

**DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YATIRIM TEORİLERİ KULLANILARAK**  
**YERALTI VE YERÜSTÜ MADEN İŞLETME**  
**SINIRININ BELİRLENMESİ**

**Tahir MALLI**

**Mart, 2013**

**İZMİR**

**YATIRIM TEORİLERİ KULLANILARAK  
YERALTI VE YERÜSTÜ MADEN İŞLETME  
SINIRININ BELİRLENMESİ**

**Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**

**Doktora Tezi**

**Maden Mühendisliği Bölümü, Maden İşletme Anabilim Dalı**

**Tahir MALLI**

**Mart, 2013**

**İZMİR**

## DOKTORA TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

TAHİR MALLI, tarafından PROF. DR. HALİL KÖSE yönetiminde hazırlanan “YATIRIM TEORİLERİ KULLANILARAK YERALTI VE YERÜSTÜ MADEN İŞLETME SINIRININ BELİRLENMESİ” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir doktora tezi olarak kabul edilmiştir.



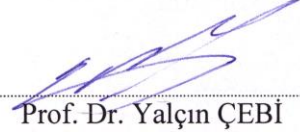
Prof. Dr. Halil KÖSE

Yönetici



Prof. Dr. Ercüment YALÇIN

Tez İzleme Komitesi Üyesi



Prof. Dr. Yalçın ÇEBİ

Tez İzleme Komitesi Üyesi



Prof. Dr. Ali KAHRİMAN

Jüri Üyesi



Prof. Dr. Ahmet H. ONUR

Jüri Üyesi

  
Prof. Dr. Ayşe OKUR

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

## TEŞEKKÜR

Doktora alıőması boyunca her aşamada bilgi ve tecrübelerini aktaran, bu uzun sũrete iyi niyetli sabrıyla beni yœnlendiren danıőmanım Sayın Prof. Dr. Halil KœSE'ye teőekkũr ederim.

Doktora esnasında çalıőmalarımı yœnlendiren ve katkılarını esirgemeyen Sayın Prof. Dr. Ercũment YALÇIN'a ve Sayın Prof. Dr. Yalçın ÇEBİ'ye teőekkũr ederim.

Ayrıca, değerli meslektaő ve arkadaőlarım Yrd. Doç. Dr. Alper GœNEN, œęr. Gœr. Dr. Mete KUN, œęr. Gœr. Baran TUFAN ve diğer çalışma arkadaőlarıma da teőekkũrler...

Aileme sonsuz sevgi ve saygılarımla...

Tahir MALLI

# YATIRIM TEORİLERİ KULLANILARAK YERALTI VE YERÜSTÜ MADEN İŞLETME SINIRININ BELİRLENMESİ

## ÖZ

Günümüzde madencilik sektöründe artan üretim maliyetleri ve rekabet ortamı, yeraltı kaynaklarının en verimli ve ekonomik şekilde değerlendirilmesini gerektirmekte ve beraberinde üretim artışını zorunlu kılmaktadır. Bilindiği üzere, madencilik yatırımları, önceden planlanması gereken uzun vadeli, yüksek oranda riskli ve büyük sermaye gerektiren operasyonlardan oluşmaktadır. Dolayısıyla, yerüstü ve yeraltı maden işletme planlamasının, ideal işletme ömrü ve üretim kapasitesinde tasarlanması, fizibilite değerlendirmeleri açısından oldukça önemlidir.

Mevcut madencilik sorunlarının çözümü, ideal işletme planlaması ile karlılığın yükseltilmesine dayanmaktadır. Açık ve yeraltı işletme planlamalarında, işletmenin derinleşmesiyle birlikte artan nakliye giderlerine ek olarak, üretim maliyetini etkileyen kayacın jeomekanik parametreleri, dolayısıyla kazı zorluğu, şev duraylılığı ve iş güvenliği gibi unsurlar da göz önüne alınarak toplam işletme gideri ve birim cevher üretim maliyetinin öngörülmesi fizibilite etüdü için önemlidir. Fizibilite çalışmalarında, işletme ömrü boyunca elde edilecek gelirler, Net Bugünkü Değer (NBD) yatırım yöntemiyle değerlendirilmektedir. NBD'yi maksimum yapan ideal işletme ömrü ve kapasitesi, derinlik ve boyut olarak işletme sınırı belirlenmektedir.

