıklarda değişik renklerde elde edilebileceği gibi iki DTM arasında kalan malzeme miktarı da (örneğin: iki işletme basamağı) çok hassas olarak program tarafından hesaplanabilmektedir.

### **2.1.3. Maden Yatağının Modellenmesi**

Cevher yatağının 3-D modeli; fizibilite, planlama ve üretim aşamasında cevher yatağı ile ilgili işlemlerin bilgisayar yardımı ile yapılmasına imkan sağlayan bir veri tabanıdır. Örneğin, nihai sınır analizleri, üretim planlaması gibi işler için bilgisayar destekli yöntemlerin kullanılabilmesi cevher yatağının 3-D modelin varlığına bağlıdır.

Maden yatağının analizinde arazide elde edilen topoğrafik, jeolojik, sondaj ve diğer kimyasal analiz değerleri bir veri tabanında saklanmakta ve bu verilerin istatistik analizleri yapıp, istenen formatta rapor edilmeleri sağlanabilmektedir. Ayrıca programların diğer modülleri de bu veri tabanını kullanarak üç boyutlu modelleme, rezerv hesabı, planlama ve diğer işlemleri gerçekleştirmektedirler.

Çubuk (string) ve katı (solid) modelleme tekniklerinde kesitlere ayrılmış maden yatağında her bir kesitteki sondaj loglarının içerdiği kimyasal analiz ve jeolojik formasyon verileri, stringler kullanılarak kesitler arasında otomatik olarak interpolasyon yapılarak üç boyutlu jeolojik modeller oluşturulmaktadır.

Blok modelleme olarak bilinen yöntemde saha data sıklığına ve sahanın yapısına bağlı olarak belirlenen sınırlar içerisinde bloklara ayrılmaktadır. Bunlar; düzenli sabit blok model, değişken blok model ve düzensiz blok model olarak üç şekilde yapılmaktadır. Madencilik programlarında sabit blok model en çok kullanılandır. Data noktasından uzak blokların değerlerinin atanmasında çok sayıda değişik matematik ve mühendislik yaklaşımları kullanılır. Her bloğa ait değerler (sayısal ve/veya tanımlayıcı) direk, en yakın komşu, n'inci dereceden uzaklığın tersi, kriging, stringlerden atama vb. yöntemlerle yapılmaktadır. Paket program seçiminde bu seçeneklerin kullanım alanına bağlı olarak göz önünde tutulması gereken önemli bir parametre olmaktadır (Erçelebi ve Ergin, 1999).

Jeoistatistik modelleme tekniğinde maden yatağı temel istatistik değerlendirmeden sonra, mevcut data seti için uygun olan ileri jeoistatistik teknikleri ile iki veya üç

boyutlu variogram analizleri yapılmakta ve saha bilgisayar ekranında interaktif olarak modellenmektedir. Bu modelleme tekniği; variogramların hesaplanması, variogram modellenmesi ve nihai olarak da variogram modelin geçerliliğinin test edilmesini kapsamaktadır. Programın, temel ve ileri jeostatistiksel analizler açısından yeterliliği ve maden yatağının modellenmesi için hangi variogram türlerine uygun olduğu önem taşımaktadır.

Cevher yatağını bilgisayar ortamında değerlendirebilmek için onu sayısal olarak ifade etmek gerekmektedir. Cevher kütlelerinin sayısal ifadesine blok modeli veya cevher yatağının 3-D modeli denir. Bir cevher yatağının blok modeli, cevher yatağının soyut küçük bloklara bölünmesi ile elde edilir. Küçük soyut bloklar, x,y ve z koordinat sistemine bağlı üçlü indeks sistemi (i,j,k) ile tanımlanarak her bir bloğa jeolojik karakteristikler, metalurjik özellikler, jeomekanik parametreler vs. gibi veriler atanır. Bu atama işlemi mevcut sondaj verilerini kullanan değişik interpolasyon metotları ile yapılır.

Bloklara veri atamada; geometrik (üçgen, poligon, kesit, vb.), mesafeyle ters orantılı ve jeostatistik gibi interpolasyon metotları kullanılır. Bu metotlardan jeostatistik; maden yatağının yapısal analize imkan tanıdığı, veri atanacak bloğun etrafındaki bilinen bütün noktaları göz önüne aldığı ve öteki metotlara kıyasla tahmin hatası daha düşük olduğu için tercih edilmektedir.

Cevher yatağının blok modeli iki aşamalı olarak gerçekleştirilmektedir. Birinci aşamada, yatak yatay düzlemde soyut bloklara bölünerek 2-D modeli oluşturulmaktadır. Blok boyutları sondajlar arası mesafeye, modelin amacına ve jeolojiye bağlı olarak değişmektedir. Bu soyut bloklara, jeostatistiksel yöntem kullanılarak kalınlık ve tenör değerleri, cevhere giriş kotu değerleri atanmaktadır.

Yatak; 2-D modeli çıkarıldıktan sonra, topoğrafik bilgiler kullanılarak belirlenen aralıklarda yatay dilimlere bölünerek ve 3-D modeli elde edilmektedir.

Blok modelini oluşturan bloklara değer atamak için önce verilerin variogram analizi yapılır, daha sonra basit kriging yöntemi ile her bloğa ait cevher kalınlığı, cevhere giriş kotu ve tenör gibi değerler hesaplanmaktadır.

Jeostatistiksel yöntemle blok modeli elde etmek için öncelikle yatağın variogram analizi (yapısal analizi) yapılmalıdır. Cevher yatağında variogram analizi, örneğin cevher kalınlığı, cevher giriş kotu değerleri için yapılabilir. Cevher kalınlığı variogram analizleri değişik yönlerle (örneğin:  $0^0$ ,  $90^0$ ) göre yapılabilir. Variograma uyarlanan değişik matematiksel modeller (örneğin: küresel) vardır. Variogram model parametrelerinin doğruluğu çapraz doğrulama (cross-validation) tekniği ile kontrol edilmektedir. Bu teknikte; eldeki sondaj verileri sırasıyla yok gibi kabul edilerek her biri variogram parametreleri kullanılarak kriging yöntemi ile tekrar hesaplanmaktadır. Variogram parametrelerinin doğruluğu hesaplanan değerler ile gerçek değerler arasındaki farkın küçüklüğüne bağlıdır. Mükemmel bir uyum için bu fark sıfır olmalıdır. Bu mümkün olmadığı için hesaplanan değerler ile gerçek değerlerin grafiğinin 45 derecelik bir doğru etrafında yoğunlaşması istenir.

Cevhere giriş kotu için elde edilen variograma uyarlanan değişik matematiksel modeller (örneğin: gaussian) vardır. Cevher kalınlığında olduğu gibi cevhere giriş kotu variogram parametrelerinin doğruluğu da çapraz doğrulama tekniği ile kontrol edilmektedir.

Kriging yöntemi ile değer atamak için; yatak, jeolojik yapı ve sondajlar arası mesafe dikkate alınarak belirlenen blok boyutlarına ayrılır. Her bir bloğa variogram parametreleri kullanılarak cevher kalınlığı ve cevhere giriş kotu değerleri atanmıştır. Kriging yöntemi kullanılarak 2-D modeli oluşturulduktan sonra, 3-D modeli oluşturmak için önce sahanın ilgili bölümünün topografyasını içeren veri dosyası oluşturulur. Veri dosyasında ilgili alan kuramsal bloklara bölünüp, her bir bloğa kot 'z' değeri atanmıştır. 3-D modelinde, 2-D modeli ve topoğrafik bilgilerin dosyasını okuyarak, belirli boyutlarda bloklar oluşturmaktadır. Daha sonra bu bloklara; hava, yan kayaç ve cevher kodlarından biri atanmaktadır. Bu atama işlemi aşağıda sayısal örnek verilerek anlatılmıştır:

1. 3-D modelde değer atanacak blok belirlenir. Bu işlem (1,1,1) bloğundan başlayarak sıra ile yapılır. Örnek olarak, koordinatları (34045, 80425, 1402) olan (5,3,4) bloğu var olsun. Bu blok x doğrultusunda 5., Y doğrultusunda 3., ve z doğrultusunda 4. bloktur.

2. Topografya dosyasından (5,3) bloğunun değeri okunur.

- I) Eğer okunan değer 1402'den küçük ise, (5,3,4) bloğuna hava bloğu sembolünü (-9) atanır ve 1. adıma geri dönlür.
- II) Eğer okunan değer 1402'den büyük ise, 2-D blok modelinden (5,3) bloğuna denk gelen cevhere giriş kotu değeri okunur.
  - i) Eğer okunan değer 1402'den küçük ise (5,3,4) bloğuna yan kayaç sembolü (0) atanır ve 1. adıma geri dönlür.
  - ii) Eğer okunan değer 1402'den büyük ise, 2-D modelden (5,3) bloğuna denk gelen cevher kalınlığı okunur ve  
Taban= Giriş kotu- kalınlık  
hesabı yapılır.
  - iii) Eğer taban değeri 1402'den küçük ise (5,3,4) bloğuna yan kayaç sembolü atanır ve 1. adıma geri dönlür.
  - iv) Eğer taban değeri 1402'den büyük ise (5,3,4) bloğuna cevher sembolü (blok kalınlığı) atanır ve 1. adıma geri dönlür.

#### 2.1.4. Rezerv Hesaplama

Madencilik yatırımları; rezerv hesaplamaları üzerine kurulmuş olup doğru yapılmış olmalarının önemi büyüktür. Klasik rezerv hesaplama yöntemlerini kullanan programlar bu işlemi geometrik interpolasyon yöntemi ile yapmakta olup yaygın olarak poligon metodunu kullanmaktadırlar. Bu metodda poligonlar bilgisayar yardımıyla çizilir ve poligonların sınırladığı alan içerisinde kalan cevher tenörü sondaj verileri yardımıyla bulunup poligonlara atanır. Poligonlar yerine üçgenler de kullanılmakta olup, üçgenlere köşelerdeki cevher kalınlığı değerleri atanması sonucunda üçgen prizmalar oluşturulur. Bu prizmaların hacimleri bilgisayar tarafından hesaplanıp cevher yoğunluğu ile çarpılarak rezervler hesaplanır.

Jeoistatistik yöntemle rezerv hesabında maden yatağının iki ve üç boyutlu variogram analizleri yapılmak suretiyle elde edilen sonuçlara uygun olarak saha bloklara ayrılır ve bu bloklara tenör değerleri atanır. Bu suretle blokların rezervi ve toplam rezerv hesaplanır.

DTM yönteminde, cevher veya kömür damarının alt ve üst yüzey modelleri (DTM) oluşturulmakta ve modellenen iki yüzey arasında kalan hacim bir algoritma ile hesaplanarak rezerv hesabı yapılmaktadır. Bu teknikler kullanılarak dekapaj miktarları da çok hassas ve hızlı olarak hesaplanabilmektedir.

Katı modelleme tekniği de, çok hızlı ve hassas olarak hacim ve rezerv hesaplamalarında kullanılan çağdaş bir tekniktir.

#### **2.1.5. Çevre Modelleme**

Entegre madencilik paket programlarında, son zamanlarda oldukça önem kazanan bir konu olan çevre modellemesinde de grafik ortamın ve ileri programlama tekniklerinin sağladığı avantajları kullanan Solid modelleme, DTM ve String modelleme modülleri, "Farklı Sonlu Elemanlar" yaklaşımı ile yeraltı suyu, akış karakteristikleri ve pompaj verimleri, toprak kirlenmesi, atmosferik kirlenme modellenmektedir. Ayrıca atıkların depolanması, madencilik faaliyetleri sonucu bozulan yüzeylerin yeniden düzenlenmesi için planların daha madenciliğin tasarım aşamasında yapılabilme imkanı vermesi ve bütün fiziksel ve jeolojik değişkenlerin çevre parametreleri ile birlikte değerlendirilmesi, çevre projelerinde optimum çözümlere ulaşılmasını sağlamaktadır. Son yıllarda artan çevre baskılarının madenciliği olumsuz etkilediği ülkelerde bu programlarla çevre projelerinin oluşturulması önemli avantajlar sağlamaktadır.

#### **2.2. Açık İşletmenin Planlaması**

Açık işletme madencilik faaliyetleri için yapılmış olan bütün planlamalar üretim planlamasının kapsamına girmektedir. Açık işletmelerde üretimin sağlanması için yapılan ve üretimle direk veya endirek ilgili olan bütün faaliyetler üretim planlamasını etkilemektedir.

Açık işletmelerde planlamayı oluşturan ana inceleme alanları dört gruba ayrılır:

- 1) jeoloji
- 2) maden teknolojisi
- 3) ekipman
- 4) ekonomi

Bu gruplar kendi aralarında alt gruplara ve parametrelere ayrılarak maden planlamasını oluşturan ve üretimin sağlanması için işletmede yapılması gereken inceleme ve araştırma alanlarını oluştururlar. Tablo 2.1’de planlamayı oluşturan ana inceleme alanları ile karar verme alanları ve bunları oluşturan parametreler verilmiştir. Tablodan görüldüğü üzere planlamayı oluşturan faktörlerin her biri, kendi başına başlıca bir çalışma alanı olmaktadır. Bütün parametrelerin maden yatağına en uygun ve ekonomik çözümü verecek şekilde belirlenmesi gerekmektedir.

Tablo 2.1 Planlamada Ana İnceleme Alanları ve Karar Verme Alanları ile Bunları Etkileyen Parametreler

| ALANLAR           | KARAR ALANLARI                       | PARAMETRELER            |                   |
|-------------------|--------------------------------------|-------------------------|-------------------|
| Jeoloji           | Cevherleşme                          | Rezervler, Cutoff Tenör |                   |
|                   | Kayaç Özellikleri                    | Şev Stabilitesi         |                   |
| Maden teknolojisi | Üretim Metodu                        | Sürekli veya Kesikli    |                   |
|                   | Geometrik Şekil ve Boyutlar          | Ocak Şekli              | Şevler            |
|                   |                                      |                         | Basamak boyutları |
|                   |                                      |                         | Nakliye yolları   |
|                   |                                      |                         | Çalışma alanı     |
|                   | Cevher ve Dekapaj Hareketleri        | Üretim Oranı/Ocak Ömrü  |                   |
|                   |                                      | Üretim Yönü             |                   |
| Üretim Sırası     |                                      | Ocak Bölümleri          |                   |
|                   |                                      | Üretim Sırası           |                   |
| Ekipman           | Seçim                                | Tip, Boyut, Adet        |                   |
|                   | Yenileme, Kullanım                   | Performans              |                   |
|                   |                                      | Tamir-Bakım             |                   |
| Ekonomi           | Rezerv, Maden Teknolojisi ve Ekipman | Ana Maliyetler          |                   |
|                   |                                      | İşletme Maliyetleri     |                   |
|                   |                                      | Faiz Oranları           |                   |
|                   |                                      | Nakit Akışı             |                   |

Maden planlaması zaman bakımından uzun, orta ve kısa süreli olmak üzere üç gruba ayrılmaktadır. Uzun süreli maden planlaması 10 yıl veya madenin ömrü boyunca yapılacak olan planlamaları içermektedir. Orta süreli planlamalar ise 1-2 yıllık bir süre içinde gerçekleştirilecek olan üretim faaliyetlerinin belirlendiği planlamalardır. Kısa süreli planlamalar ise ay, hafta ve gün bazında üretim ve üretim yönü ile ilgili düzenlemelerin yapıldığı planlama gruplarıdır.

Uzun dönemli planlamalar açık işletme sınırlarının belirlenmesi, ocak içi nakliye yollarını da içeren üretim yönü ve sırasının belirlendiği planlamalardır. Madenin ömrü boyunca göz önüne alınması gereken şev duraylılığı, teknolojik faktörler ve

ekonominin de detaylı olarak incelendiği ve gerekli düzenlemelerin günün koşullarına göre yapıldığı planlamalardır.

Orta dönemli planlamalarda ise üretim sırası, şevlerin duraylılığı, ana üretim makinalarının ve çalışma yerlerinin belirlendiği planlamalardır.

İşletmedeki delme-patlatma işleri, makinaların tamir-bakım periyotları, cevherleşmenin değişmesine bağlı olarak üretimin düzenlemesi gibi günlük veya haftalık faaliyetlerin yapıldığı planlamalar ise kısa dönemli planlamalar olarak isimlendirilirler.

Maden planlamaları, fiyat değişimleri, cevher yatağındaki belirsizlikler, cevherleşme bölgelerindeki tenör değişimleri, şevlerdeki duraysızlıklar vb. faktörlerden dolayı hızlı değişimlere maruz kalmaktadırlar. Bu değişimlere bağlı olarak maliyetler de çok kısa zaman birimlerinde değişmektedir. Klasik yöntemlerle yapılan maden planlamaları hem uzun süren uğraşlar sonucunda yapılmakta hem de alternatif üretim planlarının geliştirilmesi, risk ve duyarlılık analizleri gibi incelemeler zamanında yapılmamaktadır.

Son yıllardaki jeostatistik tekniklerindeki gelişmelerin madencilğe uygulanması ile maden yatağındaki belirsizlikler ve tenör dağılımları daha hassas olarak belirlenmektedir. Böylece üretim planlamaları için gerekli olan cevherleşme bölgeleri ve buna bağlı rezerv dağılımları daha duyarlı olarak belirlenmektedir. Kısa ve orta süreli planlamalarda kazılan cevherin özelliklerine bağlı olarak üretim hakkında karar verilirken, uzun dönemli üretim planlamaları yapılırken cevher yatağı ile ilgili bütün özelliklerin önceden belirlenmesi gerekmektedir.

### **2.2.1. Üretimin Optimizasyonu**

Topoğrafik harita alma özellikle açık işletme tasarımında, yolların oluşturulmasında ve yardımcı tesislerin yerleşiminde önemli olmakta ve bu işlem genellikle topografya (surveying) modülü ve CAD modülü vasıtasıyla gerçekleştirilmektedir. Açık işletme tasarımı yapan programlar yol tasarımını, basamakların tasarımını oluşturmakta, zaman içinde ocağın görünümünü grafik olarak iki veya üç boyutlu gösterebilmektedir. Madencilik tasarımı yapan programlar çoğunlukla açık işletmeler için kullanılmakla birlikte son yıllarda bilgisayarda grafik ortamda yeraltı işletme

tasarımının yapılmasında da kullanılmaktadır. Yeraltı işletme tasarımında gerek göz önüne alınması gereken parametrelerin çokluğu, gerekse işletme metotlarının çeşitliliği, tasarımın bilgisayar ortamında gerçekleştirilmesinde çok önemli avantajlar sağlamaktadır. Ana ve tali hazırlıkların teşkili, üretim ünitelerinin oluşturulması v.b işlemler üç boyutlu olarak grafik ortamda bilgisayarda planlanmaktadır.

Üretim planlaması; ekipman seçimi ve maliyet analizi amaçlı programlarının çoğunda bulunmayan optimizasyonu gerektiren problemlerdir. Açık işletme nihai sınırının optimum olarak tespitinde önceden oluşturulan cevher yatağının blok modeli kullanılmaktadır. Nihai açık işletme sınırının belirlenmesinde kullanılan çeşitli algoritmalarından en yaygın olarak kullanılanı Lerchs ve Grossman algoritmasıdır. Bunun yanında Hareketli Koniler, Korobov algoritması ve 3D Dinamik Programlama algoritmaları da uygulama alanı bulmaktadır. Açık işletmelerde bu amaçla en çok kullanılan Whittle Programı, Lerchs - Grossman algoritmasını kullanmaktadır.

Madencilik paket programlarında, delik delme ve patlatma işlerinin tasarlanması ve optimizasyonuna yönelik modüller de bulunmaktadır.

Maden işletmelerinde optimum üretim planlaması için maden ömrü, cutoff tenörü, üretim oranı, açık işletme sınırları ve üretim sırası gibi birbirleri ile ilişkili parametrelerin belirlenmesi ve aynı zamanda projenin karını maksimize edecek üretim miktarının tespit edilmesi gereklidir.

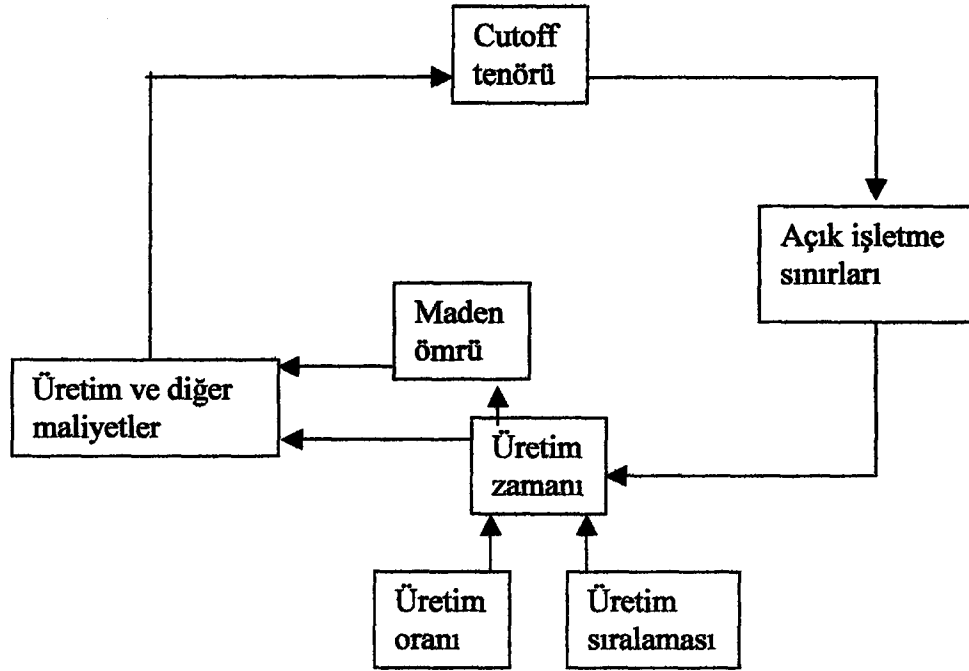
Bu parametreler birbirleri ile ilişkili çevrimsel büyüklüklerdir. Cutoff tenör belirlenmeden açık işletme sınırlarının belirlenmesi yapılamaz, açık işletme sınırları tespit edilmeden üretim oranı ve sırası belirlenemez, üretim oranı ve sırası belirlenmeden üretim maliyetleri hesaplanamaz, üretim maliyetleri elde edilmeden cutoff tenör belirlenemez.

Bu problem çok değişkenli optimizasyon problemi olup anında çözümlerin oluşturulması gerekmektedir. Bu çözümün elde edilmesi çok zor olduğu için genellikle parametrelerden bir veya birkaçını sabit tutularak çözüm elde edilir (Sevim ve Lei, 1996).

Madencilik çalışmalarında üretim planlamasının amaçlarını şu başlıklar altında toplayabiliriz (Hustrulid ve Kuchta, 1995).

- 1) Üretilcek olan cevherin birim maliyetini minimum yapacak olan toplam üretimin ve dekapajın belirlenmesi
- 2) Alternatif cevher üretim oranlarının ve tenörlerinin ekonomiklik açısından birbirleri ile karşılaştırılması
- 3) Ekipman, altyapı, destek, iş gücü ile ilişkili basit ve kolay uygulanabilir bir üretim programı geliştirerek pozitif nakit akışının gecikmesinin riskinin minimize edilmesi
- 4) Çalışma basamaklarındaki nakliye yollarının konumu, kullanılan ekipmanın çeşitliliği ve performansları vb. verileri içeren bir plan ile üretimin devamlılığının sağlanması
- 5) Detaylı jeoteknik incelemelere göre şev açılarının dizaynı
- 6) Dekapaj kazısı ve cevher üretimi için gerekli olan ekipmanın optimum olarak belirlenmesi
- 7) Maden yatağının modellenmesinde rezerv ve tenör değerlerinin hatalı belirlenmesi olasılığına karşılık yeterli miktarda açığa çıkmış cevherin sağlanması

Üretimin planlaması çalışmalarında ilk olarak açık işletme sınırları belirlenir. Cevher yatağının blok modeli oluşturularak modeldeki her bir bloğa kendisine ait ekonomik değerler atanır ve bir algoritma yardımı ile en büyük pozitif değeri veren ocak elde edilir. Bunun için hareketli koniler veya Lerchs-Grossman algoritmaları yaygın olarak kullanılmaktadır. Farklı üretim oranları ve üretim sırası tam olarak belirlenmeden bloklara değer ataması yapıldığı için bu yaklaşımlar yukarıda belirtilen çevrimsel yapıya uymamaktadır. Açık işletme sınırı ile üretim sırasının belirlenmesi çalışmaları bir çok uzun dönemli planlama optimizasyon modellerinde ayrı olarak yapılmaktadır (Whittle, 1989). Şekil 2.1’de birbirleri ile ilişkili olan çevrimsel parametreler verilmiştir (Sevim ve Lei, 1996).



Şekil 2.1 Üretim Planlaması Parametrelerinin Çevrimsel İlişkisi

### 2.2.2. Optimum Açık İşletme Sınırının Belirlenmesi

Açık işletme genellikle düzgün yapısı olmayan bir mineral yatağının, tamamen veya kısmen örtülmüş bir dekapaj malzemesi ile birlikte kazılması işlemidir. Faydalı cevherin ortaya çıkarılabilmesi için ilk olarak üzerindeki örtü tabakasının kaldırılması gereklidir. Cevher yatağının büyüklüğüne ve cevherin ulaştığı derinliklere bağlı olarak açık ve yeraltı işletmesi kararını verecek ekonomiklik sınırı açık işletmenin alacağı nihai sınırları da belirlemektedir. Bu ekonomiklik faktörünü belirleyen en büyük etken dekapaj oranıdır.

Buna göre optimum açık işletme sınırları, açık işletmeciliğin artık ekonomik olmayacağı ve geometrik yerinin şekil ve derinlik olarak belirlendiği en son açık işletme sınırları olarak tanımlanabilir. Kısaca optimum açık işletme sınırları bir açık işletmenin ömrü boyunca alacağı şekli ve büyüklüğü ifade etmektedir. Bu büyüklük üretilen cevher ve rezervi ve kaldırılacak olan dekapaj miktarı ile belirlenmektedir.

Hareketli koniler ve Lerchs-Grossman algoritmaları yaygın olarak açık işletme sınırı belirlenmesinde kullanılmaktadır. Hareketli koniler kısa sürede çözüme ulaştıran bir algoritma olmasına karşılık en optimum sonucu vermesi garanti olmamaktadır.

Lerchs-Grossman ise graf teori kullanarak optimum sonucu garantilemesine karşılık büyük miktardaki blokların çözüm süresi bakımından uygun olmamaktadır.

Maksimum flow network tekniği kullanarak geliştirilen algorithmada ise Lerchs-Grossman algoritmasına ters olarak blokların incelenmesi yukarıdan aşağıya doğru yapılmaktadır. Bu çalışma ile bilgisayarda hesaplama sürelerinde ve hafıza ihtiyacında önemli kazançlar sağlamıştır (Sevim ve Lei, 1994).

Dowd ve Onur (1993) ise hareketli koniler kökenli Korobov algoritmasının yeniden düzenleyerek düzeltilmiş Korobov adında yeni bir algoritma oluşturmuşlardır. Bu algoritma ile konilerdeki bloklara atamaları düzenleyerek daha uygun koniler oluşturulması ile optimal sonucu garantilemektedir.

Üretim oranı ve sırası optimizasyon araştırmaları daha uygun olarak gelişmektedir. Huang (1993) tarafından üç lineer programlama ve bir simulasyon modülü bulunan bir yazılım ile interaktif bir üretim sırası optimizasyon programı oluşturmuştur. İlk lineer programlama modülü ortalama cevher tenörünün istenen tenörden farkının minimize edildiği cevher bloklarını seçmektedir. Bu işlem toplam cevher rezervine, ekipman kapasitesine ve ocak geometrisindeki kısıtlamalara bağlı olarak gerçekleştirilmektedir. Bloklar ilk lineer programlama modülü ile çalıştırılmadan önce, minimum basamak genişliği ve blok yakınlığının olup olmadığı bakımından simulasyon modülü tarafından geçerliliklerinin sağlanması için kontrol edilmektedir. İkinci lineer programlama modülü ise her bir periyottaki dekapaj bloklarının uygun sayıda seçilmesi ile ekipman kullanımının maksimize edilmesini sağlamaktadır. Üçüncü lineer programlama modülü de üretilen cevher bloklarının maksimize etmektedir. Sevim ve Lei (1994), yüz binlerce blok için blokların önceliklerinin belirlenmesi sorununun LP tekniği ile yapılmasının neredeyse imkansız olduğunu ve simulasyon modülü tarafından komşu blokların sayısının azaltıldığı ve çözümün periyotlar halinde yapıldığını belirtmektedir.

Dowd ve Onur (1993) tarafından oluşturulan üretim planlaması modelinde ise düzeltilmiş Korobov algoritması ile açık işletme sınırı oluşturulmakta ve dinamik programlama tekniği kullanılarak blok sıralaması algoritması geliştirilmiştir.

Optimum açık işletme sınırları normal olarak açık işletmeden üretilecek olan cevherin ekonomiklik koşullarına bağlıdır. Bu yüzden optimum açık işletme sınırları,

ekonomik işletme sınırları veya ocak dizaynı genellikle birbirleri ile aynı anlamda kullanılan kavramlardır. Cevherleşme farklılığı, tenör dağılımlarının çok çeşitlilik göstermesi, maden ömrü boyunca cevher satış fiyatlarını ve maliyetlerin sürekli olarak değişiklik göstermesi nedeniyle bütün alternatif ocak geometrilerinin araştırılması ve ekonomik olanının belirlenmesi probleminin komple bir çözümü bulunmamaktadır. Bu nedenle ocak geometrisi ile gelecekteki cevher satış fiyatı ve maliyetlerde oluşan belirsizliklere bağlı olarak kısmi çözümler oluşturulmaktadır. Kim, (1978) tarafından sınıflandırılan optimizasyon teknikleri aşağıda verilmiştir:

- 1) Grafik teori modelleri
- 2) Dinamik programlama modelleri (2 veya 3 boyutlu)
- 3) Lineer programlama modelleri
- 4) Maksimum Akım (Network-flow) modelleri

Diğer heuristik teknikler ise şu şekilde sınıflandırılmıştır.

- 1) Mühendislik metodları
- 2) Hareketli koniler
- 3) Mario ve Slama heuristik algoritması
- 4) Philips heuristik algoritması
- 5) Korobov heuristik algoritması
- 6) Francois-Bongarcon ve Marechal parametrik fonksiyon metodu

Cevher yatakları genellikle düzensiz bir yapıya sahip oldukları ve çok farklı tenör dağılımları gösterdikleri için maden yatağının bilgisayar destekli olarak jeolojik modelini oluşturmak için çok fazla sayıda sondaj verisine ihtiyaç duymaktadır. Cevher ve yan taşın jeomekanik özelliklerine bağlı olarak şev duraylılığı belirlenmekte ve şev açıları tespit edilmektedir. Açık işletme sınırı belirleme modelleri yöneylem araştırması teknikleri sonucu oluşturulmaktadır.

Wright'ın (1987) yaptığı sınıflamaya göre açık işletme sınırlarının belirlenmesinde klasik yöntemler, bilgisayar destekli yöntemler ve bunların karışımı olan yöntemler vardır.

Optimum açık işletme sınırlarının belirlenmesi amacıyla yapılan araştırmalarda kullanılan teknikler ve araştırmalar toplu olarak Tablo 2.2 de verilmiştir (Wright, 1987).

**Tablo 2.2 Optimum Açık İşletme Sınırının Belirlenmesinde Kullanılan Teknikler ve Araştırmalar**

| Araştırmacılar-Teknikler            | Manuel | Simulasyon | Lineer Prog. | Dinamik Prog. | Graf Teori | Parametirizasyon |
|-------------------------------------|--------|------------|--------------|---------------|------------|------------------|
| Axelson-1964                        |        | X          |              |               |            |                  |
| Lerchs Grossman-1965                |        |            |              | X             | X          |                  |
| Pana-1965                           |        | X          |              |               |            |                  |
| Meyer-1966                          |        |            | X            |               |            |                  |
| Erikson-1968                        | X      |            |              |               |            |                  |
| Fairfield ve Leigh-1969             |        | X          |              |               |            |                  |
| Johnson ve Sharp-1971               |        |            |              | X             |            |                  |
| Francois-Bongarcon<br>Marechal-1976 |        |            |              |               |            | X                |
| Lee ve Kim-1979                     |        | X          |              |               |            |                  |
| Koenigsberg-1982                    |        |            |              | X             |            |                  |
| Wilke ve Wright-1984                |        |            |              | X             |            |                  |
| Shenggui-Starfield-1985             |        |            |              | X             |            |                  |
| Wright-1987                         |        |            |              | X             |            |                  |

Tablo 2.2’den izlendiği üzere 1980’li yıllardan sonra dinamik programlama teknikleri kullanılarak elde edilen algoritmalar kullanılmaya başlanmıştır.

Açık işletme sınırlarının belirlenmesinde çeşitli optimizasyon kriterleri bulunmaktadır. Bu kriterler şunlardır:

- Ocağın toplam ekonomik değerinin maksimizasyonu
- Satılabilir ürünün ton başına değerinin maksimizasyonu
- Ton başına değerin belirli bir sınırın altına düşmediği zamanki maden ömrünün maksimizasyonu olarak verilebilir.

Bilgisayar destekli açık işletme sınırlarının belirlenmesi amacıyla geliştirilen bütün tekniklerde ilk olarak maden yatağının jeolojik blok modelinin oluşturulması gereklidir. Maden yatağı ve çevresinin tamamı üç boyutu belli büyük bir dikdörtgen blok olarak düşünülür. Daha sonra büyük daha küçük boyuttaki küçük bloklara ayrılır. Bloklar farklı şekil ve boyutlarda olabilirler. Bu küçük bloklara jeolojik, kaya mekaniği, cevher hazırlama ve ekonomik değerler atanarak her bir bloğun parasal değerinin belirlenmesi sağlanır. Blokların yüksekliği genellikle basamak

yüksekliğine eşit olarak alınmakta ve diğer boyutları farklı olmaktadır. Blok modellerin oluşturulması beş gruba ayrılır (Yalçın, 1991).

- 1) Üç boyutlu sabit blok modeli
- 2) Üç boyutlu değişken blok modeli
- 3) Izgara düğüm modeli
- 4) İki boyutlu düzensiz blok modeli
- 5) Üç boyutlu düzensiz blok modeli

Üç boyutlu sabit blok modelinde maden yatağını belirleyen blokların boyutları aynı olmakta ve blok yüksekliği basamak yüksekliğine eşit alınmaktadır.

Üç boyutlu değişken modelde ise blok yüksekliği basamak yüksekliğine eşit alınmakla beraber diğer yöndeki boyutlardan birisi farklı olmaktadır.

Izgara düğüm modelinde, cevher yatağı yüzeyinde yatay yönlerde iki boyutlu ızgara düğüm noktaları oluşturulmakta ve her bir ızgara düğüm noktasının dikey boyutu cevher ve örtü tabakası kalınlığına bağlı olarak değişmektedir.

İki boyutlu düzensiz modelde yataktan alınan düşey kesitler üzerinde poligonlar ile düzensiz şekiller belirlenmekte ve düşey kesitler arasındaki uzaklık cevher yatağının sürekliliğe bağlı olarak sabit veya değişken olabilmektedir.

Üç boyutlu düzensiz modelde ise cevher yatağından alınan yatay kesitler üzerinde cevher zonları poligonlar vasıtasıyla belirlenmektedir. Blok yüksekliği ise basamak yüksekliğine eşit olmaktadır.

Bu blok modellerinden en yaygın olarak kullanılanları üç boyutlu sabit ve değişken blok modelleridir. Bloklara değer atanmasında da aşağıda belirtilen farklı interpolasyon teknikleri kullanılmaktadır:

- Jeostatistik
- Uzaklığın tersi ile ağırlıklı yöntemler
- Poligon metodu

Optimum ekonomik açık işletme sınırının belirlenmesinde kullanılan yöntemler aşağıda sıralanmıştır:

#### **2.2.2.1. Klasik Yöntemler**

Açık işletmede ekonomik dekapaj oranı belirlendikten sonra topoğrafik haritaya maden yatağının sınırları işaretlenir. Daha sonra haritada uygun aralıklarla kesitler alınarak arazi topoğrafyası ve maden yatağı işaretlenir. Hesaplanarak bulunan açık işletmenin son genel eğim açısı maden yatağının yüzeye yakın tarafından maden yatağının taban kotundan itibaren çizilerek topoğrafya ile kesim noktası bulunur. Daha sonra her kesit üzerinde bulunan dekapaj oranına göre yüzeydeki noktaları topoğrafyaya işlenir. Son genel eğim açısı da topoğrafya üzerinde işaretlenir. Tüm bu noktaların birleşmesiyle de açık yeraltı sınırları en basit yolla belirlenmiş olur.

#### **2.2.2.2. Lerchs-Grossman Yöntemi**

Bu algoritma, açık işletme sınırlarını optimum şekilde bulan ve en eski yöntem olarak bilinmektedir. Lerchs-Grossman (1965) tarafından dinamik programlama tekniği kullanılarak geliştirilmiştir. Algoritma, bloklara ayrılmış olan cevher yatağından alınan düşey kesitler üzerinde optimum işletme sınırını bulmak için geliştirilmiştir.

Küçük işletmeler için en iyi sonucu vermesine karşılık blok sayıları arttıkça işletmenin üç boyutlu çözümlerinde bilgisayarlarda çok fazla CPU zamanına ve RAM hafızaya gereksinim duyulmaktadır. Bu kısıtlayıcı özellik son yıllardaki bilgisayar teknolojisindeki gelişmeler ile önemini kaybetmiştir.

2-D Lerchs-Grossman'da algoritmanın kesitlere uygulandıktan sonra yan yana getirilmesi sırasında kesitler arasında uyumsuzluklar bulunabilmekte ve düzeltme yapılması gerekmektedir. Bu yüzden; elde edilen nihai sınır gerçekte olması gereken sınırı vermemektedir. Fakat gerçekte kullanılan 3-D Lerchs-Grossman'da böyle bir kusur yoktur.

Lerchs-Grossman yöntemi 2 veya 3 boyutlu olarak uygulanabilir. Bu yöntemin uygulanabilmesi için maden yatağı bloklara ayrılmakta, her bloğa pasa veya cevher içeriğine göre negatif veya pozitif değerler atanmaktadır. Değerler bloğun ekonomik açıdan getirisi göz önüne alınarak atanır. Blok cevher bloğu ise blok kazısı sonucu

elde edilen cevherin değerinden tüm maliyeti düşülerek bulunan değer bloğa pozitif olarak atanır.

Bloklar boyutlandırılırken işletmenin geometrik kısıtları dikkate alınarak boyutlandırma yapılması gerekir. Daha sonra cevher yatağından düşey kesitler alınarak, kesitler üzerinde Lerchs-Grossman algoritması uygulanır. Kesitler üzerinde nihai açık işletme sınırı bulunur ve kesitler yan yana getirilerek 3 boyuta dönüştürülür. Ancak kesitlerin yan yana getirilmesi sırasında uyumsuzluklar olabilmektedir. Bu yüzden 3 boyutlu algoritmalar geliştirilmiştir. Lerchs-Grossman algoritmasının takip ettiği adımlar şu şekildedir:

**Adım1:** Blok değerleri yukarıdan aşağıya kümülatif olarak toplanır, ve her bloktaki kümülatif değer o bloğa yazılır. Bu değerler bir bloktan yukarıya (yüzeye) doğru olan blokların toplam değerini göstermektedir.

**Adım2:** Sol üst köşedeki bloktan başlayarak, her sütundan aşağı doğru gidilir. Blok içine o bloğun solundaki üç bloktan en büyük değeri olana doğru ok çizilir. Bu üç blok:

1. bir sol ve üstteki blok
2. bir soldaki blok
3. bir sol ve alttaki blok

Blokların alt tarafındaki değeri, bloğun üst tarafındaki değer ile oradan çıkan okun gösterdiği bloğun alt tarafındaki değeri toplanarak hesaplanır. Her bloğun alt tarafındaki değer, o blok ve bloğun sol tarafındaki işletme sınırları içindeki madenin toplam net değerini gösterir. X ile işaretlenen bloklar ise fiziksel olarak kazılmayacak blokları gösterir.

**Adım3:** En üst satırdaki en yüksek değer bulunur. Bu değer optimum açık işletme sınırının verdiği toplam net kardır. Örnekte bu değer 13 olarak bulunmuştur. Bu en yüksek değerden geriye doğru okları takip ederek açık işletme sınırı çizilir.

Şekil 2.2’de bir açık işletmedeki düşey bir kesiteki blokları ve her bloğun ekonomik değerini göstermektedir. Cevher içeren bloklar koyu olarak görülmektedir. Algoritmanın uygulanmasıyla 1.adım sonucunda elde edilen değerler Şekil 2.3’de ve 2.ve 3. adımların sonuçları ise Şekil 2.4’de gösterilmiştir. 6. Satır ve 6. Sütundaki

blok yatak içindeki en yüksek değere sahip olduğu halde o blok ekonomik sınırlar içinde değildir. Çünkü o bloğu üretmek, nihai sınır içindeki toplam değeri düşürecek.

|   | 1    | 2    | 3    | 4    | 5     | 6     | 7    | 8    | 9    | 10   | 11   |
|---|------|------|------|------|-------|-------|------|------|------|------|------|
| 1 | -\$2 | -\$2 | -\$4 | -\$2 | -\$2  | -\$1  | -\$2 | -\$3 | -\$4 | -\$4 | -\$3 |
| 2 | -\$5 | -\$4 | -\$6 | -\$3 | -\$2  | -\$2  | -\$3 | -\$2 | -\$4 | -\$5 | -\$5 |
| 3 | -\$6 | -\$5 | -\$7 | -\$6 | -\$13 | -\$2  | -\$5 | -\$4 | -\$7 | -\$4 | -\$6 |
| 4 | -\$6 | -\$6 | -\$8 | -\$8 | -\$17 | -\$8  | -\$5 | -\$6 | -\$8 | -\$9 | -\$7 |
| 5 | -\$7 | -\$7 | -\$8 | -\$8 | -\$6  | -\$21 | -\$5 | -\$8 | -\$8 | -\$9 | -\$7 |
| 6 | -\$7 | -\$9 | -\$9 | -\$8 | -\$5  | -\$22 | -\$8 | -\$8 | -\$8 | -\$9 | -\$8 |
| 7 | -\$8 | -\$9 | -\$9 | -\$9 | -\$8  | -\$10 | -\$9 | -\$9 | -\$9 | -\$9 | -\$9 |

Şekil 2.2 Her Bloğun Net Değerini Gösteren Düşey Bir Kesit

|   | 1                   | 2                   | 3                     | 4                     | 5                   | 6                   | 7                    | 8                     | 9                     | 10                  | 11                  |
|---|---------------------|---------------------|-----------------------|-----------------------|---------------------|---------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|---------------------|---------------------|
| 1 | <del>-2</del><br>-2 | <del>-2</del><br>-2 | <del>-4</del><br>-4   | <del>-2</del><br>-2   | <del>-2</del><br>-2 | <del>-1</del><br>-1 | <del>-2</del><br>-2  | <del>-3</del><br>-3   | <del>-4</del><br>-4   | <del>-4</del><br>-4 | <del>-3</del><br>-3 |
| 2 | <del>-7</del><br>X  | <del>-6</del><br>-8 | <del>-10</del><br>-12 | <del>-5</del><br>-9   | <del>-4</del><br>-6 | <del>-3</del><br>-5 | <del>-5</del><br>-5  | <del>-5</del><br>-5   | <del>-8</del><br>-10  | <del>-9</del><br>-8 | <del>-8</del><br>X  |
| 3 | <del>-13</del><br>X | <del>-11</del><br>X | <del>-17</del><br>-25 | <del>-1</del><br>-11  | <del>9</del><br>0   | <del>-5</del><br>10 | <del>-10</del><br>-8 | <del>-9</del><br>-25  | <del>-15</del><br>-16 | <del>-13</del><br>X | <del>-14</del><br>X |
| 4 | <del>-19</del><br>X | <del>-17</del><br>X | <del>-25</del><br>X   | <del>-32</del><br>-32 | <del>2</del><br>15  | <del>3</del><br>18  | <del>-5</del><br>-34 | <del>-15</del><br>-30 | <del>-23</del><br>X   | <del>-22</del><br>X | <del>-21</del><br>X |
| 5 | <del>-26</del><br>X | <del>-24</del><br>X | <del>-33</del><br>X   | <del>-15</del><br>X   | <del>38</del><br>0  | <del>2</del><br>39  | <del>0</del><br>46   | <del>-23</del><br>X   | <del>-31</del><br>X   | <del>-31</del><br>X | <del>-28</del><br>X |
| 6 | <del>-33</del><br>X | <del>-33</del><br>X | <del>-42</del><br>X   | <del>-23</del><br>X   | <del>27</del><br>X  | <del>46</del><br>46 | <del>-8</del><br>X   | <del>-31</del><br>X   | <del>-39</del><br>X   | <del>-40</del><br>X | <del>-36</del><br>X |
| 7 | <del>-41</del><br>X | <del>-42</del><br>X | <del>-51</del><br>X   | <del>-32</del><br>X   | <del>19</del><br>X  | <del>56</del><br>X  | <del>-17</del><br>X  | <del>-40</del><br>X   | <del>-48</del><br>X   | <del>-49</del><br>X | <del>-45</del><br>X |

Şekil 2.3 1.Adım Sonundaki Kesit

|   | 1    | 2    | 3    | 4    | 5     | 6     | 7    | 8    | 9    | 10   | 11   |
|---|------|------|------|------|-------|-------|------|------|------|------|------|
| 1 | -\$2 | -\$2 | -\$4 | -\$2 | -\$2  | -\$1  | -\$2 | -\$3 | -\$4 | -\$4 | -\$3 |
| 2 | -\$5 | -\$4 | -\$6 | -\$3 | -\$2  | -\$2  | -\$3 | -\$2 | -\$4 | -\$5 | -\$5 |
| 3 | -\$6 | -\$5 | -\$7 | -\$6 | -\$13 | -\$2  | -\$5 | -\$4 | -\$7 | -\$4 | -\$6 |
| 4 | -\$6 | -\$6 | -\$8 | -\$8 | -\$17 | -\$8  | -\$5 | -\$6 | -\$8 | -\$9 | -\$7 |
| 5 | -\$7 | -\$7 | -\$8 | -\$8 | -\$6  | -\$21 | -\$5 | -\$8 | -\$8 | -\$9 | -\$7 |
| 6 | -\$7 | -\$9 | -\$9 | -\$8 | -\$5  | -\$22 | -\$8 | -\$8 | -\$8 | -\$9 | -\$8 |
| 7 | -\$8 | -\$9 | -\$9 | -\$9 | -\$8  | -\$10 | -\$9 | -\$9 | -\$9 | -\$9 | -\$9 |

Şekil 2.4 Optimum Nihai Açık İşletme Sınırı

### 2.2.2.3. Hareketli Koniler Yöntemi

Hareketli koniler algoritması bir simulasyon algoritmasıdır. Bu yöntem en çok kullanılan yöntemlerden birisidir. Bloklara ayrılmış ve her birine parasal değeri atanmış olan cevher yatağında ters dönmüş bir koni yatay ve düşey yönlerde dolaştırılmaktadır. Koni kenar açısı basamakların oluşturdukları açılara eşit veya farklı olarak alınabilir. Derinlik arttıkça koni daha da büyümekte ve içerdiği blok sayısı artmaktadır. Koni içinde bulunan blokların toplam değeri koni dolaştırıldıkça hesaplanarak koni değeri olarak atanmaktadır. Maksimum parasal değeri veren koni, optimum açık işletme sınırı olarak belirlenir. Hareketli koniler yöntemi iki ve üç boyutlu olarak uygulanabilmektedir (Wright, 1987; Yıldız, 1991).

Cevher yatağı içinde gezdirilen koninin geometrik konumu ve içerdiği blokların parasal değerleri toplanarak maksimum parasal değeri veren koni hareket sırası elde edilir. En büyük değeri oluşturan koni açık işletme sınırlarının ve konilerin izlediği yol ise üretim sırasını belirler.

Hareketli koni yöntemi basit ve hızlı oluşu sebebi ile yaygın olarak kullanılmasına karşılık gerçek maksimum ocak değerini garanti etmemektedir. Ayrıca iki boyutlu incelemelerde üst üste çakışma problemi bulunmaktadır. Aynı kesit üzerinde incelenen koniler ayrı ayrı negatif değerlere sahip olsalar bile ikisi bir arada düşünüldüğü zaman pozitif değere sahip olabilmektedirler. Şekil 2.5 (a) ve (b)'de izlendiği üzere her iki koni değeri negatif değerlikli olmasına karşılık Şekil 2.5 (c)'de iki koni çakıştırıldığı zaman pozitif değer elde edilmektedir. Madencilik faaliyetlerinde böyle bir yapıya göre pratikte üretim yapılması çok zordur. Hareketli koniler algoritması çakışma problemini çözmemektedir. Bu sebepten dolayı diğer algoritmalar üzerinde daha yoğun çalışmalar yapılmıştır.

V= -2

(a)

|    |    |    |    |    |    |    |
|----|----|----|----|----|----|----|
| -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 |
| -2 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 |
| -3 | -3 | 6  | -2 | 7  | -1 | -3 |

V= -1

(b)

|    |    |    |    |    |    |    |
|----|----|----|----|----|----|----|
| -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 |
| -2 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 |
| -3 | -3 | 6  | -2 | 7  | -1 | -3 |

V=+1

(c)

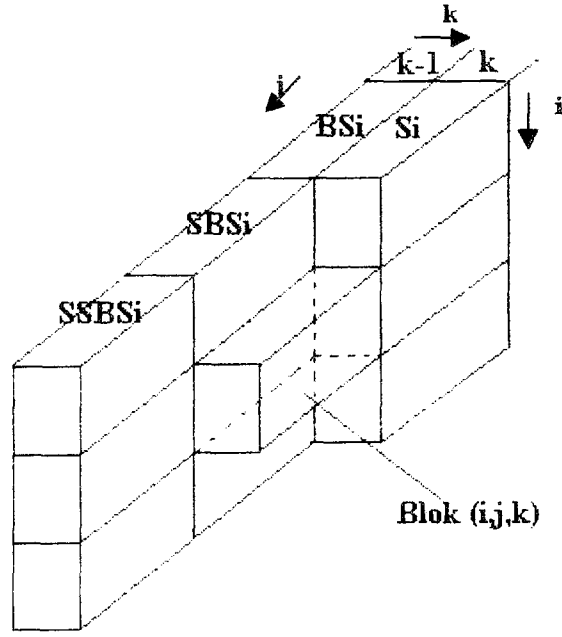
|    |    |    |    |    |    |    |
|----|----|----|----|----|----|----|
| -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 |
| -2 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 |
| -3 | -3 | 6  | -2 | 7  | -1 | -3 |

Şekil 2.5 (a) (b) (c) Hareketli Koniler Yönteminde Konilerin Aldığı Değer Tabloları

Algoritma iki bölümden oluşmaktadır. Birinci bölüm enine kesitler üzerinde her katta açık işletme sınırı belirlenmekte ve bu sınırlar içindeki blokların değerlerinin toplamı uzunlamasına kesiti oluşturmaktadır. İkinci bölüm de ise iki boyutlu dinamik programlama tekniği ile elde edilen uzunlamasına kesitler üzerinde optimum açık işletme sınırı belirlenmektedir. Bu şekilde elde edilen optimum sınırlar üzerinde uyumsuzlukları son derece az olması ve düzeltme çalışmalarının elle düzeltmelerin daha az olması tekniğin avantajlı yönüdür.

#### 2.2.2.4. Koenigsberg Dinamik Programlama Algoritması

Üç boyutlu dinamik algoritma tekniği ile elde edilen optimum açık işletme sınırlarının belirlenmesinden sonra yapılması gereken elle düzeltme çalışmalarını ortadan kaldırmak için Koenigsberg (1982) tarafından bir algoritma geliştirilmiştir. Bu algorithmada dinamik programlamada kullanılan bir bloktan diğerine geçerken önceki sütunda bulunan 3 adet blok yerine komşu sütunda bulunan 4 adet komşu bloklar değerlendirilmeye alınmaktadır. Şekil 2.6'de Koenigsberg algoritmasında düzenlenmiş olan bloklar görülmektedir. Bloğun arkasında bulunan bloklar için B (arka blok) ve yanında bulunan komşu bloklar içinse S (yan blok) sembolleri kullanılmıştır.



Şekil 2.6 Koenigsberg Dinamik Programlama Algoritmasına Göre Bir Blok Etrafındaki Komşu Blokların Konumları

Koenigsberg algoritmasında kullanılan ve bir bloğun optimum değerini veren  $P_{i,j,k}$  değeri (1.1) numaralı denklemdeki eşitliğe göre belirlenmektedir.  $M_{i,j,k}$  değeri ise toplam sütun değeridir.

$$P_{i,j,k} = M_{i,j,k} + \max \left\{ \begin{array}{l} P_{Si,j-1,k} - P_{SBS(Si),j-1,k-1} \\ + P_{BSi,j-1,k-1} - P_{S(BSi),j,k-1} \\ + P_{SBSi,j,k-1} - P_{S(SBSi),j+1,k-1} + P_{SSBSi,j+1,k-1} \end{array} \right. \quad (1.1)$$

Eşitlik içinde bulunan negatif terimler şev açışı ve bloklar arası uyumu sağlamak amacıyla yapılmış olan düzeltmelerdir. Eşitlikte bulunan düzeltmeler k-1 kesitinde bulunan bloklar için elde edilmiş olan ocak net değerini belirtmektedir, k-1 kesitinde yapılan düzeltmeler k-2 kesitindeki düzeltmeleri gerektirmekte ve k-2 kesitindekiler ise k-3 kesitindeki düzeltmeleri gerektirmektedir. Düzeltme işlemleri k=1 oluncaya kadar devam etmektedir.  $P_{i,j,k}$  değeri kat, sütun ve kat sırasını takip ederek bütün bloklar için hesaplanır. Bu işlemin bitiminde  $b_{i,j,k}$  bloğu için  $P_{i,j,k}$  Si, BSi, SBSi ve SSBSi değerleri elde edilir.  $P_{o,j,k}$  değerinden başlayarak geriye doğru gidilerek belirtilmiş olan komşu bloklar takip edilerek optimum işletme sınırı elde edilir. Bu işlemin bitiminde elde edilen  $P_{o,j,k}$  değeri optimum net değerdir.