Maden sahalarının, jeolojik ve coğrafi şartlara bağlı olarak kendine özgü dinamik ve değişken bir yapı arz etmesi, planlamayı daha karmaşık ve zor hale getirmektedir. Bu nedenle, her işletmenin kendi özel koşullarına uygun planlanması gerekmektedir. Yapılan planlamalarda, maden sahası bazen tamamen bir açık işletme ya da yeraltı işletmesi olarak tasarlanmaktadır. Planlamada ideal olan, belirli bir derinlik ve süreden sonra, açık ve kapalı işletmelerin birbiri arasında geçişini sağlayacak kombine bir işletme yönteminin değerlendirilmesi ve benimsenmesidir.

**Anahtar sözcükler:** Açık işletme, Maden planlaması, Net bugünkü değer, Optimum kapasite, Ekonomik maden ömrü.

# **THE DETERMINATION OF UNDERGROUND AND OPEN PIT MINE LIMIT USING INVESTMENT THEORIES**

## **ABSTRACT**

In our day, the increasing production costs and competitive environment seen in mining sector require the evaluation of underground resources in the most efficient and economical way and also entail an increase in production. It is well known that mining investments consist of long-term and highly hazardous operations which should be planned beforehand. Thereby, the design and planning of open pit and underground mines at optimal mine life and production capacity is very important.

The solution to existing mining problems relies upon a proper mine layout and the escalation of profitability. In open pit and underground planning, the haulage costs naturally increase with the increasing depth of the mine. In addition, the prediction of overall operating costs and unit ore production cost by taking into consideration the factors such as the geomechanical parameters of the rock that are directly effective on production cost, and also the excavation difficulties, slope stability and work safety plays an important role at the feasibility. In this kind of feasibility studies, the revenues, which will be gained during the life of a mine, is evaluated by means of Net Present Value (NPV). According to this method, the most ideal mine life and capacity that maximizes the NPV determines the mine limits and depth.

Since the mine sites comprise a unique dynamic and variable structure depending on the geologic and geographic conditions. Therefore, the planning stage gets harder and more complicated. Therefore, every mine site should achieve a scientific-based mine planning that is convenient for its own specific circumstances. As a result of these conducted studies, sometimes the mentioned mine site is planned entirely either in the form of an open pit or underground mine. The essence of this planning, particularly after a certain period of time and depth, a combined production method which facilitates a transition between open pit and underground mining methods

**Keywords:** Open pit, Mine planning, Net present value, Optimum capacity, Economical mine life.

## İÇİNDEKİLER

	<b>Sayfa</b>
DOKTORA TEZİ SINAV SONUÇ FORMU .....	ii
TEŞEKKÜR .....	iii
ÖZ .....	iv
ABSTRACT .....	v
<b>BÖLÜM BİR - GİRİŞ</b> .....	<b>9</b>
<b>BÖLÜM İKİ – AÇIK İŞLETME PLANLAMASI</b> .....	<b>13</b>
2.1 Giriş. ....	13
2.2 Açık (Yerüstü) İşletme Sınırını Belirlemek İçin Kullanılan Yöntemler .....	14
2.2.1 İki Boyutlu Dinamik Programlama. ....	17
2.2.2 Hareketli Koni Tekniği .....	21
2.2.3 Düzeltilmiş Korobov Algoritması .....	24
2.2.4 Üç Boyutlu Dinamik Programlama Tekniği .....	25
2.2.5 Wilke-Wright Üç Boyutlu Dinamik Programlama Algoritması .....	29
2.2.6 Koenigsberg’in Üç Boyutlu Dinamik Programlama Algoritması ....	30
2.2.7 Yöntemlerin Karşılaştırılması .....	31
2.3 Makina-Ekipman Seçim ve Verimliliğine Etki Eden Faktörler .....	34
2.3.1 Makina-Ekipman Seçimi .....	36
2.3.2 Makina-Ekipman Seçim Parametreleri .....	36
2.4 Örtü-Kazı Yöntemlerinin Teknik ve Ekonomik Değerlendirmesi .....	41
<b>BÖLÜM ÜÇ - YERALTI İŞLETME PLANLAMASI</b> .....	<b>44</b>
3.1 Giriş .....	44
3.2 Yeraltı İşletme Planlamasını Etkileyen Faktörler .....	45
3.2.1 Fiziksel ve Jeoteknik Parametreler. ....	45
3.2.2 İşletme Üretim Kapasitesi .....	46