### 2.2.2.5. Wright Dinamik Programlama Algoritması

Koenigsberg algoritmasında yapılan düzeltmeler sırasında karşılaşılan problemleri ortadan kaldırmak için yeni bir algoritma geliştirilmiştir. Bütün blokları içeren ve bu bloklar üzerinde oluşturulan hareketli koniler şeklindeki üç boyutlu artırımlar kullanılmaktadır. Blokların ocak net değerini hesaplanması için algoritmada yeni bir eşitlik oluşturulmuştur. Bununla beraber, iki boyutlu dinamik programlama algoritmasına bu algoritmada sadık kalınmıştır. Her bir blok için ocak net değeri ( $P_{i,j,k}$ ), bloğun kendisi ile üzerindeki konide yer alan bloklardan ve blok ile uyum sağlayan komşu bloklardan en iyi net değere sahip olanı ile hesaplanmaktadır.

$P_{i,j,k}$  hesaplamaları sırasında bir bloğa ait olan net değer, hesaplamaya birden fazla katılmamalıdır. Bu yüzden, hem  $C_{i,j,k}$  hareketli konisi içinde hem de komşu açık ocak sınırlarının net değeri olan  $P_{i-1,j,k}$ ,  $P_{i,j,k}$  ve  $P_{i+1,j,k}$  içinde kalan bütün  $m_{i,j,k}$  blok net değerleri  $P_{i,j,k}$  değerinden çıkarılmalıdır.

Bu işlemi gerçekleştiren eşitlik aşağıdaki (1.2) numaralı denklemde verilmiştir:

$$P_{i,j,k} = C_{i,j,k} + \max \begin{cases} IP_{i-1} - IM_{i-1} \\ IP_i - IM_i \\ IP_{i+1} - IM_{i+1} \end{cases} \quad (1.2)$$

$P_{i,j,k}$  = blok  $b_{i,j,k}$  için optimum ocak net değeri

$C_{i,j,k}$  = blok  $b_{i,j,k}$  üzerindeki minimum hareketli koni değeri

$IP_L$  = blok  $b_{L,j-1,k}$  için optimum ocak net değeri,  $L=i-1, i, i+1$

$IM_L$  =  $b_{L,j-1,k}$  üzerindeki ocak sınırı ile  $b_{i,j-1,k}$  üzerindeki koninin kesişim bölgesinde yer alan blokların net değerlerinin toplamı,  $L=i-1, i, i+1$

$L=i+1$  olduğu zaman  $P_{i+1,j,k} \cap C_{i,j,k} = C_{i,j,k}$  olur.

Bu durumda eşitlik (1.3) numaralı denklemdeki hale gelmektedir:

$$P_{i,j,k} = C_{i,j,k} + \max \begin{cases} IP_{i-1} - IM_{i-1} \\ IP_i - IM_i \\ IP_{i+1} - C_{i,j,k} \end{cases} \quad (1.3)$$

#### 2.2.2.6. Korobov Algoritması

Korobov algoritması, pozitif blokların bulunduğu bir üretim konisinde koni içerisinde bulunan pozitif blokların negatif veya sıfır değerlikli bloklara atanmasını sağlayan koni tabanlı bir algoritmadır (Dowd ve Onur, 1993).

Üretim konisi, cevher yatağı modeli içinde bulunan bütün pozitif değerlikli blokları taramakta ve pozitif bloklardan negatif bloklara hiç pozitif değerlikli blok kalmayıncaya kadar atama yapmaktadır. Atama işlemi tamamlanır ve koni pozitif değerlikli kalırsa bu koni optimum çözüm setinin bir üyesi olarak kabul edilir.

Boş olmayan bir üretim konisi çözüm setine eklendiği zaman algoritma blok modelden çıkarılmamış olan bloklara atanmış olan orijinal blok değerleri ile tekrar baştan başlar. Eğer üretim konisi boş ise, pozitif bloklar çözüme eklenir ve algoritma bir sonraki katta tekrar çalışmaya başlar.

Algoritma iki boyutlu basit bir kesit örneği üzerinde açıklanabilir, işlem kolaylığı olması için, şev açıları bütün yönlerde  $45^\circ$  ve sabit kabul edilir. Blok model kesiti Şekil 2.7'de verilmiştir. Bloklar içindeki rakamlardan üstte olanı blok numarasını ve altta olanı ise blok değerini ifade etmektedir.

Bu metodun kullanım yöntemi; pozitif, negatif ve sıfır (değersiz) blok içeren bir konide pozitif değerli konilerin yerlerini tayin ederek değerinin yeniden elde edilmesidir.

İşlem 1.seviyenin alınarak tüm pozitif blokların (blok 1,5,6,9,10 ve 11) kaldırılması ile başlar ve 2. seviye çözüm kümesine eklenir.

2. seviyede 5 adet pozitif blok (12,17, 18, 19 ve 20) vardır. 12 numaralı bloğun konisini blok 1, 2 ve 3 oluşturur. Blok 1 daha önce kaldırılmıştır, blok 12 (+2) değerinin birini blok 2'ye diğerini blok 32'ye vererek, blok 1 ve 2'yi (0) sıfır yaparken kendi değeri de (0) sıfır olur. Blok 17 ve 18 (+1)'er değerlerini blok 7'ye vererek blok 7'nin değerini sıfır yaparken kendi değerleri de (0) olur. Blok 20'nin konisinde blok olmadığı için blok 20 kaldırılır.

3. seviyede pozitif bloklar 23 ve 24 dır. Blok 23'ün konisinde blok 4 ve 14 vardır. Blok 23 (+2) değerinin birini blok 4'e birini de blok 14'e vererek bu blokların değerini (0) sıfır yaparken kendi değerini de (0) yapar. Blok 24'ün konisinde blok 15

ve 16 vardır. Blok 24 (+2) değerinin birini blok 15'e diğerini de blok 16'ya vererek bu blokların değerini (0) sıfır yaparken kendi değeri de (0) olur.

4. seviyede pozitif bloklar 30, 31 ve 32 dir. Blok 30'un konisinde blok (3, 4, 7, 8, 14, 15, 16, 17, 18, 23, 24, 25) vardır. Bunlardan yalnızca blok 8 ve 25'e vererek bu blokların değerini sıfır yaparken kendi blok değeri (+2) olarak kalır.

Eğer seviye açık işletme sınırı olarak kabul edilseydi, blok 12'nin konisinde blok 2 bulunurdu. Blok 12 (+2) değerinden birini blok 2'ye vererek blok 2'nin değerini (0) sıfır yaparken kendi değeri (+1) olur. Blok 19'da kaldırılır.

Blok 31'in konisinde blok 26 vardır. Blok 31 (+4) değerinden birini blok 26'ya vererek blok 26'nın değerini sıfır yaparken kendi değeri (+3) olur. Aynı şekilde blok 32 (+4) değerinden birini blok 27'ye vererek blok 27'nin değerini sıfır yaparken kendi değeri (+3) olur.

|   | 1 | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 | 11 |
|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 1 | 1 | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 | 11 |
| 2 | 1 | -1 | -1 | -1 | 1  | 1  | -2 | -2 | 1  | 1  | 1  |
| 3 |   | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |    |
| 4 |   | 2  | -1 | -1 | -1 | -1 | 1  | 1  | 1  | 1  |    |
| 5 |   |    | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 |    |    |
| 6 |   |    | -2 | -1 | 2  | 2  | -1 | -1 | -1 |    |    |
| 7 |   |    |    | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 |    |    |    |
| 8 |   |    |    | -1 | -1 | 4  | 4  | 4  |    |    |    |

Adım1  $S=1+1+1+1+1+1=6$

| 1 | 2  | 3  | 4  |    |    | 7  | 8  |    |    |  |  |
|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|--|--|
| 2 | -1 | -1 | -1 |    |    | -2 | -2 |    |    |  |  |
| 3 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |  |  |
| 4 | 2  | -1 | -1 | -1 | -1 | 1  | 1  | 1  | 1  |  |  |

Adım2  $S=6+1=7$

| 1 | 2  | 3  | 4  |    |    | 7  | 8  |    |    |  |  |
|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|--|--|
| 2 | 0  | 0  | -1 |    |    | 0  | -1 |    |    |  |  |
| 3 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |  |  |
| 4 | 0  | -1 | -1 | -1 | -1 | 0  | 0  | 0  | 1  |  |  |

Adım3

| 1 | 2  | 3  | 4  |    |    | 7  | 8  |    |  |  |  |
|---|----|----|----|----|----|----|----|----|--|--|--|
| 2 | 0  | 0  | -1 |    |    | 0  | -1 |    |  |  |  |
| 3 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 |  |  |  |
| 4 | 0  | -1 | -1 | -1 | -1 | 0  | 0  | 0  |  |  |  |
| 5 |    | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 |  |  |  |
| 6 |    | -2 | -1 | 2  | 2  | -1 | -1 | -1 |  |  |  |

Şekil 2.7 Korobov Algoritmasının Bir Örnek Üzerinde İncelenmesi

Adım4

$S=7$

|   |         |          |          |         |         |          |          |          |
|---|---------|----------|----------|---------|---------|----------|----------|----------|
| 1 | 2<br>0  | 3<br>0   | 4<br>0   |         |         | 7<br>0   | 8<br>-1  |          |
| 2 | 12<br>0 | 13<br>-1 | 14<br>0  | 15<br>0 | 16<br>0 | 17<br>0  | 18<br>0  | 19<br>0  |
| 3 |         | 21<br>-2 | 22<br>-1 | 23<br>0 | 24<br>0 | 25<br>-1 | 26<br>-1 | 27<br>-1 |

Adım5

|   |         |          |          |          |         |          |          |          |
|---|---------|----------|----------|----------|---------|----------|----------|----------|
| 1 | 2<br>0  | 3<br>0   | 4<br>0   |          |         | 7<br>0   | 8<br>-1  |          |
| 2 | 12<br>0 | 13<br>-1 | 14<br>0  | 15<br>0  | 16<br>0 | 17<br>0  | 18<br>0  | 19<br>0  |
| 3 |         | 21<br>-2 | 22<br>-1 | 23<br>0  | 24<br>0 | 25<br>-1 | 26<br>-1 | 27<br>-1 |
| 4 |         |          | 28<br>-1 | 29<br>-1 | 30<br>4 | 31<br>4  | 32<br>4  |          |

Adım6

$S=7+(0)=7$

|   |         |          |          |          |         |         |          |          |
|---|---------|----------|----------|----------|---------|---------|----------|----------|
| 1 | 2<br>0  | 3<br>0   | 4<br>0   |          |         | 7<br>0  | 8<br>0   |          |
| 2 | 12<br>0 | 13<br>-1 | 14<br>0  | 15<br>0  | 16<br>0 | 17<br>0 | 18<br>0  | 19<br>0  |
| 3 |         | 21<br>-2 | 22<br>-1 | 23<br>0  | 24<br>0 | 25<br>0 | 26<br>-1 | 27<br>-1 |
| 4 |         |          | 28<br>-1 | 29<br>-1 | 30<br>2 | 31<br>4 | 32<br>4  |          |

Adım7

$S=7+1=8$

|   |         |          |  |  |  |  |  |         |
|---|---------|----------|--|--|--|--|--|---------|
| 1 | 2<br>-1 |          |  |  |  |  |  |         |
| 2 | 12<br>2 | 13<br>-1 |  |  |  |  |  | 19<br>1 |

Adım8

$S=8+1=9$

|   |         |          |  |  |  |  |  |  |
|---|---------|----------|--|--|--|--|--|--|
| 1 | 2<br>0  |          |  |  |  |  |  |  |
| 2 | 12<br>1 | 13<br>-1 |  |  |  |  |  |  |

Adım9

$S=9$

|   |          |          |          |  |         |          |          |  |
|---|----------|----------|----------|--|---------|----------|----------|--|
| 2 | 13<br>-1 |          |          |  |         |          |          |  |
| 3 | 21<br>-2 | 22<br>-1 |          |  |         | 26<br>-1 | 27<br>-1 |  |
| 4 |          | 28<br>-1 | 29<br>-1 |  | 31<br>4 | 32<br>4  |          |  |

Şekil 2.7'nin Devamı

**Adım10**  $S=9+3+3= 15$

|    |                                                                               |                                                                               |    |    |    |    |                                                                             |    |    |   |   |  |  |
|----|-------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|----|----|----|----|-----------------------------------------------------------------------------|----|----|---|---|--|--|
| 2  | <table><tr><td>13</td></tr><tr><td>-1</td></tr></table>                       | 13                                                                            | -1 |    |    |    |                                                                             |    |    |   |   |  |  |
| 13 |                                                                               |                                                                               |    |    |    |    |                                                                             |    |    |   |   |  |  |
| -1 |                                                                               |                                                                               |    |    |    |    |                                                                             |    |    |   |   |  |  |
| 3  | <table><tr><td>21</td><td>22</td></tr><tr><td>-2</td><td>-1</td></tr></table> | 21                                                                            | 22 | -2 | -1 |    | <table><tr><td>26</td><td>27</td></tr><tr><td>0</td><td>0</td></tr></table> | 26 | 27 | 0 | 0 |  |  |
| 21 | 22                                                                            |                                                                               |    |    |    |    |                                                                             |    |    |   |   |  |  |
| -2 | -1                                                                            |                                                                               |    |    |    |    |                                                                             |    |    |   |   |  |  |
| 26 | 27                                                                            |                                                                               |    |    |    |    |                                                                             |    |    |   |   |  |  |
| 0  | 0                                                                             |                                                                               |    |    |    |    |                                                                             |    |    |   |   |  |  |
| 4  |                                                                               | <table><tr><td>28</td><td>29</td></tr><tr><td>-1</td><td>-1</td></tr></table> | 28 | 29 | -1 | -1 | <table><tr><td>31</td><td>32</td></tr><tr><td>3</td><td>3</td></tr></table> | 31 | 32 | 3 | 3 |  |  |
| 28 | 29                                                                            |                                                                               |    |    |    |    |                                                                             |    |    |   |   |  |  |
| -1 | -1                                                                            |                                                                               |    |    |    |    |                                                                             |    |    |   |   |  |  |
| 31 | 32                                                                            |                                                                               |    |    |    |    |                                                                             |    |    |   |   |  |  |
| 3  | 3                                                                             |                                                                               |    |    |    |    |                                                                             |    |    |   |   |  |  |

**Adım11**  $S=15$

|    |    |                                                                               |                                                                               |    |    |    |    |  |  |
|----|----|-------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|----|----|----|----|--|--|
| 1  |    | <table><tr><td>13</td></tr><tr><td>-1</td></tr></table>                       | 13                                                                            | -1 |    |    |    |  |  |
| 13 |    |                                                                               |                                                                               |    |    |    |    |  |  |
| -1 |    |                                                                               |                                                                               |    |    |    |    |  |  |
| 2  |    | <table><tr><td>21</td><td>22</td></tr><tr><td>-2</td><td>-1</td></tr></table> | 21                                                                            | 22 | -2 | -1 |    |  |  |
| 21 | 22 |                                                                               |                                                                               |    |    |    |    |  |  |
| -2 | -1 |                                                                               |                                                                               |    |    |    |    |  |  |
| 3  |    |                                                                               | <table><tr><td>28</td><td>29</td></tr><tr><td>-1</td><td>-1</td></tr></table> | 28 | 29 | -1 | -1 |  |  |
| 28 | 29 |                                                                               |                                                                               |    |    |    |    |  |  |
| -1 | -1 |                                                                               |                                                                               |    |    |    |    |  |  |
| 4  |    |                                                                               |                                                                               |    |    |    |    |  |  |

Şekil 2.7'nin Devamı

Korobov algoritması basitliği ve hesaplama zamanının azlığı nedeni ile Lerchs-Grossman algoritmasına alternatif olmaktadır. Fakat bazı düzenlemelerin yapılması gereklidir. Pozitif değerlikli bir blok atama yapıldıktan sonra pozitif kalırsa, bloğun içinde olduğu üretim konisinin içindeki bloklara başka bir üretim konisinin blok değerleri tarafından atama yapıp yapılmadığı kontrol edilir. Böyle bir değer ataması yapılmamışsa blok ve üretim konisi çözüme eklenir. Koniye değer atayan başka koninin bloğu bulunuyorsa, komşu bloklara hiç bir atama yapılmadan önce komşu olmayan bloklara atama yapılması şeklinde tekrardan değer ataması yapılır (Dowd ve Onur, 1993).

### 2.2.2.7. Parametirizasyon Tekniği

Rezerv parametirizasyon metodu, açık işletme sınırlarının tespitinde seri halinde ocakların belirlenmesinde kullanılan bir tekniktir. Sistemin ana amacı ocak net değerini parasal olarak değil; metal içeriği olarak maksimize etmektir (Francois-Bongarcon ve Guibal, 1982). Bu teknik ile elde edilen nested ocak serileri birbirlerinin içine geçmiş olarak elde edilir. Bu yöntem en uygun üretim sırasının belirlenmesinde de son derece kullanışlıdır. Böylece kullanıcıların blok inceleme yapmalarına gerek kalmamaktadır. Nested ocaklar yüzlerce blok içermektedir, fakat bazen seri içindeki bir ocak binlerce blok içerebilmektedir. Bir seri içerisinde birbirine yakın iki ocak arasında bulunan büyük farktan dolayı "gap" adı verilen bir problem oluşmaktadır. Gap'ın oluş sebebi; blok tenörlerinin uzaya ait (spatial)

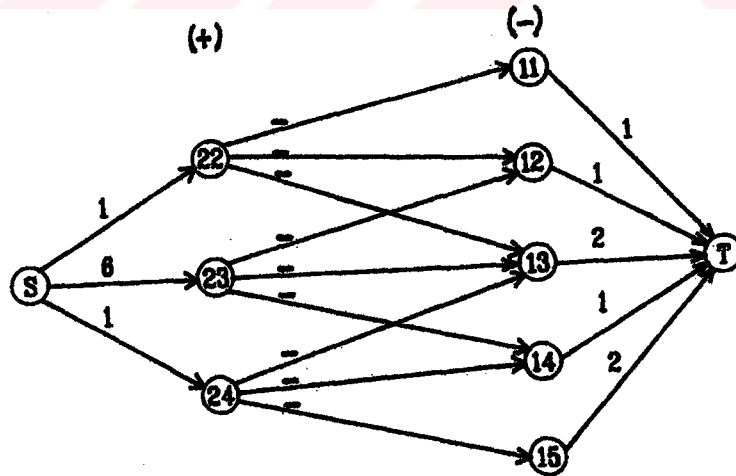
dağılımlarının belirlediği ocakların sayışım ve boyutlarının kontrol edilmemesidir (Wang ve Sevim, 1995).

### 2.2.2.8. Maksimum Akım Yöntemi

Maksimum akım yöntemi ile açık işletme nihai sınır tespiti aşağıda verilen örneklerle açıklanmaktadır. İlk örnekte; iki basamaklı modeli Şekil 2.8 göz önüne alınmıştır. Bu modelde iki basamak vardır. Her basamaktaki blokların ekonomik değerleri blok içlerine yazılmıştır. Şev açısı  $45^\circ$  kabul edilmiştir. Blok (2,3)'ü kazabilmek için (1,2), (1,3) ve (1,4) blokları öncelikle kazılmalıdır. Bu örnekte verilen problemi çözebilmek için Şekil 2.9'deki network çizilmiştir. Blokları network'e dönüştürmek için yapılması gerekenler şunlardır: Network'ün soluna pozitif değer ifade eden, sağına ise negatif değer ifade eden bloklar yerleştirilir. Pozitif bloklar S, negatif bloklar da T sanal düğüm noktalarına bağlanır. Düğüm noktaları arasındaki arkların kapasiteleri blokların mutlak ekonomik değerleridir. Pozitif bloklar ve negatif bloklar arasındaki arkların kapasiteleri ise sonsuzdur (Jonhson ve Barnes,1988)

|   | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  |
|---|----|----|----|----|----|
| 1 | -1 | -1 | -2 | -1 | -2 |
| 2 |    | 1  | 6  | 1  |    |

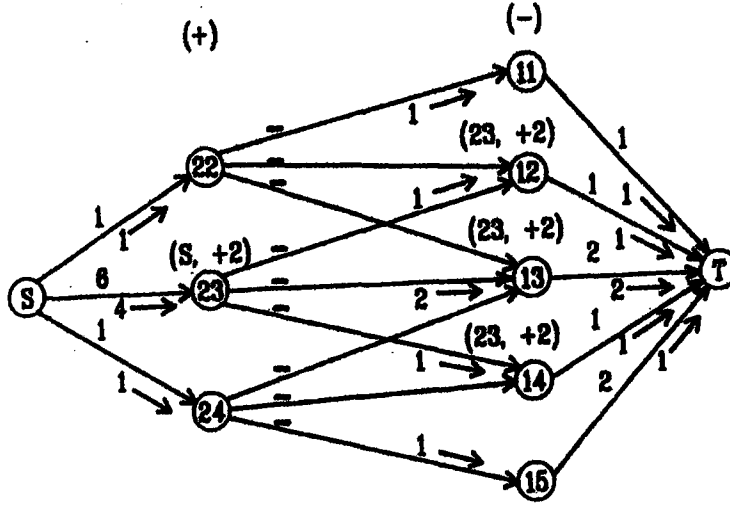
Şekil 2.8 İki Basamaklı Ekonomik Model



Şekil 2.9 Blok Modelin Network Gösterimi

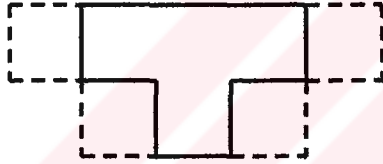
Amaç, açık işletme nihai sınırını toplam ekonomik değeri maksimize edecek şekilde bulmaktır. Bu amaçla maksimum akım algoritması kullanılmaktadır. Algoritmanın

uygulanması sonucunda bulunan çözümde arklar üzerindeki akım sonuçları ve düğüm noktalarının etiketlenmiş hali Şekil 2.10'de görülmektedir.



Şekil 2.10 Network'ün Optimum Çözümü

Sonuç olarak elde edilen Network'teki etiketlenmiş olan blokların kazılması etiketlenmemiş olan blokların ise bırakılmasıyla optimum açık işletme nihai şekli elde edilmiş olacaktır. Optimum açık işletmenin aldığı Şekil 2.11'de gösterilmiştir.



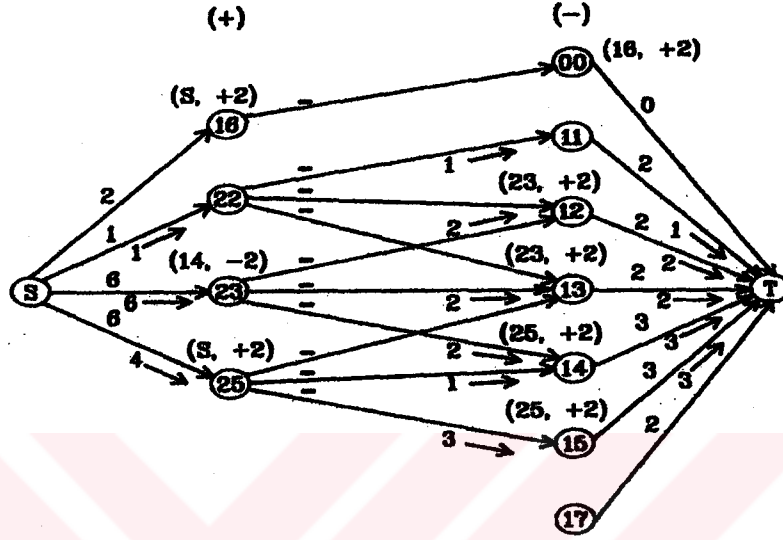
Şekil 2.11 Optimum Açık İşletme Nihai Şekli

Maksimum akım yöntemi için verilen ikinci örneğin blok modeli Şekil 2.12'da görülmektedir. Bu örnekte 3 basamak vardır ve ilk basamak pozitif bir değer ihtiva etmektedir. İlk basamak pozitif bir blok ihtiva ederse bu blok sol tarafta pozitif bloklara dahil edilir. Sağ taraftaki negatif bloklara ise sanal bir düğüm noktası ilave edilerek bağlanır. İki den fazla basamak olması durumunda önce ilk iki basamak çözülür ve daha sonra 3. basamak eklenerek çözüme devam edilir. İkinci adımda, 1. adımda kazılması sonucuna varılan bloklar (etiketlenmiş bloklar) modelden çıkartılarak kalan bloklar ve 3. basamak ilave edilerek yeni bir network oluşturulur ve çözüme devam edilir.

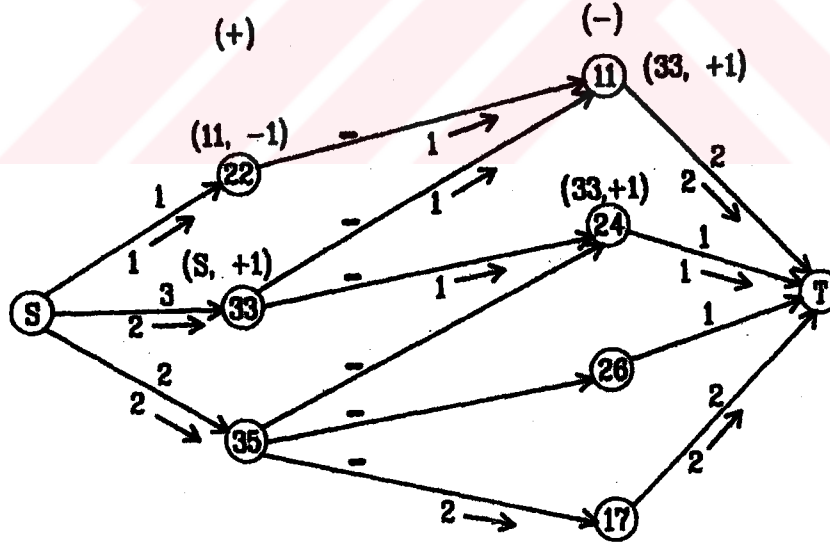
|    |    |    |    |    |    |    |
|----|----|----|----|----|----|----|
| -2 | -2 | -2 | -3 | -3 | 2  | -2 |
|    | 1  | 6  | -1 | 6  | -1 |    |
|    |    | 3  | -1 | 2  |    |    |

Şekil 2.12 Üç basamaklı Örnek Blok Model

İkinci örnekte 1.adımın çözümü Şekil 2.13'de; 2.adımın çözümü Şekil 2.14'de verilmiştir.