3.2.3 Üretimde Zamanın Etkisi.....	47
3.2.4 Spesifik Planlama .....	48
3.2.5 Gider Parametreleri.....	49
3.2.6 Yeraltı Üretim Yöntemi .....	50
3.2.7 Yeraltı Ana Hazırlık ve Cevher İçi Hazırlıkların Planlaması .....	51

## **BÖLÜM DÖRT - MADENCİLİKTE YATIRIM PROJELERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ ve NET BUGÜNKÜ DEĞER..... 53**

4.1 Giriş .....	53
4.2 Proje Değerlendirmesinde Kullanılan Yöntemler .....	54
4.3 Net Bugünkü Değer Yöntemi .....	55
4.4 Madencilik Sektöründe NBD.....	57
4.5 NBD Etkileyen Parametreler .....	59

## **BÖLÜM BEŞ – YERÜSTÜ İŞLETMESİNDEN YERALTI MADENCİLİĞİNE OPTİMAL GEÇİŞ DERİNLİĞİ..... 61**

5.1 Giriş .....	61
5.2 İşletme Ekonomisi ve Derinliğini Etkileyen Faktörler.....	62
5.2.1 Örtü-Kazı Oranı.....	62
5.2.2 Genel Şev Açısı .....	64
5.2.3 Limit(Sınır) Tenör .....	65
5.2.4 Üretim Kapasitesi .....	66
5.3 Optimal Geçiş Derinliği.....	67
5.4 Değerlendirme.....	70

## **BÖLÜM ALTI – TASARLANAN YAZILIM PROGRAMI..... 71**

6.1 Giriş .....	71
6.2 Program Amacı .....	71
6.3 Program Algoritması ve Genel Akım Şeması.....	72
6.4 Açık İşletme Modülü.....	74
6.5 Yeraltı İşletme Modülü.....	78



6.6 Kombine İşletme Modülü .....	82
<b>BÖLÜM YEDİ – MODEL UYGULAMA.....</b>	<b>83</b>
7.1 Giriş .....	83
7.2 Optimum İşletme Üretim Kapasite ve Ekonomik Ömür Belirlenme .....	84
7.2.1 Optimum Açık İşletme Üretim Kapasitesi ve Ekonomik Ömrü .....	85
7.2.2 Optimum Yeraltı İşletme Üretim Kapasitesi ve Ekonomik Ömrü ...	88
7.3 Optimum İşletme Geçiş Derinliği ve Zamanı.....	89
<b>BÖLÜM SEKİZ – SONUÇ VE ÖNERİLER.....</b>	<b>93</b>
<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>95</b>
<b>EKLER.....</b>	<b>101</b>