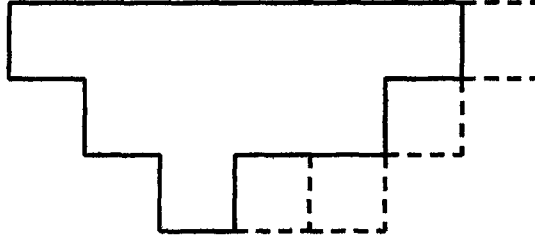


Şekil 2.13 I.Adım İçin Optimum Çözüm



Şekil 2.14 II. ve Son Adım İçin Optimum Çözüm

Nihai çözüme uygun olarak açık işletmenin alacağı son şekil ise Şekil 2.15'de verilmiştir.



Şekil 2.15 İkinci Örnek İçin Optimum Açık İşletme

Blok modelin 3 boyutlu olması durumunda ise çözüm metodu 2 boyutlu modelin çözüm metodu ile aynıdır. Farklı olarak; bloklar üçüncü boyutta modele ilave edilir ve şev açıları dikkate alınarak network oluşturulur.

### 2.2.3. Üretim Zamanının ve Sırasının Belirlenmesi

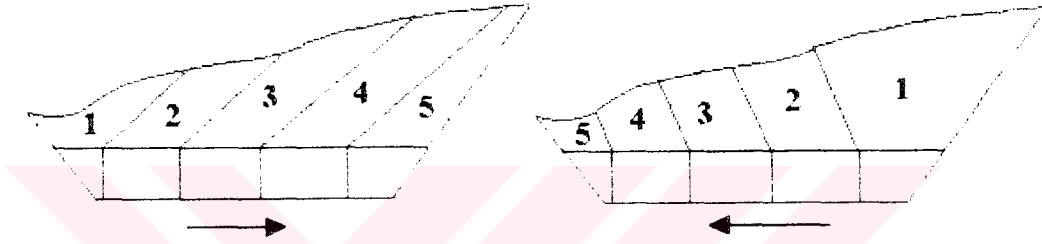
Açık işletme sınırlarının tespitinden sonra üretim planlamasının en önemli adımlarından birisi olan, blokların üretim zamanının ve sırasının belirlenmesi gelmektedir. Üretim sırasının belirlenmesi nakit akışının dağılımını belirlemekte ve bunun sonucu direk olarak paranın bugünkü değerini ve projenin bütününe ekonomikliliğini etkilenmektedir. Maden yatağından elde edilmek istenilen maksimum kar, ancak blokların optimum kazı sırasının bulunması ile sağlanabilir. Bunun için geliştirilmiş olan çeşitli yöneylem teknikleri kullanılarak bir çok yazılım üretilmiştir. Kullanılan teknikler aşağıda verilmiştir:

- 1-Lineer programlama modelleri
- 2-Integer veya mixed-integer programlama modelleri
- 3-Dinamik ve stokastik dinamik programlama modelleri
- 4-Heuristik metotları kullanan programlama modelleri

Üretim sırasının belirlenmesi için kullanılan algoritmalar, bloklara ayrılmış olan maden yatağındaki her bir bloğun üretim sırasını belirlemektedir. Bu blokların üretilmesi için çok sayıda sıralama alternatifleri olmasına karşılık belirli teknolojik ve ekonomik koşullar altında paranın bugünkü değerini veren sadece bir sıralama bulunmaktadır. Bununla birlikte, bir blok üretilmeden o bloğa paranın bugünkü değerinin atanması mümkün olmamakta ve ocak dizayn edilinceye kadar bloğun üretileceği zaman bilinmemektedir. Bu problem, zoraki planlama problemi (constrained scheduling problem) olarak tanımlanmaktadır. Oluşturulan eşitliklerle problemin bilgisayarla hesaplama zamanı çok uzun olmaktadır. Bu problemin en yaygın çözümü optimal ocak kabuğunu, maksimum karı optimizasyon kriteri olarak

düzenlemek ve daha sonra paranın bugünkü değerini maksimize edecek olan bu kabukla blokların sıralamasını gerçekleştirmektir (Onur ve Dowd, 1992; Dowd, 1994).

Üretim sırasının belirlenmesinde paranın bugünkü değerinin önemi Şekil 2.16'de verilen basit bir örnek üzerinde açıklanabilir. Aynı zaman dilimi içerisinde ve aynı indirim oranları ile fakat farklı üretim sırası ile yapılan üretimlerle elde edilen sonuçlar farklı olmaktadır. Maden yatağının en karlı kısımlarının işletmenin ilk yıllarında üretilmesinin en fazla kazancı sağlayan yöntem olduğu görülmektedir.



Şekil 2.16 İki Üretim Yönünün Karşılaştırılması

İşletmenin ilk yıllarında cevher kazısının maden yatağının en karlı kesimlerinden başlayacağı bir üretim yönü seçilmesinin en iyi yol olduğu Tablo 2.3'ün incelenmesi ile görülmektedir. Üretimler aynı olmasına karşılık üretim sıralarının farklı olmasından dolayı üretim sonucunda elde edilecek gelir farklı olmaktadır.

Tablo 2.3 İki Farklı Üretim Sırası İçin Nakit Akışının İncelenmesi

| Sıra   | Alternatif |     | İndirim oranı | Alternatif |       |
|--------|------------|-----|---------------|------------|-------|
|        | 1          | 2   |               | 1          | 2     |
| 1      | 100        | 60  | 0.909         | 90.9       | 54.5  |
| 2      | 90         | 70  | 0.826         | 74.3       | 57.5  |
| 3      | 80         | 80  | 0.751         | 60.1       | 60.1  |
| 4      | 70         | 90  | 0.683         | 47.8       | 61.5  |
| 5      | 60         | 100 | 0.621         | 37.3       | 62.1  |
| Toplam | 400        | 400 |               | 310.4      | 296.0 |

Üretim sıralamasının belirlenmesi planlamanın uygulandığı zaman aralığına bağlı olarak uzun, orta ve kısa dönemli olmak üzere üçe ayrılmaktadır. Uzun dönemli üretim sıralaması yıl bazında rezerv, dekapaj oranları ve ana yatırımlar ile ilgili, kısa

sürelî olduğu zaman ise günlük, haftalık veya aylık bazda işletme kapasitesi, yatırımlar, ekipmanların uygunluğu gibi faktörler göz önüne alınarak gerçekleştirilmektedir.

Üretim sırasının belirlenmesinde gerekli olan veriler aşağıda verilmiştir: (Dowd,1994).

- 1- Maden yatağının blok modeli
- 2-Cevher ve yan taş yoğunlukları
- 3-Her bloğun değeri
- 4-Blokların tonajı ve tenörü
- 5-Maden ömrü veya üretim oranı
- 6-Cevher Hazırlama tesisine beslenen maksimum ve minimum tenörler
- 7-Cevher ve yan taşın maksimum ve minimum üretim oranları
- 8-Ocak tabanının minimum boyutları
- 9-Faiz oranı
- 10-Madenin güncel şekli veya optimum açık işletme sınırları

Barnes ve Johnson tarafından lineer programlama kullanılarak orta dönemli üretim sırasının belirlenmesi üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Uzun dönem ile kısa dönem arasındaki uyumun sağlanması probleminin; bu çalışma ile birlikte giderilmesi amaçlanmıştır. Problemin amaç fonksiyonunu oluşturan parametreler aşağıda verilmiştir:

1-Toplam üretimin maksimize edilmesi: Toplam üretimin maksimize edilmesi demek, ocağın toplam ekonomik değerinin maksimizasyonu anlamındadır.

2-Cevher üretimini maksimize etmek: Bu amaç fonksiyonu ile satılabilir ürünün ton başına değerinin maksimize edilmesi amaçlanmaktadır.

3-Uzun dönemli planlamalardaki sapmaları minimize etmek: Ekskavatör arızaları gibi üretimi kesen ve üretim programının devamının sağlanamadığı durumlarda sıralamanın devamının sağlanması amaçlanmaktadır.

4-Cevher hazırlamaya beslenen cevher miktarındaki sapmaları minimize etmek: Hatalı yapılmış geçmiş dönem planlamaları, ekipman kayıpları, yatak geometrisi vb. faktörler istenilen miktarlardaki cevher üretiminin sağlanmasını engellemektedir.

Rezerv parametirizasyon metodu ile maksimum metal içeriğine sahip ocaklar serisi birbiri içerisine geçmiş olarak elde edilirler. Bu metodun ve diğer açık işletme sınırlarını belirleme algoritmalarının esas amacı nihai sınırları elde etmek olmasına karşılık oluşturulan ocaklar optimum üretim sırasının bulunmasında kullanılacaklardır. Oluşturulan nested ocaklar ileri yönlü ve artış gösteren ocaklardır. Üretim sırasının belirlenmesinde deneme ve hata (trial-and-error) veya matematiksel programlama tekniklerinin kullanılması ile belirlenir. İkili programlama (binary programming) kullanılarak ocaktaki basamakların üretim sırasını belirleyerek bir üretim sırası algoritması geliştirilmiştir (Wang ve Sevim, 1995).

Ocak dizayn ve analiz teknikleri veya parametirizasyon gibi teknikler genelde yaygın bir problem olan gap problemini oluşturmaktadır. Gap problemi bulunan ocaklar ile üretim sırasının belirlenmesinde, gap çok ciddi zorluklara yol açmaktadır. Dağdelen, (1985) ve Elevli, (1988) tarafından geliştirilen algoritmalarda birbiri içerisine geçen iki koni arasında büyük artışlar olması, bir sıralama periyodunda beklenen üretimin sağlanamaması gap tarafından oluşturulan problemten dolayı kaynaklandığı belirtilmektedir.

Belirli bir periyotta beklenen üretim T ton'dan küçükse, içerisinde T ton gap olan bir seri ocak genel olarak üretim sıralaması için kullanılamaz. Bu sorunu ortadan kaldırmak için yeni bir algoritma Wang ve Sevim (1995) tarafından geliştirilmiştir. Bu algoritmada maksimum değerli ocak serileri kabul edilebilir düzenli artışlarla oluşturulmaktadır. Optimizasyon kriteri olarak parasal değer, tenor veya istenen başka bir değer olabilmektedir.

Wang (1982), normal piyasa koşulları altında optimum üretim sırasının (paranın bugünkü değerini maksimize eden) düzgün olarak artan maksimum metal içeriğine sahip nested ocağın bir alt aşaması olduğunu ispatlamıştır. Buna göre yeni bir algoritma geliştirilmiştir. Burada, toplam blokları  $M+N$  olarak vermekte ve maksimum metal değerlerine sahip M bloklarını almakta, geri kalan düşük metal içerikli N bloklarını ise elemine etmektedir. Metal içeriği düşük olan N blokları hareketli koniler algoritmasının aksine yukarıdan aşağıya doğru bir koni ile araştırılmaktadır. Bu şekilde bir algoritma kullanılmasının amacı bu blokların modelden uzaklaştırılacak olmasıdır.

N bloklarını içeren koni bir veya birden fazla olarak oluşabilmektedir. Bir istisna olarak bu blokları içeren koni bir tane olabilir veya her biri tek bir blok içeren konilerin oluşturduğu aynı tek bir seri olabilir.

Bu koniler ortalama tenor değerlerine göre sıralanarak belirlenmektedir. Serileri oluşturan her bir iterasyonda N blokları blok modelden uzaklaştırılır ve bütün olası M blokları içine alan maksimum metal içeriğine sahip olan M konisi elde edilir.

Bu algorithmada, 3 blokluk artışla maksimum metal içeren ocak serilerinin ve en fazla 4 blok içeren serideki en küçük ocağı bulma gibi sınır koşullarının belirlediği bir amaç fonksiyonu araştırılabilmektedir.



### **3. MADENCİLİKTE BİLGİSAYAR YAZILIMLARININ KULLANIMI**

Cevher üretiminin planlaması ve jeolojik modelleme çalışmaları için bilgisayarlar uzun zamandır kullanılmasına karşılık, son yıllardaki bilgisayar teknolojisi ve yazılım alanlarındaki gelişmelere bağlı olarak büyük ilerlemeler sağlanmış ve çok yönlü madencilik paket programları geliştirilmiştir. Madencilik yatırımlarının gerek riskli olması gerekse yatırımın geri dönüş süresinin uzun olması, maden sahalarının detaylı analizlerinin yapılmasını, işletmenin zaman içerisinde alacağı şekil, seçilen metodun zamanla ocak yapısını nasıl değiştireceği ve diğer önemli parametrelerin bilgisayar ortamında önceden belirlenip, tasarlanması için çok sayıda madencilik paket programının üretilmesine neden olmuştur.

CAD (Computer Aided Design) ve veri tabanlı yazılım programları 80'li yılların başından beri madencilik sektöründe yaygın olarak kullanılmaktadır. Jeolojik modelleme, rezerv hesapları ve üretim planlaması gibi çalışmaların verimli ve kısa sürede yapılması, bilgisayar destekli sistemler olmadan çok zor olacaktır.

1990'lı yılların özellikle ikinci yarısından sonra bilgisayar sistemlerinde ve buna paralel olarak yazılım sektöründe önemli sayılabilecek değişiklikler olmuştur. Özellikle Microsoft Windows işletim sisteminin tanıtılması ve yaygın bir şekilde kullanılması madencilikte de bilgisayar kullanımının yaygınlaşmasını sağlamıştır. Bu artışa neden olarak aşağıdaki nedenler gösterilebilir:

- 1) Birbiriyle ilişkili sistemlerin geliştirilmesi
- 2) Bilgisayar donanımlarındaki ucuzlamalar,
- 3) Yazılım kullanılmasının yaygınlaşması.

Günümüzde birçok firma cevher yatağının modellenmesi, rezerv hesaplanması ve maden planlaması konularında birbirlerine geçişler yapacak şekilde entegre yazılımlar piyasaya sürmüşlerdir (Colaris, Datamine, Geostat, Geovariance, Minesight, Microlynx, Minex, Pcmine, Surpac, Vulcan, Whittle, Micromine, Geosoft). Entegre madencilik yazılımlarında jeolojik bir veri tabanı oluşturulduktan

sonra haritaların çizilmesi, yatağın modellenmesi ve madenin planlaması başka bir yazılıma ihtiyaç duyulmadan yapılabilir. Aşağıda madencilikte en çok kullanılan Vulcan, Surpac, Datamine, Microlynx ve Minesight; madencilik paket programları genel özellikleriyle tanıtılmıştır.

### **3.1. Vulcan Madencilik Paket Programı**

Vulcan yazılımı Windows'un XP, NT ve 2000 versiyonlarında çalışabilmektedir. Vulcan yazılımı aşağıda belirtilen temel konularda, PC bilgisayarları ile kullanılarak madencilik sektörüne hizmet vermektedir:

- 1) cevher arama
- 2) jeolojik modelleme
- 3) maden işletme dizaynı ve planlaması
- 4)cevher üretimi
- 5) cevher varlığını sürekli değerlendirme
- 6) jeostatistik
- 7) yeraltı suyu modellemesi
- 8) çevre yönetimi
- 9) rehabilitasyon

Vulcan madencilik paket programının özellikleri şunlardır:

- Vulcan, açık ve yer altı maden işletme planlaması, üretim programlaması ile ilgili birçok fonksiyonları gerçekleştirmektedir. Bu nedenle hem fizibilite aşamasında hem de günlük işletme sırasında kullanım imkanı mevcuttur.
- Vulcan'ın, açık işletme fonksiyonu ile blok modelini kullanarak ilk değerlendirmelerin sonuçlarını kısa zamanda vermesi mümkün olmaktadır.
- Vulcan, hızlı pit (ocak) ve dump (tumba) projeksiyonları ile özel koşullar için değişik ocaklar oluşturabilmektedir.
- Vulcan'la, ocak geometrisi ve topoğrafik kısıtlamalar göz önüne alınarak aşağıdan yukarıya veya yukarıdan aşağıya işletilebilecek ocak dizaynları yapılabilmektedir.
- Vulcan'da, ocak projeksiyon işleminin herhangi bir aşamasında ocakta değişiklikler yapılarak genel hatların efektif bir biçimde kontrol edilmesi imkanı vardır.

- Vulcan'da ana nakliye yollarını ve kazı-dolgu miktarlarını rahatlıkla hesaplayarak optimum zaman ve maliyet elde edilebilmektedir.
- Vulcan'da, maden işletmesi boyunca rezervlerde, tenörlerde meydana gelen değişiklikleri; blok ve yüzey modelleri ile devamlı olarak belirlenmektedir.
- Vulcan'da, topoğrafik ölçüm, analiz sonuçları ve jeoloji; entegre olarak değerlendirilerek cevher ve pasa sınırları kesin olarak belirlenebilmekte ve takip edilebilmektedir.
- Vulcan'da, sondaj sonuçları, blok model ve proses tesisinden gelen sonuçlar hızlı bir şekilde entegre edilip değerlendirilir ve problemler tespit edilip performans yükseltilir.
- Vulcan'la, yüzeyler gridding ile ve 2 boyutlu, 3 boyutlu üçgenleme ile modellenir. Bu teknikler jeolojik yapıların, topoğrafik yüzeyin, maden işletme dizaynının kesin olarak belirlenmesine yardımcı olur. Bu modellemelere tüm jeolojik özellikler, faylar ve kesik yapılar üç boyutlu olarak girilerek görüntülenebilir.
- Vulcan, blok modellemede ileri veri yapısını kullanarak kolay ulaşım imkanı verir. Alt bloklar oluşturarak çalışabilme (blok içinde küçük bloklar) imkanı ile disk alanından tasarrufta bulunma imkanı verir. Döndürülebilir model ile jeolojiyi daha iyi takip etme imkanı verir.
- Vulcan, jeoteknik ve yapısal modülü ile madende ortam ile ilgili çalışma yapılmasını desteklemektedir. Açık işletme şev ölçümleri, sondaj numune verileri göz önüne alınarak özel durumlar için analizler yapılabilmektedir. Stereo projeksiyon ağları ile potansiyel kayma zonlarının daha iyi anlaşılması sağlanır. Kama tipi kayma (wedge failure) yazılımı; yapısal jeoloji modülü (structural geology module) içine entegre edilmiştir.
- Vulcan, çevre yönetiminde 3 boyutlu grafik özelliği, planlama aşamasındaki muhtelif senaryoların değerlendirmesinde gerçeğe yakın görsellikle sunum imkanı vermektedir.
- Vulcan, saha araştırması ve gözetim ile su tablası seviyesini, kirlenmeyi, hava sirkülasyonunu, basamak hareketlerini, ısı değişimlerin. ve hava basınçlarını sürekli kontrol altında tutulabilmektedir.

- Vulcan'ın 'kirlilik modelleme' opsiyonu; 3 boyutlu değerlendirme özelliği nedeniyle kaynakların değerlendirilmesinde, hidrojeolojik çalışmalarda, atık yönteminde ve inşaat mühendisliği projelerinde kullanılmaktadır.
- Yer altı suyu analizi ve kirleticilerin hareketi konularında ne kadar detaylı bilgi toplanıp değerlendirilebilirse o kadar güvenilir ve etkileyici bir çevresel etki projesi hazırlanabilir. Vulcan hidrolik bilgileri birleştirip değerlendirerek bu verileri Modflow ve Aquifem-N flow kodları ile karşılaştırarak yer altı suyu değerlendirme prosesinde doğruluğu ve güvenilirliği artırır.
- Görsel etki çalışmaları ile en karmaşık ve tartışmalı mühendislik projeleri anlaşılır hale getirilir. Vulcan ile, yapılacak işlem ve etkilerin 3 boyutlu görüntülenmesi ve izleyicilerin sanal yürüyüş ve uçuş ile gezdirilebilmesi mümkün olmaktadır.

### **3.2. Surpac Madencilik Paket Programı**

Surpac yazılım programı Dos, Windows ve Unix altında çalışabilmektedir. Surpac madencilik paket programının özellikleri aşağıda verilmiştir:

- Maden sahasındaki bütün topoğrafik işlemler yapılabilmektedir.
- Açık işletme dizaynı yapılabilmektedir.
- Grafik olarak yer altı işletme dizaynı yapılabilmektedir.
- Maden yatağının rezervi, blok modelleme, DTM, kesit yöntemi ve solid modelleme ile bulunabilmektedir.
- Sondaj lokasyonlarının, yüzey topografyasının ve cevher yatağının alt - üst tabakalarının, eş kalınlık eğrileri çizilebilmektedir.
- Modellenen cevher yatağından kesitler alabilmektedir.
- Maden yatağının üretim planlaması ve Whittle 3D açık işletme ile projelendirilen maden yataklarını ekonomik olarak değerlendirilebilmektedir.
- Çevre ile ilgili olarak, hava ve su kirlenmesi modelleri yapılabilmektedir.
- Tasarımı yapılan her türlü çizimin istenilen boyutta 2D ve 3D görüntülü kağıt çıktıları alınabilmektedir.

Surpac madencilik paket programı aşağıda belirtilen aşamaları takip etmektedir:

Saha Verilerinin Programa Yüklmesi: Sahada yapılan sondaj çalışmalarından elde edilen gerçek ölçekteki veriler ilk olarak aşağıda açıklanmış olan dört ana grup altında programa yüklenmektedir. Verilerin yüklenmesi direk olarak kullanıcı vasıtasıyla birebir yapılabildiği gibi belirli bir formatta hazırlanmış ascii veri dosyasından da okutturma metodu ile işlenebilmektedir.

Topografya Verileri:Bu tür veri grubu, sondajın adı ve her bir sondaja ait olan koordinatları, eğim açısı, derinlik, azimut açısı değerlerinden oluşmaktadır. Ayrıca sondajlara ait tarih, sondaj tipi vb. ek bilgiler de karakter olarak girilebilmektedir.

Sondaj Verileri: Sondaj verileri; sondaj adı, numune numarası, numunelerin hangi seviyelerden alındığı ve bu numunelere ait tenör değerlerini içermektedir.

Jeolojik Veriler: Her bir sondaja ait jeolojik veriler geçilen formasyona göre kodlanarak derinlikle birlikte jeolojik verileri oluşturmaktadır.

Quan Verileri: Quan verilerinde, jeofizik veriler (magnetik özellik, resistivite vb.) girilmektedir. Sahaya ait sondaj verilerinin bu şekilde girilmesi ile oluşturulmuş veri tabanı sayesinde plan ve kesitlerin çıkarılmasında, tenör dağılımlarının belirlenmesinde ve sahanın topoğrafik ve katlara göre kontur planlarının çıkarılmasında; kullanılarak yatağın modellenmesinde gerekli bilgiler olarak kullanılmaktadır.

Maden Yatağının Modellenmesi: Maden yatağının şeklinin belirlenmesinde üç boyutlu modelleme (3D modelling) yaygın olarak kullanılmaktadır. Surpac programı bu işlemi, sırasıyla noktalar , stringler ve DTM (Digital Terrain Model)'ı kullanarak oluşturmaktadır. Noktalar xyz eksen düzlemindeki yerleri belirtmektedir. Stringler ise noktalar arasında ve bunları birleştiren çizgiler olarak bulunmaktadır. DTM, stringlerin bir araya gelmesi ile oluşturulan 3 boyutlu maden yatağının yüzeyi olarak tanımlanır. Bir seri string dosyaları ile oluşturulan DTM ile elde edilen maden yatağından çeşitli doğrultularda kesitler alınarak istenilen kottaki cevher dağılımı, kesitler arası rezerv miktarları elde edilir.

Açık İşletme Planlamasının Yapılması: Surpac değişik şev açıları ve basamak genişlikleri, ulaşım yollarının farklı eğim, genişlik ve yönlerini göz önüne alarak mevcut maden yatağında açık işletme planlamasını yapmaktadır. Planlamada mevcut

olan kesitler kullanılarak açık işletmenin tabanındaki kesitten veya işletmeye başlangıç kesitinden itibaren planlamaya başlanabilmektedir. Ayrıca tasarım içerisinde pasa cevher ve döküm sahaları da ayrı olarak planlanabilmektedir.

Surpac programı, tasarım işleminin her aşamasında maden yatağını oluşturan jeolojiyi ve açık işletme basamaklarını görme imkanını sağlayabilmektedir. Tasarım devam ederken belirlenen eğim ve genişlik verilerini kullanarak program otomatik olarak nakliyat yollarının (rampa) yerlerini belirler ve rampaların tasarımında cut-fill (circular), all-cut metotları kullanılır. All-cut metodunda rampanın yönünü kontrol etmek için merkezi bir nokta (central line) verilmesi zorunludur. Basamak hacimleri ve rampa koordinatlarını ihtiva eden dosyalar ile birlikte basamağın bir alt ve üst kısmı için birer string dosyası oluşturulmaktadır.

**Açık Ocak Optimizasyonu:** Açık işletme optimizasyonunun ana hedefi nihai kazı derinliği ve genişliğini belirleyerek işletme ömrü boyunca elde edilen kari maksimize etmektir.

Maden yatağı ve etrafındaki dekapajın blok modeli dinamik programlama metoduna göre (Lerchs ve Grossman) hesaplanmaktadır. Blok boyutları tasarımda belirlenen basamak yükseklikleri ile karşılaştırılır. Ayrıca cevher, dekapaj ve diğer fiziksel özellikleri (tasarımı etkileyecek su geliri vb.) içeren detaylı verilere ihtiyaç duyulur.

Her bir bloğa değer atanması, aşağıda verilmiş olan parametreler dikkate alınarak program tarafından yapılmaktadır:

- Kazılacak her bir malzemenin spesifik ağırlığı
- Üretilen cevherin satış fiyatı
- Kazılan her bir malzemenin madencilik maliyeti (sondaj, patlatma, yükleme, taşıma gibi maliyetlerin toplamı)
- Değerli mineral için cevher hazırlama maliyeti (kırama, öğütme, flotasyon gibi maliyetlerin toplamı)
- Cut-off tenörü
- Tenör kaybı faktörü

### **3.3. Datamine Madencilik Paket Programı**

Datamine madencilik paket programı, hem yer altı hem de açık işletmeler için jeolojik modelleme, rezerv tespiti, maden tasarımı ve planlaması gibi ihtiyaçları karşılayabilmektedir.

Datamine yazılımı modüler bir sistemle çalışmaktadır. Datamine kullanıcısı sık kullandığı opsiyonları önceliklerine göre düzenleyebilmektedir.

Datamine programı aşağıda belirtilen temel konularda çalışmaktadır:

- 1) Maden arama (data girişi, istatistik, sondaj verileri, rezerv konturları)
- 2) Jeolojik modelleme
- 3) Kaya mekaniği
- 4) Açık ve yer altı işletme maden planlaması
- 5) Ekonomik olarak çıkarılabilen rezerv optimizasyonu

Datamine madencilik paket programının özellikleri aşağıda verilmiştir:

- Kuyu, galeri açma ve yer altında patlatma tasarımını kolaylaştırmak için halka tasarımı modülü (ring design module) geliştirilmiştir.
- Stereonet görüntüleyicisi kullanımı fonksiyonları arttırmış ve kullanımı kolaylaştırmıştır.
- Datamine, ekonomik olarak çıkarılabilen rezerv optimizasyonu yapmaktadır.
- Diğer programlarda olduğu gibi Datamine programında da ana menüden ulaşılabilen kolay kullanılabilir tablo editörü kullanıcıya kolaylık sağlamaktadır.

### **3.4. Microlynx Madencilik Paket Programı**

Microlynx paket programı Kanada kökenli lynx firması tarafından geliştirilmiş ve 1994 yılında firma aynı paket programı Microlynx Plus olarak güncelleştirmiştir.

Microlynx madencilik paket programının genel teknik özellikleri aşağıda belirtilmiştir:

- Cevher yatağı 2 ve 3 boyutlu şekilde masif olarak modellenebilmektedir.
- Modellenen bir cevher yatağından yatay-dikey ve çapraz kesitler alınabilmektedir.

- Maden yatağındaki minerallerin istatistiksel dağılımı hesaplanabilmektedir.
- Yatağın rezervi kriging metodu, poligon yöntemi ve kesit yöntemleriyle direk hesaplanabilirken, programın içinde takım dönüşümler yapılarak da hesaplanabilmektedir.
- Masif, dissemine, tabular, ve mercek şeklindeki cevher tipleri için ayrı ayrı blok modelleme işlemi yapılabilmektedir.
- Lerchs-Grossman ve Whittle optimizasyon teknikleriyle 2 veya 3 boyutlu şekilde açık ocak dizaynı yapılabilmektedir. Microlynx programı yer altı işletmesi dizaynı da yapabilmektedir.
- AutoCAD, dBASE, Lotus ve diğer entegre programlarla (Surpac, Datamine, Mintec gibi) veri alış verişi yapabilmektedir.
- Sondaj lokasyonlarının, yüzey topoğrafyasının cevher yatağının alt/üst tabakalarının eş kalınlık eğrilerinin ve diğer tüm tasarım çizimlerinin iki ve üç boyutlu olarak plot çıkışları alınabilmektedir.

### **3.5. Minesight Madencilik Paket Programı**

Minesight maden işletmelerinde tasarım ve planlama yapan bir program olarak jeolojik ve mühendislik işlevleri için tüm istenilen araçlara sahiptir. Minesight programının genel özellikleri şunlardır:

- Program üzerinde kullanılan araçlar birçok CAD tipli yazılımla aynı yada benzerdir.
- Sondaj analizinden cevher keşifi, fizibilite çalışmaları, maden tasarımı planlamasını (açık işletme, yeraltı işletmesi) 3D olarak yapabilmektedir.
- Minesight programı diğer yaygın madencilik programlarıyla karşılıklı veri aktarabilme özelliğine sahiptir.
- Vulcan Surpac gibi Minesight programı da dinamik bir menüye sahiptir. Yani kullanıcı istediği tuşları aktif ekrana taşıyabilmektedir.
- Programın görüntü (viewing) tuşları farklı amaçlara yönelik olarak görüntü vermek üzere oldukça geliştirilmiştir.

- Cevher yatağını modellerken katı model, grid model ve blok model tekniklerini kullanmaktadır.
- Sondaj logları, yüzey topoğrafyası, cevher yatağı, kesitler gibi tasarım işlemleri 2 yada 3 boyutlu olarak tasarlanabilmektedir.
- Program, nihai açık işletme sınır tespitini kriging algoritmasını kullanarak hesaplamaktadır. Minesight programı, rezerv hesabı da yapabilmektedir.

### **3.6. Madencilik Paket Programlarının Genel Değerlendirilmesi**

Madencilığe yönelik bir program seçilirken bu programın ihtiyaçlara ne ölçüde cevap verebileceği, ilerki aşamalarda ortaya çıkabilecek ihtiyaçların neler olabileceği göz önünde bulundurulmalıdır. Programların sahip oldukları modüller detaylı olarak incelenmeli ve ihtiyaçlara cevap verecek en uygun program seçilmelidir. Bununla birlikte, seçilen programın mevcut verileri nasıl kullanacağı, eksik veri durumunda programın ne yapacağı, ne tür sonuçların alınacağı ve bu sonuçların kullanıma ne derecede elverişli olacağı dikkatle analiz edilmelidir.

Bu programların kullanımında tecrübeli mühendislerin değerlendirmelerine her zaman başvurulmalıdır. Bu programlar mühendisin veya tasarımcının yerini alan değil, onlara yardımcı olan araçlardır. Bir maden işletmesinin paket programı seçerken dikkat etmesi gereken hususlar açıklanmaya çalışılmıştır ve programların (Vulcan, Surpac, Datamine, Microlynx, Minesight) genel bir değerlendirilmesi yapılmıştır:

- Madencilik paket programlarının, modüllerinde baz olarak kullandığı veri tabanının; Microsoft Access, Paradox, Oracle (Unix), Informix (Unix) gibi popüler veri tabanları ile uyumlu olmaları gereklidir ve direk olarak veri transferi yapabilmeleri gerekmektedir. Programlarda ascii bazındaki formatlar kullanılmasına karşın; bir programdaki veri tabanı, farklı bir programa okutulurken yeniden düzenlemeye ihtiyaç duyabilmektedir. Bu da; programdan programa veri alış verişi yaparken sıkıntıya sebep olmaktadır. Bu yüzden kullandığı veri tabanları yaygın olan madencilik programları tercih edilmelidir.

- Madencilik sektöründe kullanılan bu programların, temel ve ileri jeoistatistiksel analizler açısından yeterliliği ve maden yatağının modellenmesi için hangi variogram türlerine uygun olduğuna dikkat edilmelidir. Programların kendi jeoistatistik modülleriyle mi yoksa paket jeoistatistik yazılımlarıyla mı çalıştığı önemlidir. Ayrıca, diğer jeoistatistik programlarla veri alış verişi yapabilmesi avantaj sağlar. Vulcan, Surpac, Datamine, Microlynx, Minesight programları cevher yatağı modellenirken; blok modelleme, grid modelleme ve masif (solid) modelleme tekniklerini kullanmaktadır.
- Entegre madencilik paket programlarında, son zamanlarda oldukça önem kazanan çevre modellemesinde yeraltı suyu akış karakteristikleri, toprak kirlenmesi, atmosferik kirlenme gibi birçok çevre sorunu modellenabilmektedir. Paket programın çevre modellemesinin, atık depolama, madencilik faaliyetleri sonucu bozulan yüzeylerin yeniden düzenlenmesi için planların daha madenciliğin tasarım aşamasında iken yapabilmesi ve bütün fiziksel ve jeolojik değişkenleri çevre parametreleri ile birlikte değerlendirebilmesi özelliklerine sahip olup olmadığına dikkat edilmelidir.
- Eğitim desteği bir paket programda bulunması gereken önemli bir özelliktir. Üretici firmalar, elektronik posta yoluyla kullanıcının sorularına cevap vermektedir. Surpac programı, farklı olarak, kullanıcılar arasında bir net ağı kurarak kullanıcıların karşılaştığı sorunları birbiriyle tartışmaları imkanı vermektedir.
- Programın kullanıcıya sağladığı 2 ve 3 boyutlu görüntü özelliklerinin gelişmişliği de oldukça önemlidir. Bu bakımdan Vulcan ve Surpac programları görüntü tuşları ile diğer programlara göre öne çıkmıştır.
- Madencilik paket programlarındaki en büyük eksiklik üretici firmanın kullanıcıya birebir servis ağı sağlamada yetersiz kalmasıdır. Şuanda ihtiyaç duyulan işletmelerde ve üniversitelerde firma tarafından yapılacak olan eğitimlerle programın öğretilmesidir. Bu durumda lisanslı kullanıcılarının sayısının büyük bir ivmeyle artacağı açıktır.

## **4. VULCAN 4.5 PROGRAMI İLE ETİ-BOR A.Ş. KESTELEK SAHASININ TASARIMI VE PLANLAMASI**

### **4.1. İşletmenin Tanıtılması**

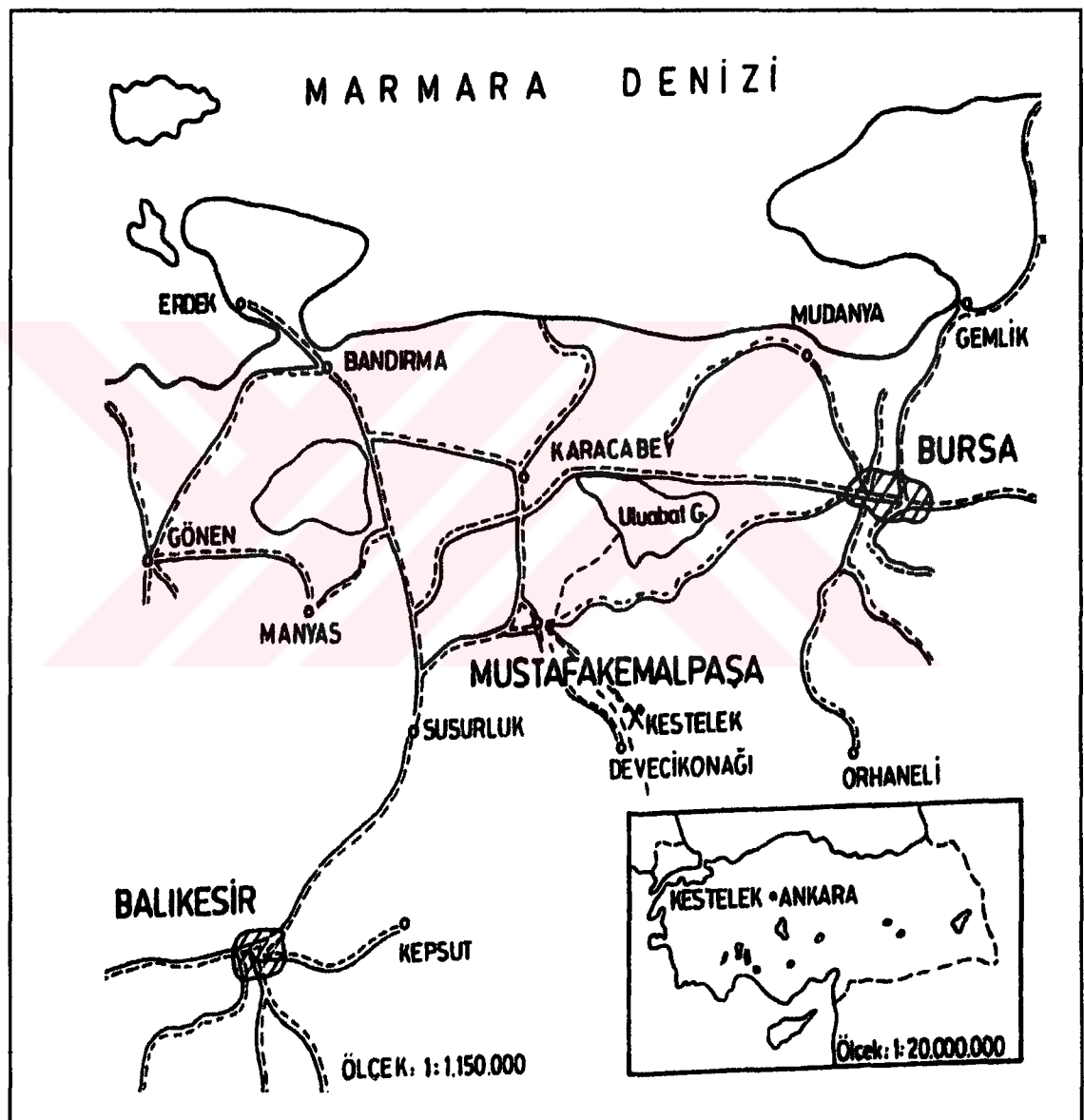
#### **4.1.1. Coğrafi Konum**

Kestelek Bor Madenleri İşletmeleri Müessesesi İşletme Sahası, Bursa ili, Mustafa Kemalpaşa ilçesine bağlı Kestelek köyünün güneyinde bulunmaktadır. Müessesenin ilçe merkezine mesafesi 23 km'dir. Bursa'dan 82 km uzaklıkta ve Bursa-İzmir karayolundan 3 km içeride bulunan Mustafa Kemalpaşa ilçesine yüksek standartlı asfalt karayolu ile gelinmektedir. İlçe ile müessese arasında; biri Devecikonağı ile 25 km asfalt – 4 km stabilize yol, diğeri Camandar köyü üzerinden 23 km'lik yol ile ulaşım sağlanmaktadır. Sahaya ulaşım Şekil 4.1'de görülen yollar vasıtasıyla yapılmaktadır. Açık işletme faaliyetlerinin yapılacağı saha, 33 050 ve 34 100 meridyenleri ile 22 900 ve 23 900 paralelleri arasında 105 hektarlık bir alanı kapsamaktadır.

Açık işletme sahasının kuzeyinde dekapaj nihai sınırı, öncelikle geçirimsizlik perdesine ve daha kuzeydeki Orhaneli Çayı göz önüne alınarak belirlenmiştir. Açık işletmenin güneyinde ise,  $B_2O_3$  tenörü %25'in altına düştüğü yerlerde rezervlerin alınması ekonomik olmadığından, nihai sınırı, belirleyici faktör olarak alınmıştır.

İşletme sahasının kuzeyinde, bu bölgenin en büyük akarsuyu ve M.Kemalpaşa Çayı'nın bir kolu olan Orhaneli Çayı geçmektedir. Orhaneli Çayı'nın kotu +60 civarındadır. Çay'ın kuzeyinde, ortalama +70 kotunda, oldukça geniş ve düz bir ekim alanı bulunmaktadır. Güneyindeki arazi ise oldukça engebeli bir yapı arz etmektedir. Burada en yüksek noktayı +302 kotundaki Sarıçam Tepe meydana getirmektedir.

Bölge, tipik “Marmara Bölgesi” iklimini içermektedir. Yazlar sıcak, kışlar ılımandır. kış aylarındaki yağışlar, killi tabakalar nedeniyle iş makinalarının çalışmasını engellemektedir. Bu bakımdan açık işletmede çalışma 7 ay olarak kabul edilmiştir.



**Şekil 4.1 Eti-Bor Kestelek Bor Madenleri İşletmeleri Sahası Ulaşım Durumu**

#### 4.1.2. Genel Jeoloji

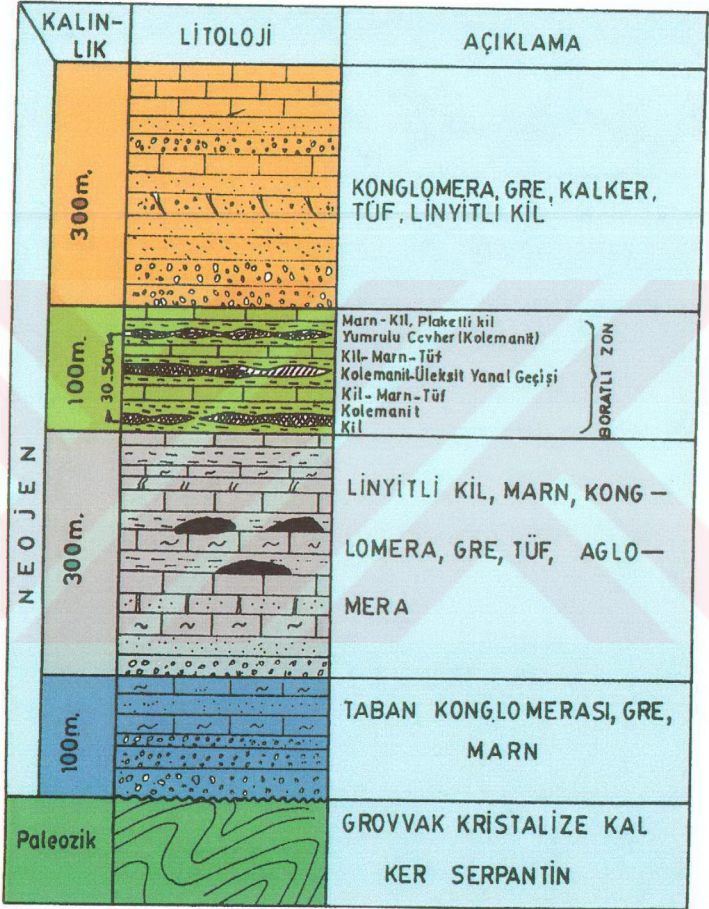
Eti-Bor Kestelek projesinden alınan; bölgenin neojen kesiti Şekil 4.2’de gösterilmiştir. İstifin kalınlığı takriben 800m. kalınlığındadır. Neojen yaşlı birimler tabandan tavana doğru, Taban Konglomerası, Kumtaşı, Marn, Linyitli Kil, Tüf, Kil, Bor cevher zonu, Kalker, Linyitli Kil, Marn şeklinde sıralanmaktadır. Sahanın kuzeybatı-güneydoğu yönünde uzanan Emet Çayı ile kuzeydoğu-güneybatı yönünde uzanan Orhaneli Çayı’nın vadileri 1’er km.lik şeritler halinde neojen araziye örten alüvyonlarla kaplıdır.

Borathı formasyon Kestelek köyünün güneyinde mostra vermekte ve güney-güneybatıya doğru uzanmaktadır. Borathı seviye genelde tavan, orta ve taban kat cevheri olarak üç ana damar şeklinde ayrılabilir. Cevher damarları birbirinden kil, tüf, konglomera ve marn tabakaları ile ayrılmıştır. Cevher zonunun kalınlığı 0.05m.-50m. arasında değişmektedir.

Bölge en son Alp tektoniğinin etkisiyle kıvrılmış ve kırılmıştır. Neojen katmanların doğrultu ve eğimleri değişken olmakla beraber, eğimler çoğunlukla 10-20 arasında değişmektedir. Sık, ufak, tatlı kıvrımlar gözlenmektedir. Eksenleri genellikle büyük yönlüdür. Kocadere güneyinde yayvan kapalı bir çanak görünümü vardır. Bilinen borat yatakları bu çanağın kuzeybatı kenarındadır ve güneybatıya dalmaktadır.

Kuzeydoğu – güneybatı ve kuzeybatı – güneydoğu yönlerinde gelişen fay sistemleri çok gençtir ve büyük bölümü Pliokuaternlerden önce gelişmiştir. Ocağın batısında yapılmış sondajların cevher kesmemesi, yatağın faylanma nedeni ile daha derinlere atılmış olması ile açıklanabilir.

# KESTELEK'te NEOJEN KESİTİ



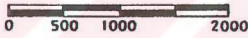
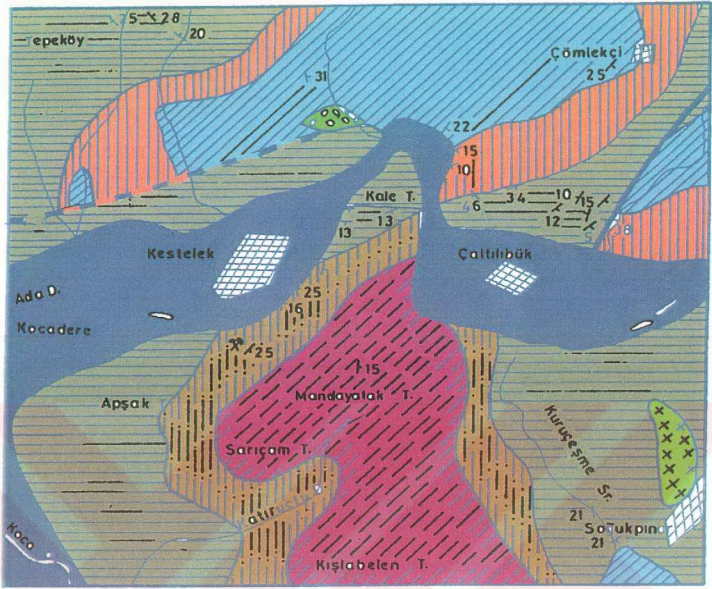
Şekil 4.2 Kestelek Bölgesinin Neojen Kesiti

Borat yatakları karasal ortamda göl ortasında çökelmişlerdir. Ortamın jeolojik gelişimini çökellerin özelliklerinden çıkarabiliriz. Neojen tortullarının tabanında görülen konglomeraların çakılları yuvarlak ve değişik iriliktir. Yanal ve tavana doğru kumtaşlarına geçiş gösterirler ve süreksizlerdir. Bu özellikler kenarı sarp kapalı bir çukurluğun bulunduğu, seller sonucu hızla sürüklenen malzemenin birbiri ile bağlantılı göllerin sığ kıyılarında biriktiklerini düşündürmektedir. Konglomeralar üzerinde izlenen ince taneli tortullar, taban çökmesiyle göllerin genişlediğini, yer yer bataklıkların oluşarak ileride kömürleşecek organik birikimin gerçekliğini göstermektedir. Kömürlü seviyenin üzerinde gastropot fosillerinin bulunması sığ ortamı belirlemektedir. İşletme bölgesinin ve çevresinin genel jeolojik durumu Şekil 4.3’de gösterilmiştir.

Bu arada, bölgede volkanik etkinlik hızla gelişerek yaygın tüflerin çökmesini sağlamıştır. Volkanik etkinliğe bağlı olarak, “bor” getirmiş olmuştur. Bor değişkenliği tabandaki su ile doygun killi balçığın boşluklarında ve su-balçık ara yüzeyinde yeterli düzeye ulaşınca “borat” çökmesi gerçekleşmiştir. Killi balçığın pekişmesi sırasında borat çökelmiştir.

Havzada cevher yatağının üzerinde, alttan üste doğru kolay kırılabilen tüf tabakalı, laminalı marn-kil’in üstüne dereceli tabakalı tüfit konglomera gelmektedir. Su ile dağılabilen orta sertlikteki bu litolojinin kalınlığı 10-30m.’dir. Konglomeranın üzerinde gri renkte marn-kil bulunur. Bu tabakaların kalınlığı ise 30-40m. arasında değişir. Marn ve kilin üstünde yer yer gözlenebilen 20-30cm. kalınlığında linyitli ve gastropod katkılı marn gelir. En üstte farklı ebatta, ince ve iri çakıllı gevşek konglomera ve tüfit bulunur. Açık işletme bölgesi kuzey ve doğusunda görülmezler. Örtü tabakasının kalınlığı kuzey ve doğuda 0-40m.; batıda 100-145m.; güneyde ise 175-223m. arasında değişmektedir.

Örtü tabakaları genellikle yumuşak ve gevşek dokuludur. Tüfit ve killi marn tabakaları ise biraz daha serttir. Örtü tabakası ekskavatör ile doldurulup yüklenebilecek özelliktedir. Formasyonların killi olması, yağışlı günlerde çalışılmasını imkansız hale getirmektedir.



Alüvyon

Taraça Molozu

Gevşek yapılı konglomera, Gre, Kalker

Boraltı Kil, Marn, Kalker, Tüf

Linyit seviyeli Kil, Marn, Aglomera  
Kalker, Gre, Konglomera, Tüf

Taban konglomerası, Gre, Marn

Grovak, kristalize. Kalker, Serpantin

Andazit

Fay

Çalıştırılan Kolemanit Sahası

Şekil 4.3 Kestelek İşletme Sahasının ve Çevresinin Jeolojik Yapısı

#### 4.1.3. Mineroloji

Maden yatağı içinde borat mineralleri olarak, kolemanit, üleksit, probertit, hidroborasit gözlenmiştir. Kolemanit ana mineraldir. Daha az miktarda üleksit bulunmaktadır. Seyrek olarak da Hidroborasit ve Probertit izlenmektedir.

Kolemanit'in kimyasal formülü  $2\text{CaO} \cdot 3\text{B}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  ve yoğunluğu  $2.42 \text{ ton/m}^3$ 'dür. Kolemanit, mercekli bantlar biçimindedir. Bantların kalınlığı 1-2 cm.'den 8-10 m ye kadar ulaşabilir. Bant ve tabakalı yapıdaki kolemanit, 1mm'den 60cm'ye kadar değişen yumrular şeklinde, sütun ve kovukla dokuda izlenmektedir. Çoğunlukla killi keşiklenmiştir ve yapıları çeşitlidir. Yumrulu cevherler, badem yapraklı ve patatesler boyutunda olabilir. Yumrular kırıldığında görülen doku ışınsaldır. Sütunsal kolemanitler, kovuklu ve som olabilir. Sütunsal olanlarda koni koni içinde dokular gelişmiştir. Kovuklu yapıli kolemanitlerde, kristaller saydam, duru ve iridir. Kristaller bıçak ağızını andıran kenarları ile karakteristiktir. Işınsal, rozet dokulu kolemanitler de gözlenmiştir.

Üleksitin kimyasal formülü  $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2\text{CaO} \cdot 5\text{B}_2\text{O}_3 \cdot 16\text{H}_2\text{O}$  ve yoğunluğu  $1.96 \text{ ton/m}^3$ 'dür. Kolemanit tabakaları arasında, tabakalı ve mercekli yapıdadır. Pamuk yaprağı dokusunda, masif kil ve kil içinde dağınık bir yapı içinde izlenmektedir.

Probertitin kimyasal formülü  $\text{CaO} \cdot 3\text{B}_2\text{O}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  ve yoğunluğu  $2.40 \text{ ton/m}^3$ 'tür. Masif üleksit tabakası arasında mercekli yapıda, 2-60cm kalınlığında, beyaz renkte, kil ile karışık yapıdaki üleksit içinde ise siyah renkli olarak bulunmaktadır. İğnemsil kristalleri ile karakteristiktir.

Hidroborasitin kimyasal formülü  $\text{MgO} \cdot \text{CaO} \cdot 3\text{B}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  ve yoğunluğu  $2.17 \text{ ton/m}^3$ 'dür. Masif üleksit tabakası içinde beyaz renkte bulunmaktadır. Sert ışınsal iğne şeklindeki kristalleri en belirgin özelliğidir.

Kolemanit'in yoğunluğunun  $2.42 \text{ ton/m}^3$  olmasına rağmen, boşluklu ve kovuklu yapıda olduğundan; üleksit yoğunluğu  $1.96 \text{ ton/m}^3$  olmasına karşılık, birlikte karışık olarak bulunduğu kilin yoğunluğunun  $2,1-2,3 \text{ ton/m}^3$  olması dolayısıyla, rezerv hesaplamalarında yoğunluk  $2 \text{ ton/m}^3$  olarak kabul edilmiştir. Aşağıda, Kestelek bor sahasındaki cevher tipleri incelenmiştir.

Cevher Tipleri: Borat yatağında yer alan cevher seviyelerini, birbirlerine göre olan konumları ve yapı özellikleri göz önüne alınarak, alttan üste doğru üç gruba ayrılmıştır. Bunlar, taban cevheri, orta cevher ve tavan cevheri gruplarıdır. Gruplar değişik sayıda cevher seviyeleri içerebilmelerine rağmen, genel olarak ikişer cevher seviyesinden oluşmaktadırlar. Seviyeler alttan üste doğru birinci ve ikinci seviye olarak incelenmişlerdir. Cevher seviyeleri bazen loglara göre kalınlığı 5cm.'e kadar ineabilmektedir. Bir cevher seviyesi tek tip cevherden oluşabileceği gibi, aralarında yan kayaç olmaksızın üst üste dizilen birkaç tip (örneğin kristal-killi-patates) cevher bandından da oluşabilmektedir.

Genel olarak yataktaki cevherleşme tabaka, mercek ve yumru şeklindedir. Tabakalar bazen düzgün bantlar şeklindedir. Bazen de alt üst yüzeyleri düzgün olmayıp dalgalıdır. İncelip kalınlashırlar. Tabakalar çoğu zaman killerle sıkımaye ve kesinliliğe uğramışlardır. Killerle sık sık kesikliliğe uğradıkları kesimlerde merceğimsi bantlar halini almışlardır. Yumru şekilli cevher genel olarak irili ufaklı patatesler boyutunda olup küresel ve elipsoit şekilli yumruların meydana gelmiştir. Yumrular yoğun bir şekilde yan yana dizilerek yumru cevher seviyelerini meydana getirmişlerdir. Yumruların araları kille doldurulmuştur. Kırıldıklarında merkezlerinde çoğu zaman su kapanımı içerdikleri görölmüştür. Yumru şekilli cevher, kristallerin bir merkezden dışa doğru ışınal büyümeleri ile oluşmuş olup, kil miktarının çok ve gölün çalkantılı olduğu dönemlerde su-balçık ara yüzeyinde meydana geldiği ve gelişimlerini borca doygun balçık içinde diyajenez sürecinde de sürdürdükleri düşünülmektedir. Bazı yumruların tamamen  $\text{CaCO}_3$ 'ten oluştuğu da görölmüştür.

Cevher tipleri, yataktaki cevher tiplerine göre; kristal cevher, kalkerli cevher (kırmalık), killi cevher (yıkamalık) ve patates cevher ( yıkamalık) olarak ayrılır. Kristal cevher masif kolemanitten oluşmaktadır. Kalkerli cevher kolemanit ve kireçtaşının grift bir yapıda olduğu cevherdir. İnce kolemanit bant ve merceklerinin kille sık aralandığı kesimler killi cevher olarak adlandırılmıştır. Patates cevher de yumru şekilli kolemaniti ifade etmektedir.

Taban Cevheri: Taban cevheri, en dar ve en düzensiz yayılıma sahip cevher grubudur. Kristal cevher, killi cevher ve patates cevherden oluşmakta olup kristal ve killi cevher daha çoktur.

Taban cevheri genel olarak iki seviyeden oluşmakta, bazen seviye sayısı beşe kadar çıkabilmektedir. Örneğin 78 numaralı sondajda kesilen beş seviyenin kalınlıkları 0.20 ile 2.5m. arasında değişmektedir. Taban cevherinin birinci seviyesi ortalama 1.5m. ikinci seviyesi de ortalama 2.5m. arasında değişmektedir. İkinci seviye 76 numaralı sondajda yaklaşık olarak 16m. kalınlığında olup, alttan üste doğru 6m. Killi cevher, 9m. kristal cevher ve 1m. killi cevherden oluşmaktadır. Yatakta sondajlarda kesilen en kalın masif cevher buradadır.

Orta Cevher: Orta cevher, en geniş yayılıma sahip cevher grubu olup diğer gruptakilere oranla biraz daha kalın olan iki seviyeden oluşur. Kristal, killi ve patates cevher tiplerini içerir. Kristal ve killi cevher patates cevhere oranla daha fazla bulunur. Birinci seviyesi ortalama 2.5m. kalınlığındadır. Bu seviye 66 numaralı sondajda 12m.'ye kadar çıkmaktadır. Burada kristal-killi-patates-kristal cevher diziliminden oluşur. Bu seviyede en kalın cevher bandı sonuncu kristal cevher bandı olup 5.5m. kalınlığındadır.

İkinci seviye ortalama 3m. kalınlığındadır. İkinci seviye en kalın 1 numaralı sondajda kesilmiş olup 8.5m. kalınlığında kristal-killi-patates-az killi kristal cevher istiflenmesinden oluşmaktadır. Orta cevherin birinci ve ikinci seviyelerinde yer alan farklı tipteki cevher bantlarının her birinin ortalama kalınlıkları 2m. civarındadır.

Tavan Cevheri: Tavan cevheri, taban cevherinden daha geniş, orta cevherden daha dar bir yayılıma sahiptir. Kristal ve killi cevher bantları da içermesine rağmen, çoğunlukla “patates cevher”den oluşur. Seviye sayısı en fazla üçe kadar çıkmakta olup, genel olarak iki seviyeden oluşur. Bu seviyelerin ortalama kalınlıkları yaklaşık ikişer metre civarındadır. 1. seviye en kalın 57 numaralı sondajda kesilmiş olup, 6.70m. kalınlığında patates cevherden oluşmuştur.

#### **4.2. Veri Tabanının Oluşturulması ve Vulcan Programına İşlenmesi**

Maden yatağının analizinde arazide elde edilen topoğrafik, jeolojik, sondaj ve diğer kimyasal analiz değerleri bir veri tabanında saklanmakta ve bu verilerin istatistik analizleri yapılarak belirlenen formatta veri tabanı olarak hazırlanmaktadır.

Eti-Bor Kestelek Açık İşletmesi'nden alınan sondaj loglarının dataları ve işletme sahasının topoğrafik koordinatlarının dataları ascii yada csv uzantılı excel dosyası formatında, uygun veri tabanları hazırlanmıştır. Bu dosyalar daha sonra Vulcan 4.5 programına okutularak işlenmiştir. Böylece vulcan paket programının veritabanı oluşturulmuştur. Veri tabanı programın temeli olup; tüm modülleri bu oluşturulan veri tabanı üzerinden çalışmaktadır. Şekil A.1'de orjinal topoğrafya üzerine yerleştirilmiş sondaj kuyuları gösterilmiştir.

#### 4.3. Maden Yatağının Modellemesi

Maden işletmesinin tasarımı yapılırken ilk gerekli olan bir yüzeyin yaratılmasıdır. Bu yüzey topoğrafyayı yada belirli bir jeolojik formasyonu temsil edebilir. Vulcan programında çizilen yüzey, alan ve hacim hesaplamalarında ve sınırlamalarda yer belirleyici olarak kullanılmaktadır.

Şekil A.2'de; yüzey üçgenlemesinin katı gölgelendirmesi görülmektedir. Şekil A.2'de aynı zamanda ocağı büyük ölçüde etkileyen Orhaneli Çayı, su sızdırmazlığını sağlamak için yapılan kil perde, sondaj lokasyonları ve cevherleşme sınırı gösterilmiştir.

Şekil A.3'de en son mayıs 2003 yılında işletmeden alınan topoğrafik koordinatların Vulcan programına okutulmasıyla elde edilen; Kestelek açık işletmesinin ve döküm sahasının katı gölgelendirilmesi Z koordinatına göre renklendirilerek çizilmiştir.

Şekil A.4'de Şekil A.3'da gösterilen açık işletme sahasının yakından görünümü verilmiştir.

Kestelek açık işletmesinin rezerv hesapları DTM modellemeyi kullanarak yapılmıştır. Aşağıda tavan cevherlerinin (tavan1, tavan2, tavan3); orta cevherlerin (orta1, orta2); ve taban cevherlerinin (taban1, taban2) rezerv hesapları Vulcan programının verdiği text dosyasından aktarılarak Tablo 4.1'de verilmiştir. Her bir cevher tabakasının üst (floor) ve alt (roof) DTM modellemesinden hacimleri bulunup; oradan da, bor cevherinin ortalama yoğunluğu 2 ton/m<sup>3</sup> alınarak rezerv sonuçları hesaplanmıştır. Bu sonuçlar Eti-Bor Kestelek Açık İşletmesi'ndeki verilerle karşılaştırılmıştır. Eti-Bor Kestelek Açık İşletmesi Genel Müdürlüğü'nden alınan verilere göre; yatağın tüm jeolojik rezervi yaklaşık 12,5 milyon tondur. Bunun 3,5

milyon tonu tavan cevheri, 5,5 milyon tonu orta cevher, 3,5 milyon tonunu da taban cevheri oluşturmaktadır.

Tablo 4.1 Rezerv Hesapları

| DTM İsimleri                |                 | Modelleme | Nokta Sayısı | Üçgen Sayısı | Hacim (m <sup>3</sup> ) | Rezerv (ton) |
|-----------------------------|-----------------|-----------|--------------|--------------|-------------------------|--------------|
| Tavan1                      | teztv1.sf.00t   |           | 67           | 38           | 1152355                 | 2304710      |
|                             | teztv1.sr.00t   |           | 67           | 38           |                         |              |
| Tavan2                      | teztv2.sf.00t   |           | 67           | 38           | 651181                  | 1302362      |
|                             | teztv2.sr.00t   |           | 67           | 38           |                         |              |
| Tavan3                      | teztv3.sf.00t   |           | 67           | 38           | 114919                  | 229838       |
|                             | teztv3.sr.00t   |           | 67           | 38           |                         |              |
| Toplam                      |                 |           |              |              | 1918455                 | 3836910      |
| Orta1                       | teztort1.sf.00t |           | 91           | 53           | 2286479                 | 4572958      |
|                             | teztort1.sr.00t |           | 91           | 53           |                         |              |
| Orta2                       | teztort2.sf.00t |           | 91           | 53           | 449472                  | 898944       |
|                             | teztort2.sr.00t |           | 91           | 53           |                         |              |
| Toplam                      |                 |           |              |              | 2735951                 | 5471902      |
| Taban1                      | teztb1.sf.00t   |           | 37           | 25           | 1706223                 | 3412446      |
|                             | teztb1.sr.00t   |           | 37           | 25           |                         |              |
| Taban2                      | teztb2.sf.00t   |           | 37           | 25           | 235805                  | 47160        |
|                             | teztb2.sr.00t   |           | 37           | 25           |                         |              |
| Toplam                      |                 |           |              |              | 1942029                 | 3884058      |
| Tavan+Orta+Taban            |                 |           |              |              | 6596435                 | 13192870     |
| Cevherlerinin Genel Toplamı |                 |           |              |              |                         |              |

Vulcan programıyla bulunan sonuçlarla ile Kestelek işletmesinden alınan sonuçların farkının sebebi düşük tenörlü (%20 B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) cevherlerin de DTM modellemesinde hesaba katılmasından kaynaklanmaktadır. Program ile rezerv hesabı yaparken hiçbir sondaj logu düşük tenörlü cevhere sahip olduğundan dolayı işlem dışı bırakılmamıştır. Oysaki Eti-Bor Kestelek Açık İşletmesi'nde yaklaşık %20 tenörlü B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>'lar rezerv hesabına katılmamıştır. 0.7 milyon tonda kil ihtivasi yüksek olan, düşük tenörlü cevher olduğunu hesaba katarsak rezerv sonuçları doğrulanmaktadır.

Eti-Bor Kestelek Açık İşletmesi'nin şimdiye kadar yaptığı dekapaj miktarı hesaplanmıştır. İşletmenin dekapaj miktarı mayıs 2003 dönemindeki topoğrafyanın ve orjinal topoğrafyanın DTM modelleri kullanılarak hesaplanmıştır. İşletme Genel

Müdürlüğü'nden alınan miktar yaklaşık 15 milyon m<sup>3</sup> olduğudur. Tablo 4.2'de bugüne kadar gerçekleşen dekapaj miktarının Vulcan programıyla hesaplanmış text dosyası çıktısının tablosu yer almaktadır.

Tablo 4.2 Kestelek Açık İşletmesinde Şimdiye Kadar Çıkarılan Dekapaj Miktarı

| DTM Modelleme İsimleri |              | Nokta Sayısı | Üçgen Sayısı | Hacim (m <sup>3</sup> ) |
|------------------------|--------------|--------------|--------------|-------------------------|
| Orjinal                | topo Orj.00t | 199          | 114          | 15622889                |
| Yeni                   | topo Son.00t | 33451        | 16872        |                         |

İşletme arazisinin izohipslerinin çizimleri; açık işletmenin ilerleme yönünü belirlemede kullanılır. Gerek cevher tabakalarının gerek topoğrafyanın yatım şekli; çizilen izohips eğrileri sayesinde görülerek işletme tasarımı ve planlaması için alınan kararlara yön verir. Şekil A.5'de Vulcan programında Kestelek Sahası'nın orjinal topoğrafyasının konturları çizilmiştir. Şekil A.6'de ise Kestelek Açık İşletme Sahası'nın Mayıs-2003 dönemindeki konturları gösterilmiştir. Şekil A.7'da cevherleşmenin tavan yüzeyinin izohips eğrileri, Şekil A.8'de ise cevherleşmenin taban yüzeyinin izohips eğrileri; cevherin yatım şeklinin anlaşılması için gösterilmiştir.

Maden yatağının şeklinin belirlenmesinde üç boyutlu modelleme yaygın olarak kullanılmaktadır. Vulcan programı bu işlemi, sırasıyla noktalar, stringler (çubuklar) ve DTM (Digital Terrain Model)'ı kullanarak oluşturur. Noktalar XYZ eksen düzlemindeki yerleri belirtir. Stringler ise noktalar arasında ve bunları birleştiren çizgilerdir. DTM, stringlerin bir araya gelmesi ile oluşturulan 3 boyutlu maden yatağının yüzeyi olarak tanımlanabilir. Bir seri string dosyaları ile oluşturulan DTM ile elde edilen maden yatağından çeşitli doğrultularda kesitler alınarak istenilen kottaki cevher dağılımı elde edilir.

Yukarıda açıklanmış olan string modelleme tekniği kullanılarak cevher yatağının üç boyutlu bir modeli oluşturulmuş ve yatağın kuzey - güney yönündeki 23600N ve 23400N kesitleri; sırasıyla Şekil A.9, Şekil A.10 gösterilmiştir. Doğu - batı yönündeki 33500E kesiti ise Şekil A.11'de gösterilmiştir. Şekil A.11'de SK-43 nolu sondajın formasyon; SK-23 nolu sondajın cevhere giriş kotu; SK-32 nolu sondajın ise % B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tenör labelleri gösterilmiştir.

#### 4.4. Açık İşletme Planlamasının Yapılması

Vulcan programı şev açıları ve basamak genişlikleri, ulaşım yollarının farklı eğim, genişlik ve yönlerini göz önüne alarak mevcut maden yatağında açık işletme planlamasını yapar. Vulcan tasarım işleminin her aşamasında maden yatağını oluşturan jeolojiyi ve açık işletme basamaklarını görme imkanını kullanıcıya sağlar. Tasarım devam ederken belirlenen eğim ve genişlik verilerini kullanarak program otomatik olarak nakliyat yollarının (rampa) yerlerini de belirler.

Kestelek Açık İşletme Sahası'nın projelendirmesi yapılmıştır. Projenin iki ayrı zaman dilimindeki görüntüşleri verilmiştir. Şekil A.12'de açık işletmenin basamakları string (çubuk) olarak verilmiştir. Şekil A.13'de açık işletmede üretim yapılırkenki dönemde sahanın aldığı şekli gösteren bir resim verilmiştir. Şekil A.14'da ise açık işletmede üretim tamamlandıktan sonra sahanın aldığı son şekli gösteren bir resim görülmektedir. Açık işletme planlaması yapılırken kullanılan parametreler aşağıda verilmiştir:

Basamak Yüksekliği: 10 metre.

Basamak Şev Açısı: 60°

Genel Eğim Açısı: Kuzeyde 18°

Güneyde 32°

Basamak Genişliği: Kuzeyde 25 metre.

Güneyde 15 metre.

Kestelek arazisinde, blok modellemede kullanılan harita dosyaları (mapfile) için oluşturulan grid modeller yer almaktadır. Bu modelleme tekniğine ait bir resim Şekil A.15'de verilmiştir. Şekil A.15'de yeşil ızgara düğüm modeli (grid mesh modelling) cevherleşmenin tavan yüzeyini; pembe ızgara düğüm modeli ise cevherleşmenin taban yüzeyini temsil etmektedir. Şekilde sağ alt köşede arazi üzerinde hangi açı ve yönde olduğunu belirten göstergeler yer almaktadır.

Ayrı ayrı Tavan1, Tavan2, Tavan3 cevherlerine; Orta1, Orta2 cevherlerine ve Taban1, Taban2 cevherlerine blok modelleme uygulanmıştır. Blok modelde, cevher tabakalarının üst (çatı) ve alt (yer) DTM'leri sınır olarak alınmıştır. Blok boyutları (20 \* 20 \* değişken) olarak seçilmiştir. Blokların X ve Y boyutunun 20metre

olmasına karar verilmiştir. Üçüncü boyutu olan Z boyutunun ise şu şekilde değişken olmasına karar verilmiştir:

Blok eğer cevherleşmenin altında yer alıyorsa yani herhangi bir kazı işlemi gerçekleşmeyecek toprak ise bloğun Z'si harita sonuna kadar devam etmekte ve program için değeri sıfır olarak belirlenmektedir.

Dekapaj yapılacak bölgede yer alıyorsa blok; yeryüzü sınırından cevhere ulaşınca kadar bloğun Z'si uzatılmaktadır. Böylece Dekapaj toprağı X ve Y'si 20 şer metre olan; uzunluğu ise yeryüzünden, cevherin başlangıç kotuna göre sınırlanan uzun sütun bloklardan oluşturulmuş olmaktadır.

Cevherleşmenin gerçekleştiğı bölgede ise her bir bloğun X ve Y'si 20şer metre olmakla birlikte Z değeri cevher tabakalarının başlangıç kotu ile bitiş kotunun farkı kadar olmaktadır.

Şekil A.16'de kuzey – güney doğrultusundaki 235000N kesitinden blok modelin görünüşü verilmiştir. İstenilen bloklar seçilerek haklarında lokal olarak bilgi elde edilebilir ve atanan değere göre sınıflandırılabilir. Bu da seçici madencilik yöntemini uygularken blok modellemenin kullanılmasının sebebidir. Tablo 4.3'de, Şekil A.16'de gösterilen Örnek 1 bloğunun vulcan programının verdiği text dosyasından alınan bilgileri verilmiştir. Blok modelleme yapılırken her bir bloğa tenör değeri atanmıştır. Tablo 4.4'de ise Şekil A.16'de gösterilen Örnek 2 bloğunun bilgileri verilmiştir. Şekil A.17'de işletme için yapılan blok modeli gösteren kuzey – güney doğrultusundaki 235000N kesitinin 3 boyutlu görünümü verilmiştir. Bu kesit 235000N kesit çizgisinden (önden ve arkadan 50'şer metre olmak üzere) 100 metre etki alanlı bir kesittir. Şekil A.18'de ise 23500N (kuzey-güney yönünde) kesitinde tenör değerleri atanan blok modelleme görülmektedir.

Tablo 4.3 Örnek 1 Bloğunun Kimlik Kartı

|                       |                                          |           |         |
|-----------------------|------------------------------------------|-----------|---------|
| Koordinatı(x,y,z)     | 33385.266                                | 23500.000 | -42.352 |
| Merkez Noktası(x,y,z) | 33390.000                                | 23490.000 | -41.750 |
| Boyutları(x,y,z)      | 20.00m.                                  | 20.00m.   | 5.50m.  |
| İD (blok Numarası)    | 10018                                    |           |         |
| Formasyonu            | ORTA1                                    |           |         |
| % Tenörü              | %37.349499 B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> |           |         |
| Kalınlık              | 5.50m.                                   |           |         |
| Hacmi                 | 2200.00m <sup>3</sup>                    |           |         |
| Rezervi               | 4400.00ton                               |           |         |

Tablo 4.4 Örnek 2 Bloğunun Kimlik Kartı

|                       |                                     |           |         |
|-----------------------|-------------------------------------|-----------|---------|
| Koordinatı(x,y,z)     | 33684.367                           | 23500.000 | 53.172  |
| Merkez Noktası(x,y,z) | 33690.000                           | 23490.000 | 38.500  |
| Boyutları(x,y,z)      | 20.000m                             | 20.000m   | 83.000m |
| İD (blok Numarası)    | 10622                               |           |         |
| Formasyonu            | YK( yankayaç)                       |           |         |
| % Tenörü              | %0.00 B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> |           |         |
| Kalınlık              | 83.00m.                             |           |         |
| Hacmi                 | 33200.00m <sup>3</sup>              |           |         |

Vulcan programında Lerchs-Grossman algoritması ile tasarlanan açık işletme Şekil A.19'de gösterilmektedir. Şekil A.20'de Lerchs-Grossman algoritması ile çizilen açık işletmenin pürüzsüzleştirilmiş (smooth) hali yer almaktadır. Şekil A.21'de ise Lerchs-Grossman algoritması ile çizilen açık işletmenin 3 boyutlu hali yer almaktadır.

## 5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bilgisayar teknolojisinin geliştiğı ve kullanımının gitgide arttığı günümüzde, maden sektöründe son on yılda ivmeli bir şekilde bilgisayar kullanımı yaygınlaşmıştır. Bilgisayar programlarıyla yapılan maden tasarımı ve planlaması çalışmalarının; elle yapılan çalışmalara göre çok daha sağlıklı ve iyiye götüren çalışmalar olduğu görülmektedir. Aşağıda madencilikte paket programların kullanılmasının işletmeye sağladığı avantaj, dezavantajlar ve tez yapımı sırasında varılan sonuçlar yer almaktadır:

- Bu çalışmada Bilgisayar programlarıyla açık işletme tasarımı ve planlamasının nasıl yapıldığı anlatılmıştır. Maden sektöründe kullanılan Vulcan, Surpac, Datamine, Microlynx, Minesight programları kısaca özellikleriyle tanıtılmıştır. Vulcan 4.5 programı ile Eti-Bor A.Ş. Kestelek sahasının tasarımı ve planlaması yapılmıştır.
- Bilgisayar donanımlarında boyutların küçülmesinin ve fiyatların ucuzlamasının yanı sıra bilgisayar orijinli sistemlerin tercih edilmesi; madencilğin çeşitli konuları için çok sayıda yazılım geliştirilmesine ve seçim alternatiflerinin çoğalmasına yol açmıştır.

Ayrıca yazılımlar arası entegrasyonun mümkün olması, bilgilerin bir merkezde toplanıp değerlendirilebilmesi için veri tabanı sistemlerinin kurulması, programların daha az kalifiyeli kullanıcıyı istemesi, etkileşimli grafik çizimlerinin yapılabilmesi sayesinde paket programların kullanımı hızla artmıştır.

Bunun yanı sıra madencilik yatırımlarının gerek riskli olması gerekse yatırımın geri dönüş süresinin uzun olması, maden sahalarının detaylı analizlerinin yapılmasını, işletmenin zaman içerisinde alacağı şekil, seçilen metodun zamanla ocak yapısını nasıl değiştireceğı ve diğer önemli parametrelerin bilgisayar ortamında önceden belirlenip, tasarlanması için çok sayıda madencilik paket programının üretilmesine neden olmuştur.

- Madencilik sektöründe bilgisayar programlarının kullanılmasıyla; maden tasarımı ve planlaması doğru ve süratli bir şekilde yapılarak yatırımların optimum planlanmasına imkan verir. Ayrıca üretim planları, maliyet analizleri, topoğrafik işlemler, çevre modellemesi, ekipman seçimi ve gerekli işgücü daha iyi planlanabilir hale gelmiştir. Madencilik sektörünün bu avantajlardan daha fazla faydalanabilmesi için, program kullanımının yaygınlaştırılması ve kullanıcıların eğitilmesi konusuna önem verilmelidir.
- Madencilik paket programlarının kullanılması; normalde yapılması gereken bir çok hesaplama ve bunlara bağlı olarak oluşturulan plan, kesit vb. çizimlerin çok daha hassasiyetle yapılmasını ve geri dönerek bunlarla ilgili parametrelerin değişmesi durumunda aynı işlemlerin çok daha kısa zamanda yapılmasını sağlamaktadır. Bu yazılımlar sayesinde, daha önceden uygulanmış yada başka bir arazide uygulanmış olan proje çalışmasının incelenmesi çok daha kolay olmaktadır. Paket programlar, bilgisayarda bilgilerin hızlı bir şekilde aktarılması ve yorumlanması sayesinde; işletmeyle ilgili kararların, daha üretim faaliyetleri devam ederken alınabilmesini sağlamaktadır. Yine paket programlar sayesinde, açık yada kapalı ocaklarda günlük, aylık, yıllık, üretim planlamaları kısa sürede detaylı olarak yapılabilmektedir.
- Bilgisayar programları sayesinde proje planlama ve duyarlılık analizlerinin çok hızlı bir şekilde yapılabilmesi, değişen şartlarda daha önceden ekonomik ve teknik olmayan parametrelerin uygulanabilir hale gelmesini sağlamıştır.
- Rezerv hesaplamalarının çok hassas bir şekilde yapılması, seçici madencilik yapılmasına imkan vermekte ve bunlara bağlı olarak yapılan duyarlılık analizleri ile risk faktörünü en aza indirgeyerek projedeki toplam karlılığın maksimizasyonunu sağlamaktadır.
- İşletmelerde tasarım ve planlama yapan programların kullanımı sayesinde gereksiz dekapajların önüne geçilip, cevherin ve dekapajın yeraltı durumunun önceden bilgisayar üzerinde görülerek önlemler alınması ve iş organizasyonu açılarından daha verimli ve ekonomik bir çalışmayı getirecektir.

- Paket programlarla yapılan projelerde, projenin her aşamasında sahadan toplanan verilerin (formasyon sınırları, çatlaklar, analiz değerleri ve yerleri vb.) sistemde arşivlenmesi ve sorgulanması, uygulama ve planlamada çok önemli avantajlar sağlamaktadır. Bilgisayar programları sayesinde sondaj, tenör, koordinat gibi tüm verilerin kontrolü ve düzeltilmesi çok daha kolaylaşmıştır ve projede yapılacak olası revizyon çalışmaları kolaylaşmıştır. Ayrıca eksik verilerin bulunduğu yerlerin süratli olarak doğru tespiti olanakları ve tamamlanması veya bu bölgeye yaklaşım getirebilme avantajları yine madencilğe bilgisayar programlarıyla gelen bir avantajdır.
- Bir paket programla maden işletmesi için yapılan projede, projenin hazırlanması esnasında yoğun olarak kullanılan 3 boyutlu görsel olanaklar, proje yürütümü esnasında da kullanılarak yapılacak işleri önceden görme ve tanımlama işlerini oldukça kolaylaştırmaktadır.
- Her ne kadar son yıllarda programların kullanıcının pratik olarak çabuk algılanmasına yönelik yapılmaya çalışılmasına rağmen proje geliştirmek ve programı kullanmak, kullanıcılar için hala önemli oranda para ve zaman kaybına neden olmaktadır.
- Bilgisayar programlarıyla maden projelerinin detay bazda işletmecilerin kendileri tarafından yapılması daha yararlıdır. Bunun için maden işletmelerinin madencilik bilgisayar programlarını kullanabilir hale getirilmesi gerekmektedir.
- Vulcan programıyla Kestelek Bor Açık İşletmesinin tasarımı ve planlaması yapılırken tasarım ve planlama aşamalarının birbirleriyle nasıl entegre olarak çalıştığı izlenmiştir. Sahada bir açık işletme planlaması projesi yapımı durumunda oluşacak yeni arazi modelinin geri dönüp yeniden çizilmesi gerekli olmuştur. Veri tabanındaki değişimler yada yeni eklemeler, üretimi etkilerken; aynı zamanda üretim planlamasındaki bir karar da, işletmenin gidiş yönünü, arazi topoğrafyası gibi tüm tasarım projelerini etkilemektedir. Yani tasarım ve planlama iç içe geçmiş ve birbirine bağımlı olarak çalışmaktadır.

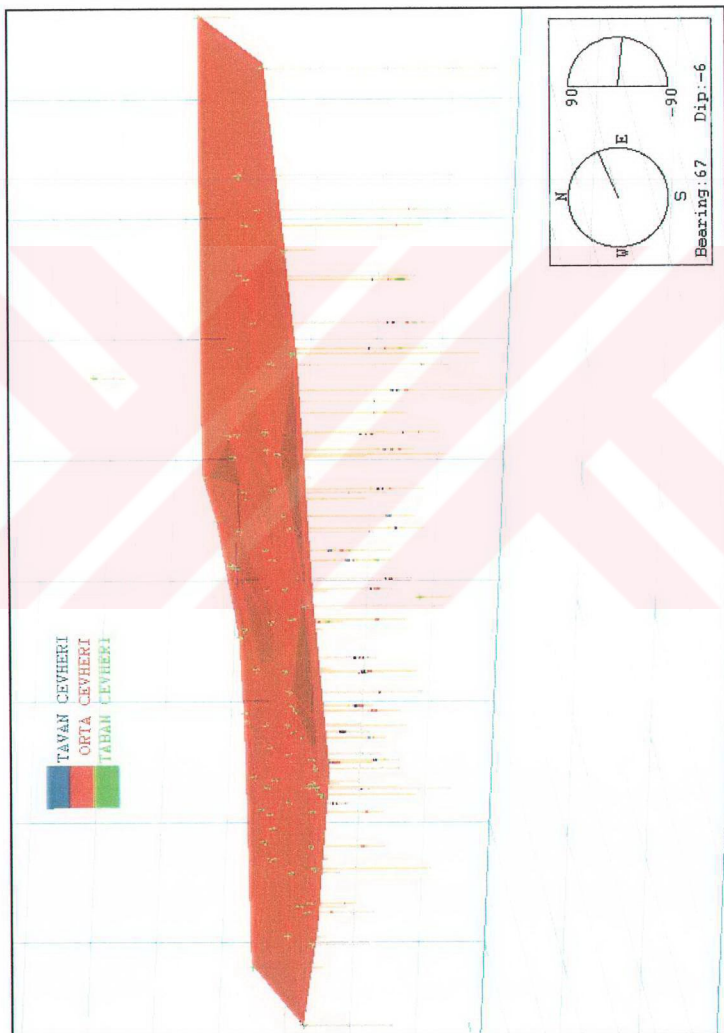
## KAYNAKLAR

- Barnes, R.J., ve Jonnson, T.B.,** 1988. Application of the max flow algortihm to ultimate pit design, in *Engineering Design Better Results Through Operations Research Methods*, pp. 518-531, Eds. Levary, R.R., Publications in Operations Research Series, New York.
- Cebesoy, T.,** 1995. Bilgisayar destekli Etibank Seydişehir Doğankuzu açık işletmesinin yüzey topoğrafyasının ve boksit yatağının 3 boyutlu olarak modellenmesi, *Madencilikte Bilgisayar Uygulamaları Sempozyumu '95*, İzmir, Türkiye, Eylül 28-29.
- Dagdelen, K.,** 1985. Optimum multi-period open pit mine production scheduling, *PhD Thesis*, Colorado School of Mines, USA.
- Dowd, P.A.,** 1994. The optimal design of quarries, in *Mineral Resource Evaluation II: Methods and Case Histories*, pp. 141-155, Eds. Whateley, M.K.G. & Harvey, P.K., Geological Society Special Publication.
- Dowd, P.A., Onur, A.H.,** 1992. The optimal design of open pit, *Leeds University Mining Association*, 183-191.
- Dowd, P.A., Onur, A.H.,** 1993. Open-Pit Optimization-Part 1: Optimal Open-Pit Design, Sect.A:Min.industry, *Trans. Instn. Min. Metall*, **102**, 573-583.
- Erçelebi, S., Ergin, H.,** 1999. Maden Paket Programları ve Kullanım Alanları, *Geosound Dergisi*, **34**, 32-42.
- Elevli, B.,** 1988. Open pit mine production scheduling using operations research and artificial intelligence, *PhD Thesis*, Colorado School of Mines, USA.
- Elevli, B., Demirhan, S.,** 1995. Yüksek, S., Ulaş sölestin yatağının jeoistatistiksel yöntemle 3-d modelinin çıkarılması, *Madencilikte Bilgisayar Uygulamaları Sempozyumu '95*, İzmir, Türkiye, Eylül 28-29.

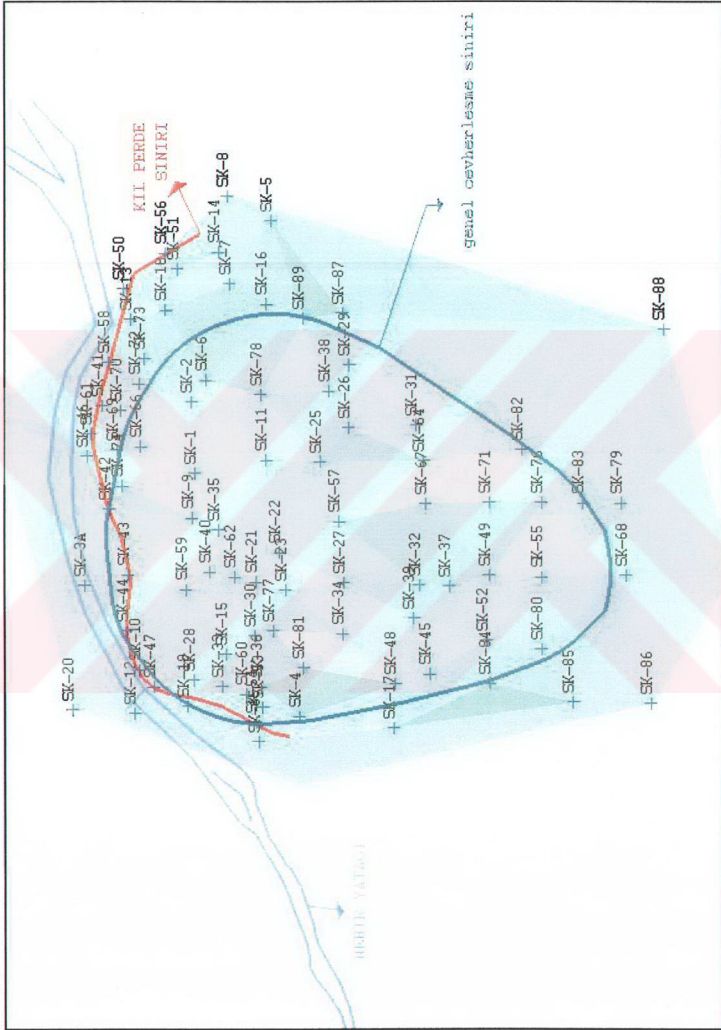
- Ergin, H., Kırmanlı, C., Erçelebi, S., Nasuf, E.,** 1995. Bakırlı pirit sahasının surpac ile açık ocak planlamasının yapılması ve klasik yöntemle karşılaştırılması, *Madencilikte Bilgisayar Uygulamaları Sempozyumu '95*, İzmir, Türkiye, Eylül 28-29.
- Gündüz, L.,** 1995. Yapısal programlama dillerinin madencilik software yazılım teknolojisine entegrasyonu, *Madencilikte Bilgisayar Uygulamaları Sempozyumu '95*, İzmir, Türkiye, Eylül 28-29.
- Kim, Y.C.,** 1979. Open pit analysis – A technical overview, in *Computer Methods For The 80's In The Mineral Industry*, pp. 297-303, Eds. Weiss, A., SME/AIME, New York.
- Koenigsberg, E.,** 1982. The optimum contour of an open pit mine: An application of dynamic programming, *The 17<sup>th</sup> Application of Computers and Operations Research in the Mineral Industry Symposium*, USA, 247-287.
- Lerchs, H., Grossman, I.F.,** 1965. Optimum design of open-pit mines, *CIM Bulletin*, **58**, 47-54.
- Francois-Bongarcon, D., Marechal, A.,** 1976. A new method for open pit design: parametrization of the final pit contour, *The 14<sup>th</sup> Application of Computers and Operations Research in the Mineral Industry Symposium*, USA, 573-583.
- Francois-Bongarcon, D., Guibal, D.,** 1982. Algorithms for parametrization reserves under different geometrical constraints, *The 17<sup>th</sup> Application of Computers and Operations Research in the Mineral Industry Symposium*, USA, 279-309.
- Huang, S.,** 1993. Computer-based Optimization of Open-pit Mining Sequences, Sect.A:Min.industry, *Trans. Instn. Min. Metall*, May-August 125-132.
- Hustrulid, W., Kuchta, M.,** 1995. Open Pit Mine Planning & Design, in *CSMine Software Package*, **2**, pp.836, A.A. Balkema, Rotterdam.
- Minesight web sayfası, [www.minesight.com](http://www.minesight.com),** Eylül 2003.
- Sevim, H., Lei, Da D.,** 1994. The state of long term production planning in open pit mining, in *Mine Planning and Equipment Selection*, pp. 69-75, Rotterdam.

- Sevim, H., Lei, Da D.,** 1996. Production Planning with Working-Slope Maximum-Metal Pit Sequences, Sect.A:Min.industry, *Trans. Instn. Min. Metall*, May-August 125-132.
- Yalçın, E.,** 1991. Dinamik programlama tekniğindeki gelişmeler, *Madencilik Dergisi*, Aralık, 21-27.
- Yıldız, N.,** 1991. Uygun açık işletme sınırının belirleme yöntemleri, *Madencilik Dergisi*, Mart, 5-12.
- Vulcan web sayfası, [www.maptek.com](http://www.maptek.com),** Şubat 2003.
- Wang, Y.J.,** 1982. A computer for mine ventilation network analysis, *Mine Ventilation and Air Conditioning*, pp. 751-771, Eds. L.H. Hartman, J.M. Mutmanský & Y.J. Wang, Wiley & Sons Inc.
- Wang, Q., Sevim, H.,** 1995. Alternatif to parametrization in finding a series of maximum-metal pits for production planning, *Mining Engineering*, February 178-182.
- Whittle, J.,** 1989. The facts and fallacies of open pit optimization, Booklet Whittle Programming Pty. Ltd.
- Wright, E.A.,** 1987, Open Pit Mine Design Models, pp. 171, Clasthal-Zellerfeld.

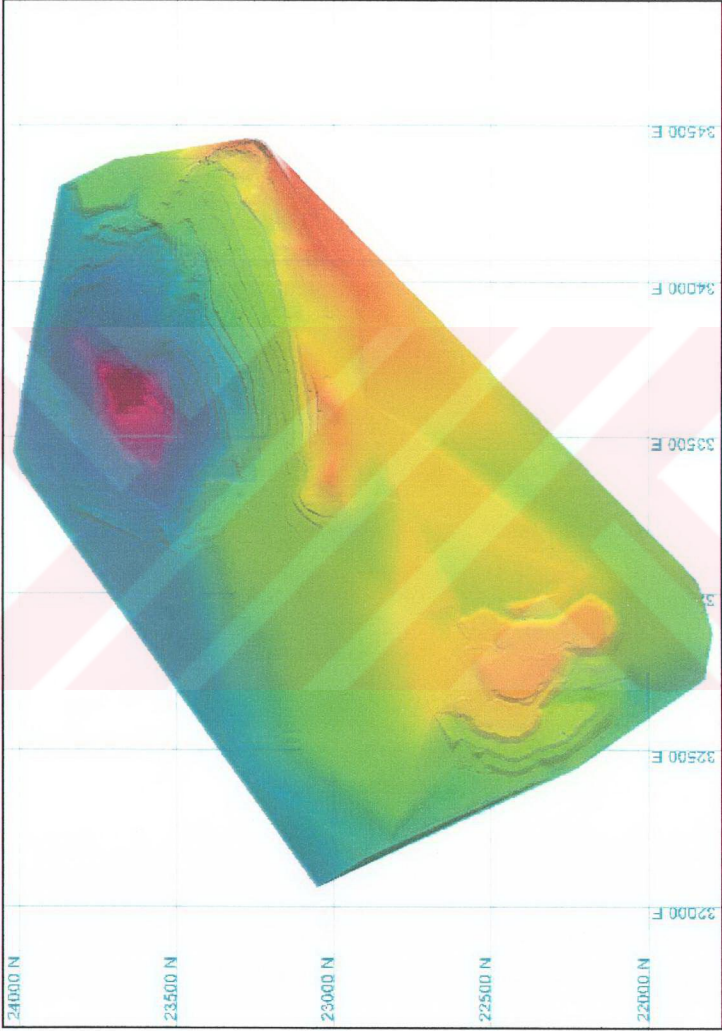
## EKLER



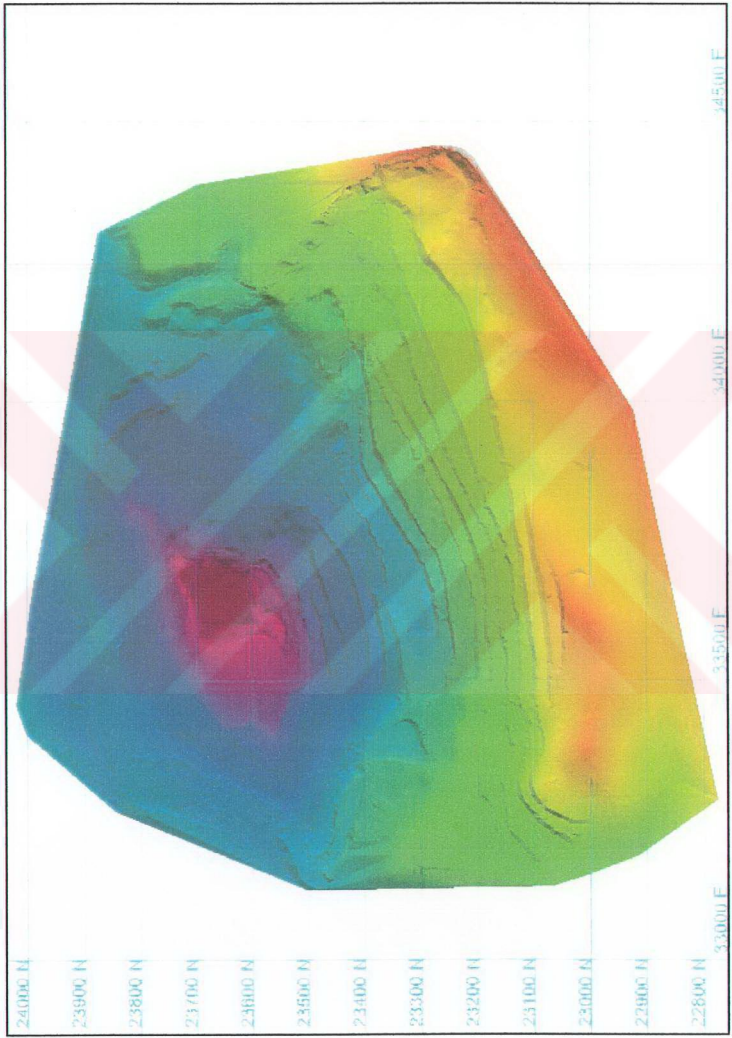
Şekil A.1 Orjinal Topografya ve Sondajlar



Şekil A.2 Orjinal Topografyanın Görünüşü



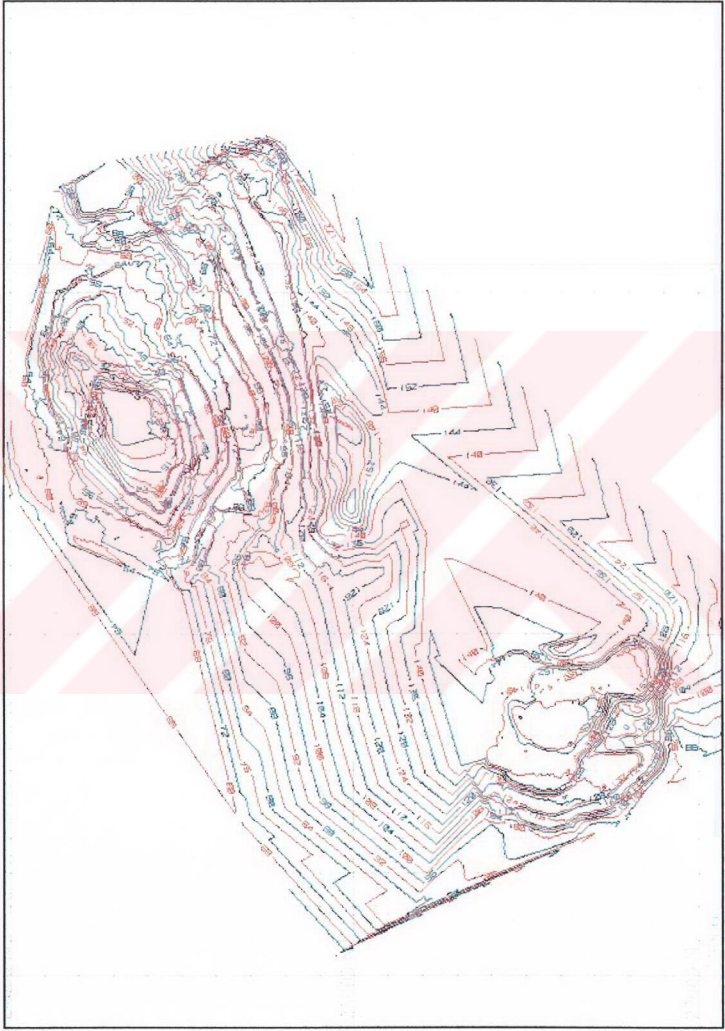
Şekil A.3 Kestelek Açık İşletmesinin ve Döküm Sahasının Mayıs-2003'teki 3 Boyutlu Görüntümü



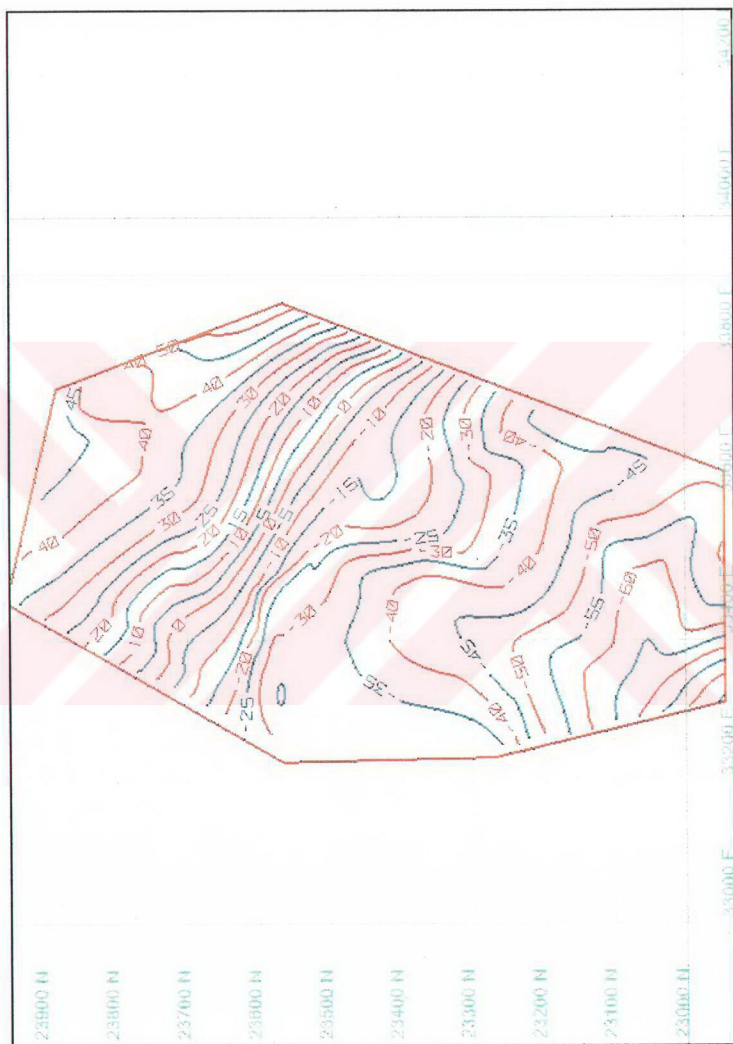
Şekil A.4 Kestelek Açık İşletmesinin Mayıs-2003'teki 3 Boyutlu Görüntüsü



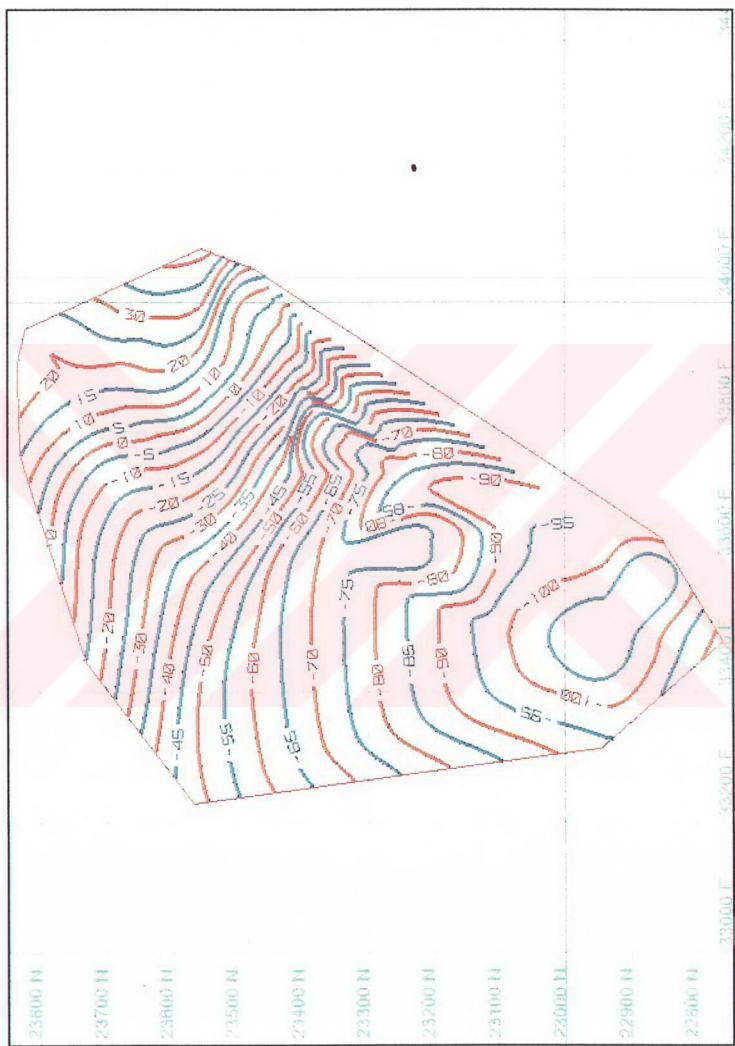
Şekil A.5 Kestelek Sahası'nın Orjinal Topografyasının Konturları



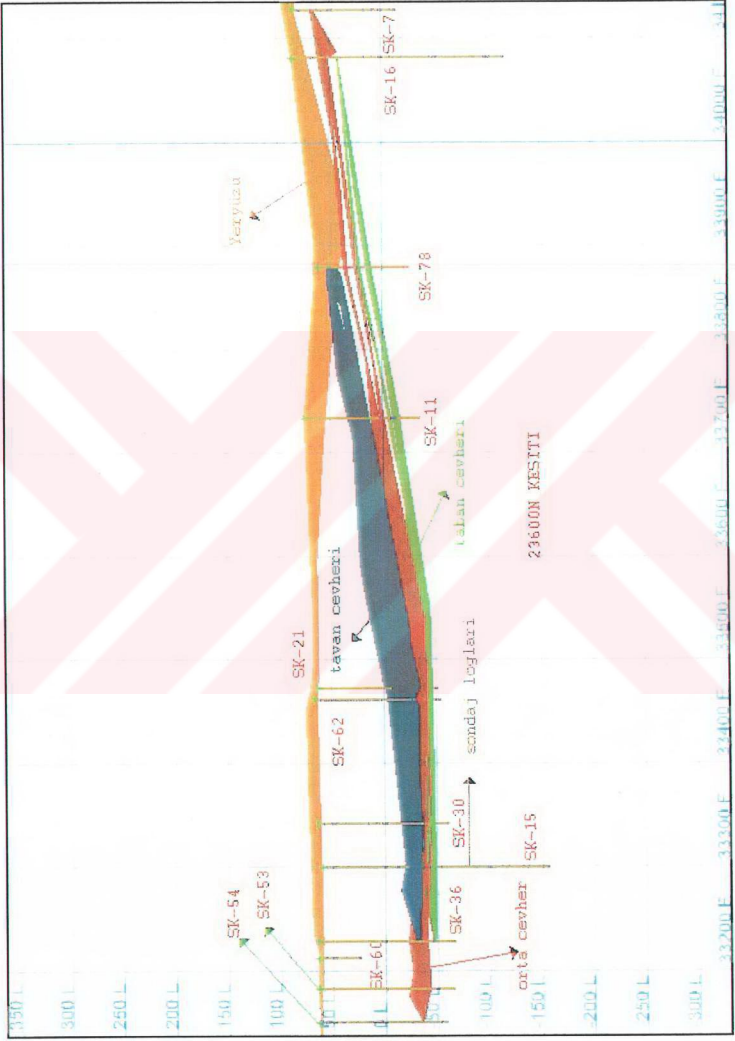
Şekil A.6 Kestelek Açık İşletme Sahası'nın Mayıs-2003'teki Topoğrafyasının Konturları



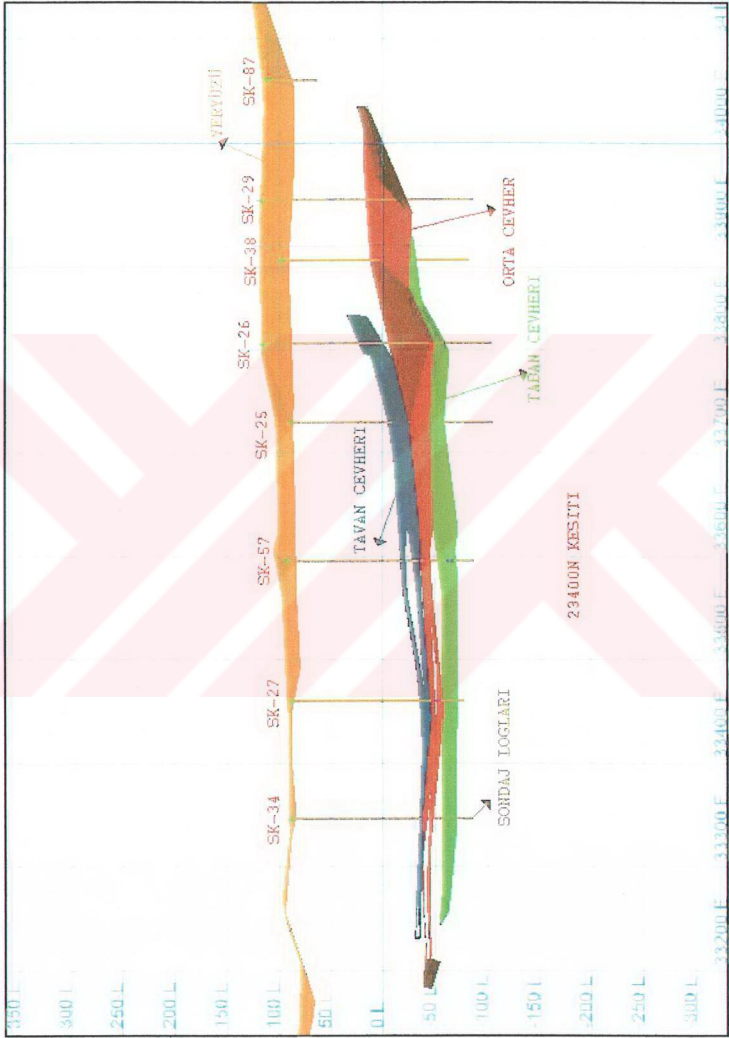
Şekil A.7 Cevherleşmenin Tavan Yüzeyinin İzohips Eğrileri



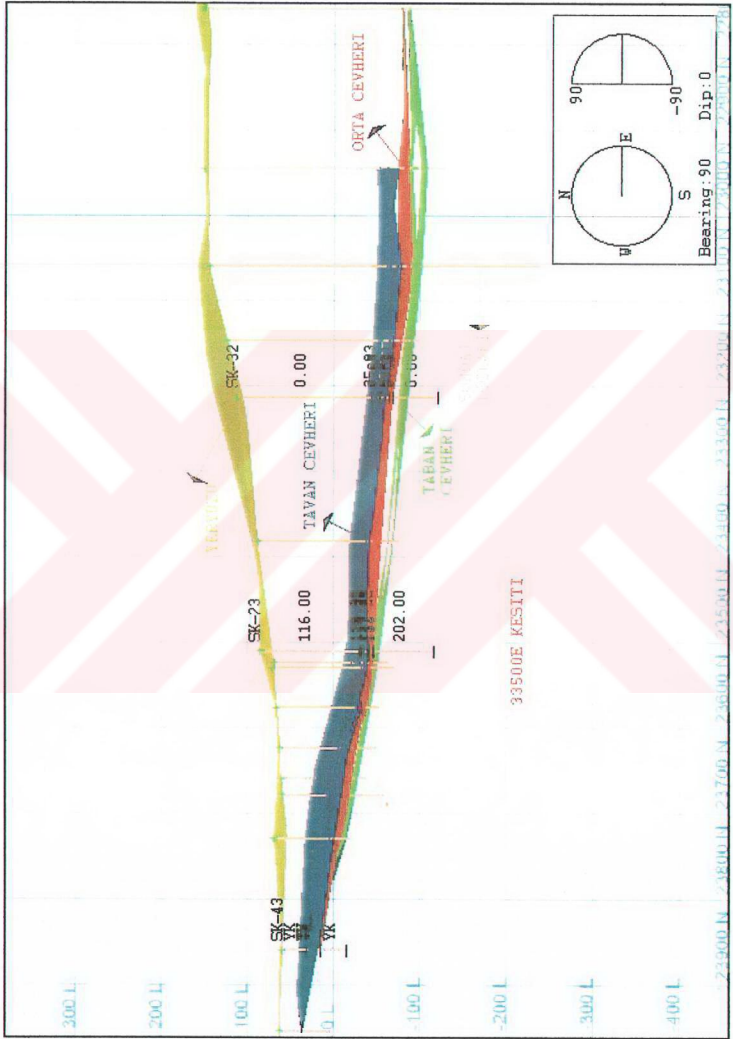
Şekil A.8 Çevherleşmenin Taban Yüzeyinin İzohips Eğrileri



Şekil A.9 Kuzey-Güney Yönünde 23600N Kesiti



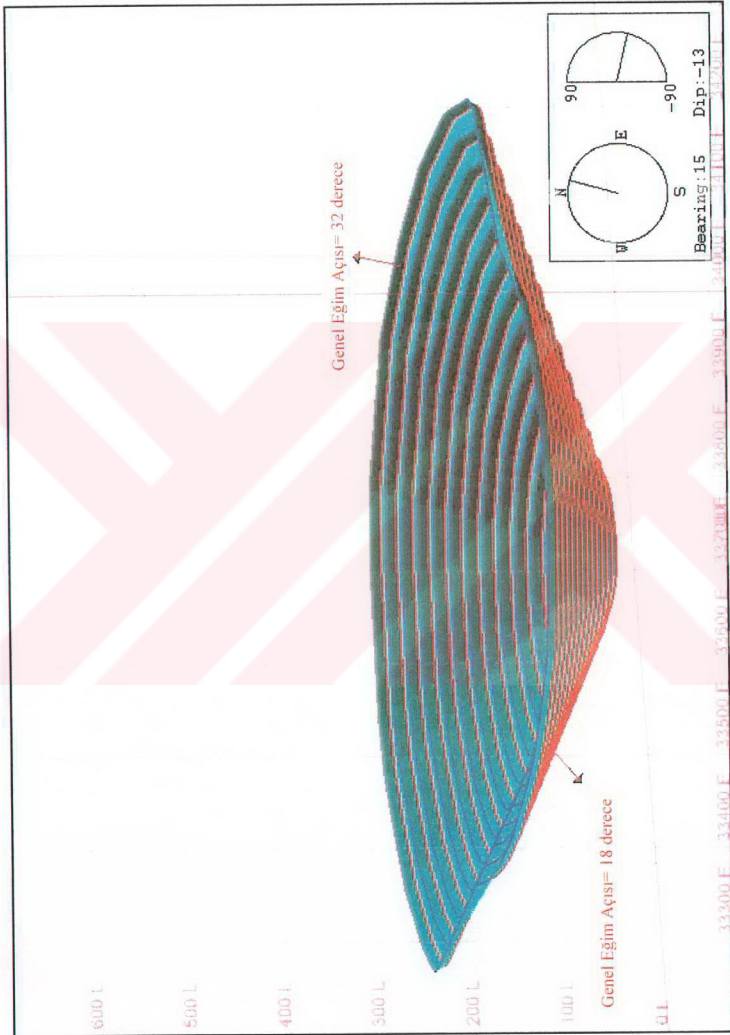
Şekil A.10 Kuzey-Güney Yöntünde 23400N Kesiti



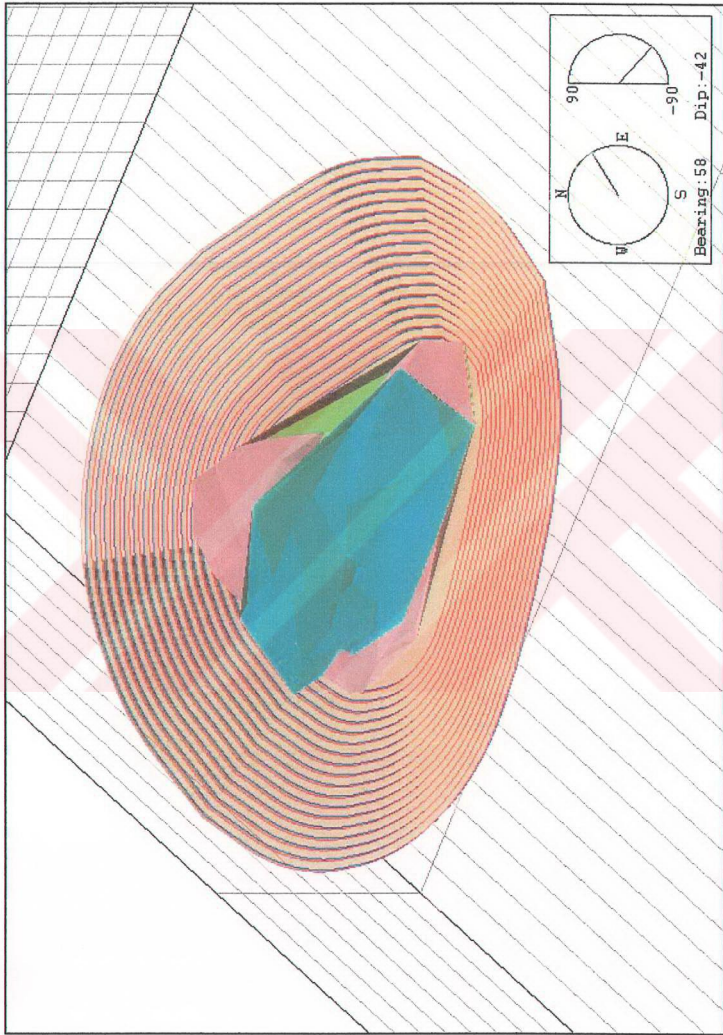
Şekil A.11 Doğu-Batı Yönünde 33500E Kesiti



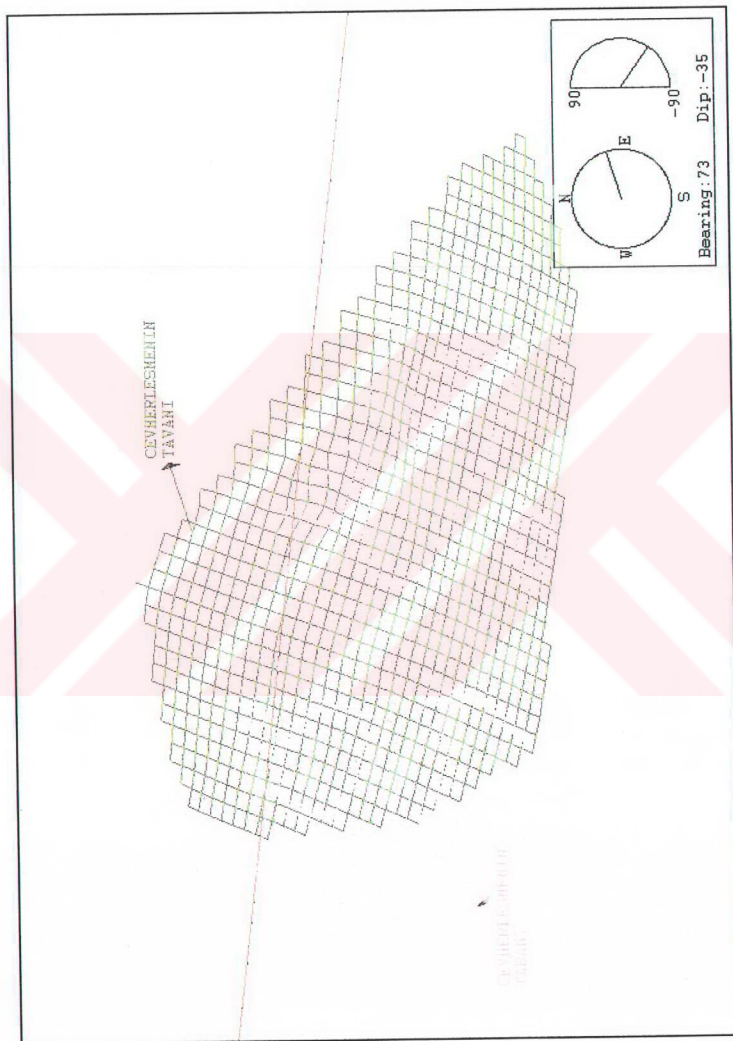
Şekil A.12 Açık İşletme Projesinin Basamaklarının Stringler (Çubuklar) Halinde Görünümü



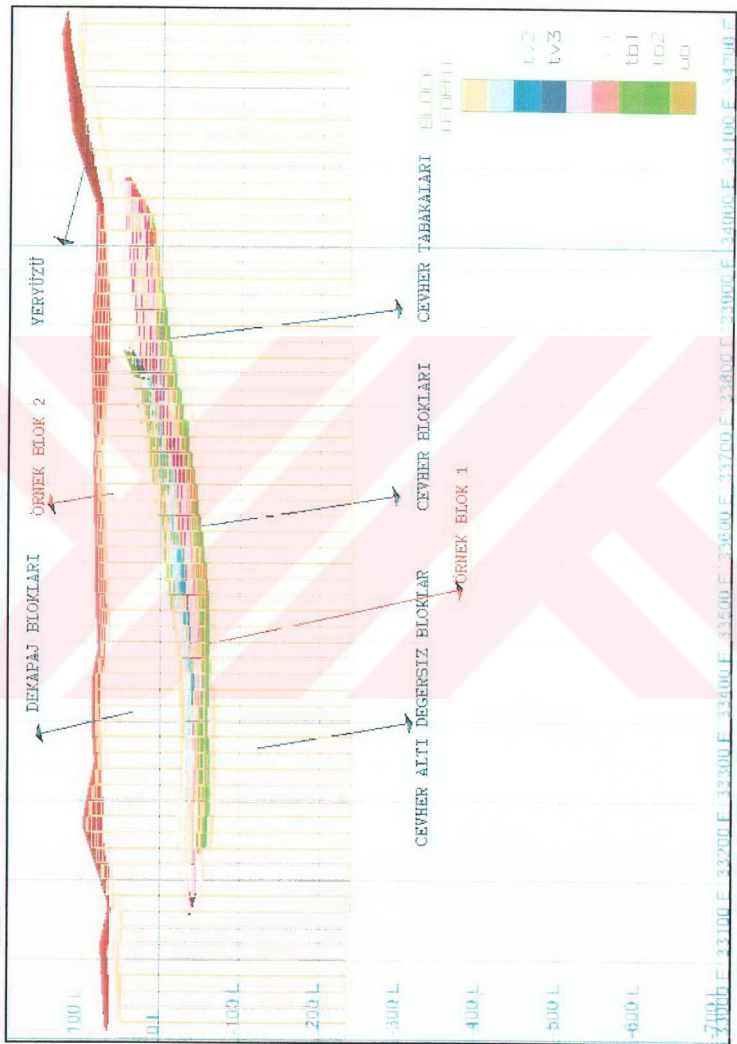
Şekil A.13 Açık İşletmenin Üretim Devam Ederkenki Dönemden Bir Görüntümü



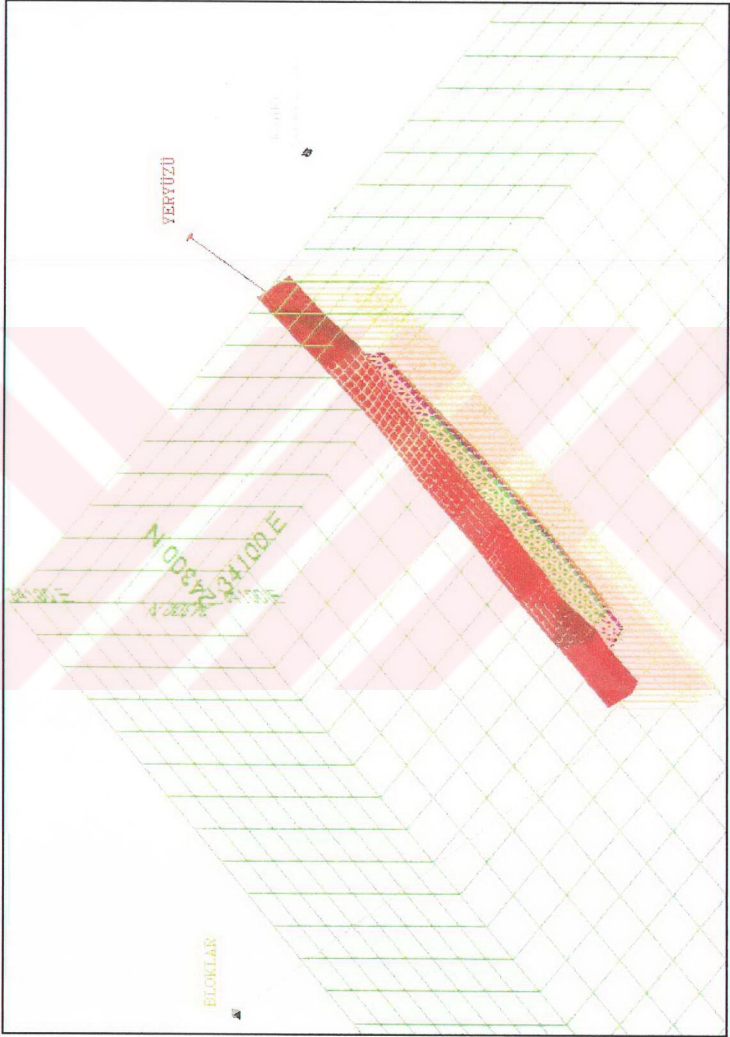
Şekil A.14 Üretim Tamamlandıktan Sonra Açık İşletmenin Aldığı Hal (Taban, Orta ve Taban Cevherleri Gözüklemektedir.)



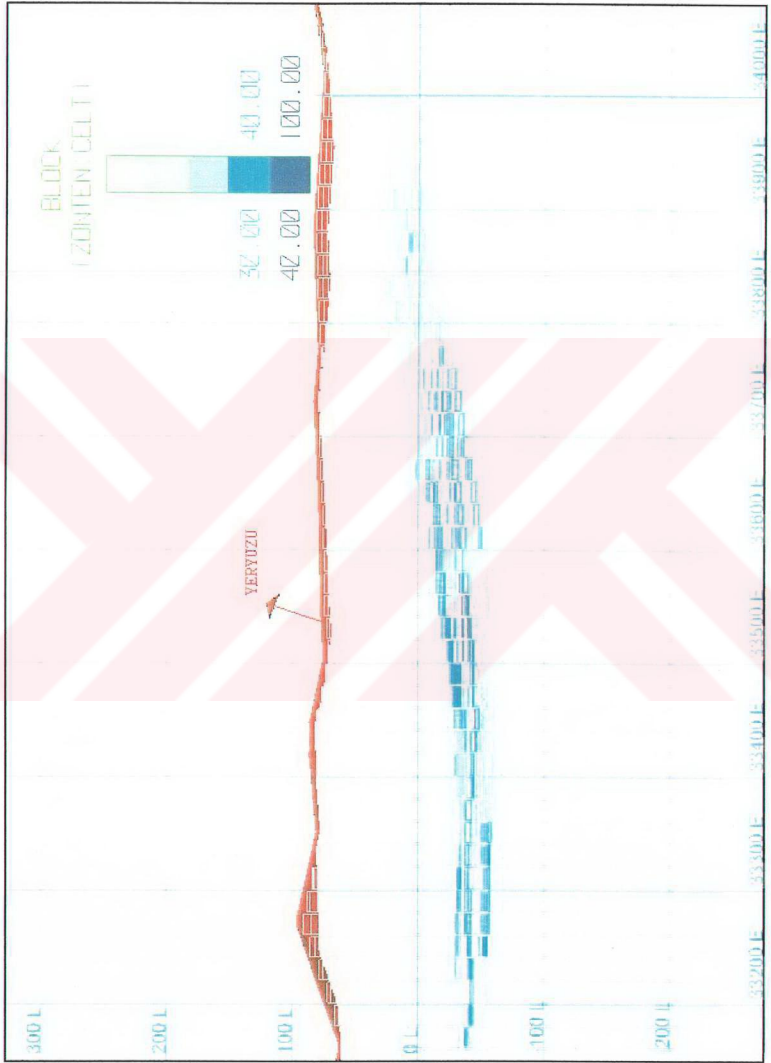
Şekil A.15 Cevherleşmenin Tavan ve Tabanının Grid Modellemesi



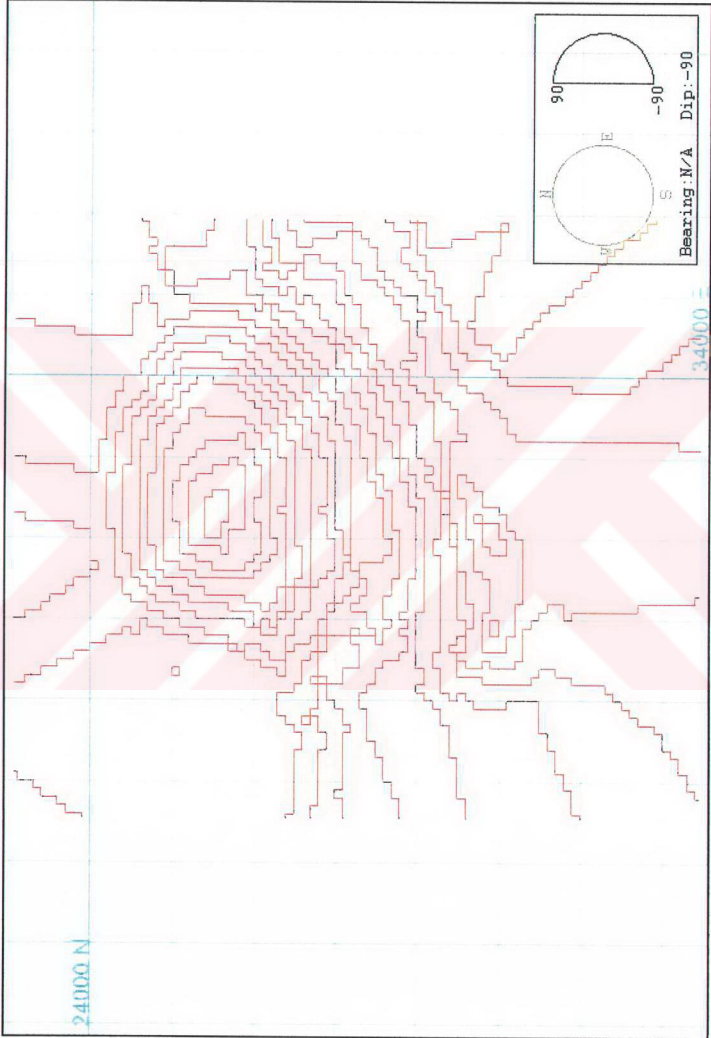
Şekil A.16 Kuzey-Güney Yönünde 23500N Kesitinde Blok Modelleme



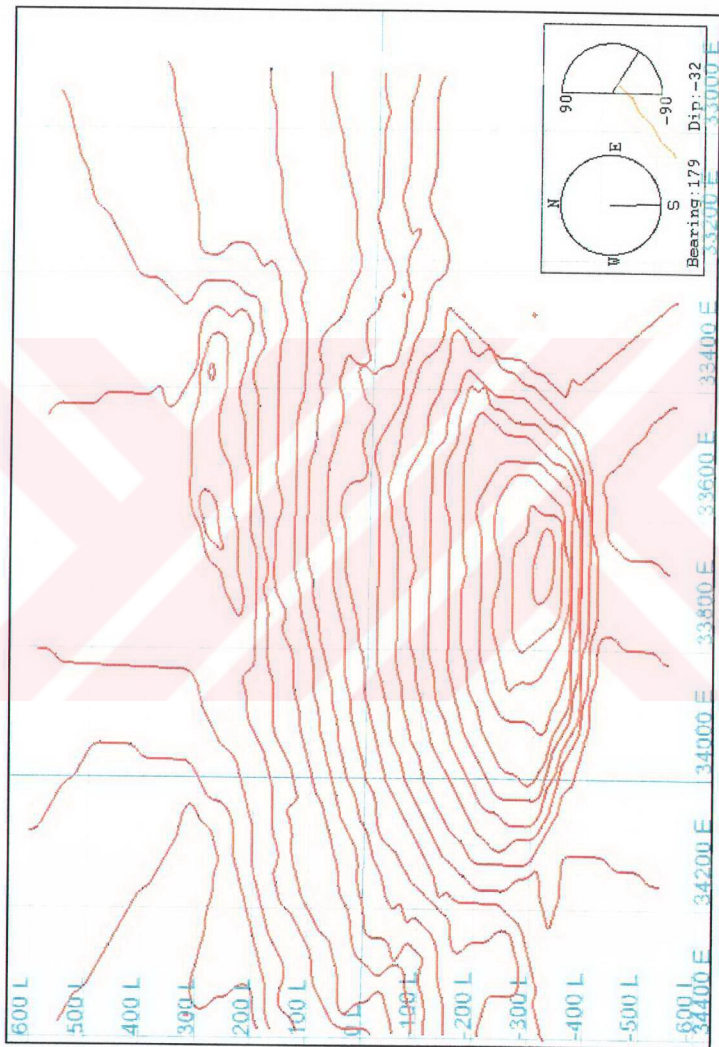
Şekil A.17 Blok Modelleme yapılmış Çevher Yatığının 100metre Etki Alanlı Kesiti



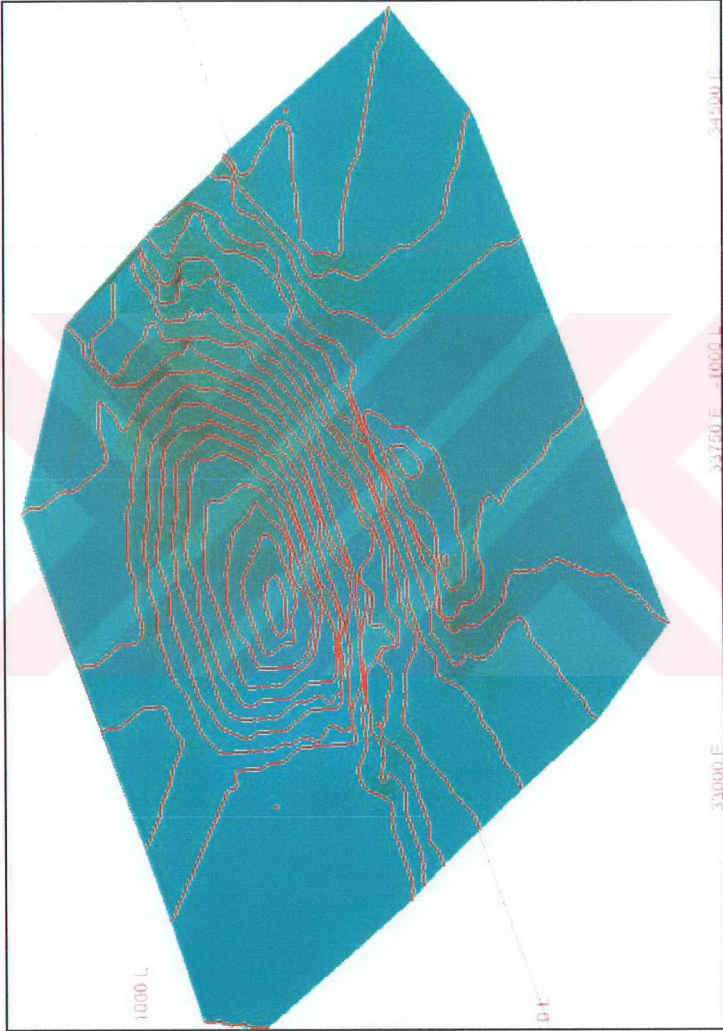
Şekil A.18 Kuzey-Güney Yönünde 23500N Kesitinde % Tenör Değerleri Atanmış Olan Blok Modellemenin Görünümü



Şekil A.19 Lerchs-Grossman Algoritması ile Oluşturulan Alternatif Açık İşletme Projesi



Şekil A.20 Lerchs-Grossman Yöntemiyle Projelendirilen Alternatif Optimum Açık İşletme Sahasının Görünümü



Şekil A.21 Lerchs-Grossman Yöntemiyle Projelendirilen Alternatif Optimum Açık İşletme Sahasının 3 Boyutlu Görünümü

## ÖZGEÇMİŞ

Öykü Selimoğlu, 1979 yılında Trabzon'da doğmuştur. 1997 yılında Trabzon Anadolu Lisesinden mezun olmuştur. 2001 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Maden Mühendisliğinin lisans öğrenimini bölüm birincisi olarak bitirmiştir. Aynı yıl İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü'nde yüksek lisansa başlamıştır. Halen İ.T.Ü. Maden Mühendisliği Açık İşletmeler Anabilim Dalı'nda araştırma görevlisi olarak görev yapmaktadır.