## **BÖLÜM BİR**

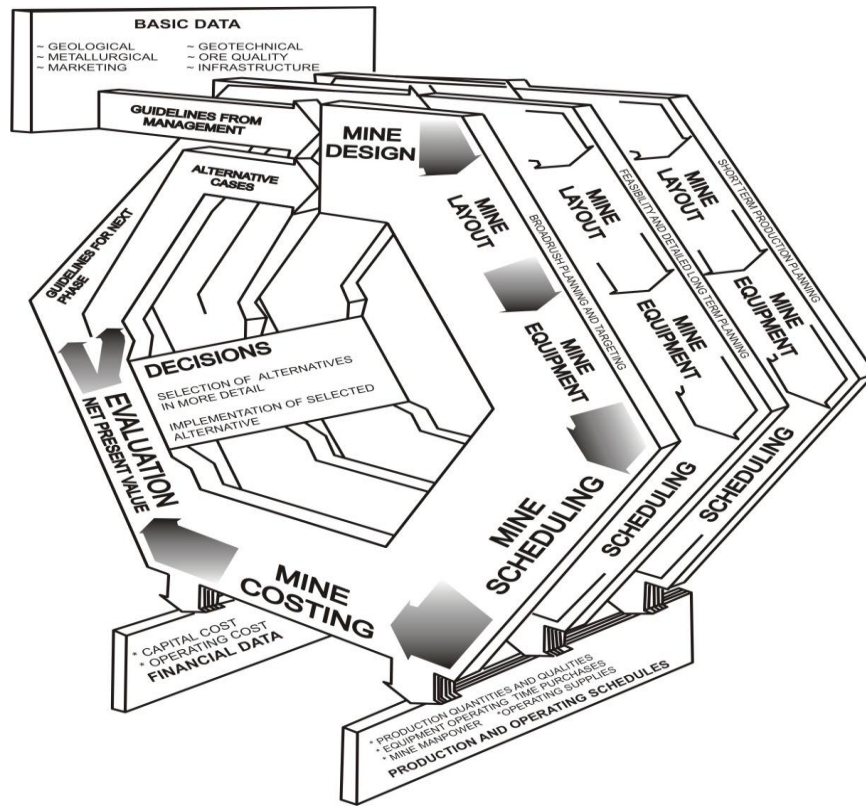
### **GİRİŞ**

Geri dönüşü mümkün olmayan yenilenemeyen yeraltı kaynaklarının en verimli şekilde değerlendirilmesi, ülke ekonomisine daha yüksek oranda katma değer kazandıracağından ve dışa bağımlılığı bir ölçüde azaltmış olacağından, bu kaynaklardan daha uygun ve ekonomik şekilde faydalanılmasını gerekmektedir. Diğer yandan giderek artan pazar koşulları ve rekabet ortamı minimum maliyetle üretim gerçekleştirmeyi de zorunlu kılmaktadır. Ayrıca, bir maden yatağının işletilmesine ilişkin yapılacak madencilik yatırımları, uzun yıllar sürecek büyük sermaye yatırımlarına gereksinim duyulan riskli operasyonlardan oluşmaktadır. Dolayısıyla madeni işletmeye almadan önce operasyonu maksimum karlı kılacak işletilebilir cevher rezervinin ve optimum açık-kapalı işletme kapasitesinin belirlenmesi, işletmenin değerlendirilmesi açısından oldukça önem taşımaktadır. Bu nedenle, işletmeyi maksimum karlı kılacak işletilebilir cevher rezervinin ve nihai işletme sınırlarının belirlenmesi, işletmenin ön değerlendirilmesi açısından önemlidir. İşletmenin planlama koşullarının karmaşık ve birçok değişkenden oluşan kombinasyonlar zinciri halinde oluşu planlama aşamasını daha dinamik ve kritik hale getirmektedir.

Planlamada başarı ise, doğru karar vermeye bağlıdır. Gelecekteki belirsizlikler ve risk faktörleri ile işletmelerde üretim yöntemi seçimini oldukça önemli hale getirmektedir. Özellikle yeraltı madencilik sektöründe jeolojik, jeoteknik, ekonomik faktörler ile üretim kapasitesi, metal fiyatlarının değişkenliği, makina ekipman seçimi, hazırlık ve diğer faaliyetler yöntem seçimini karmaşık hale getiren unsurlardır.

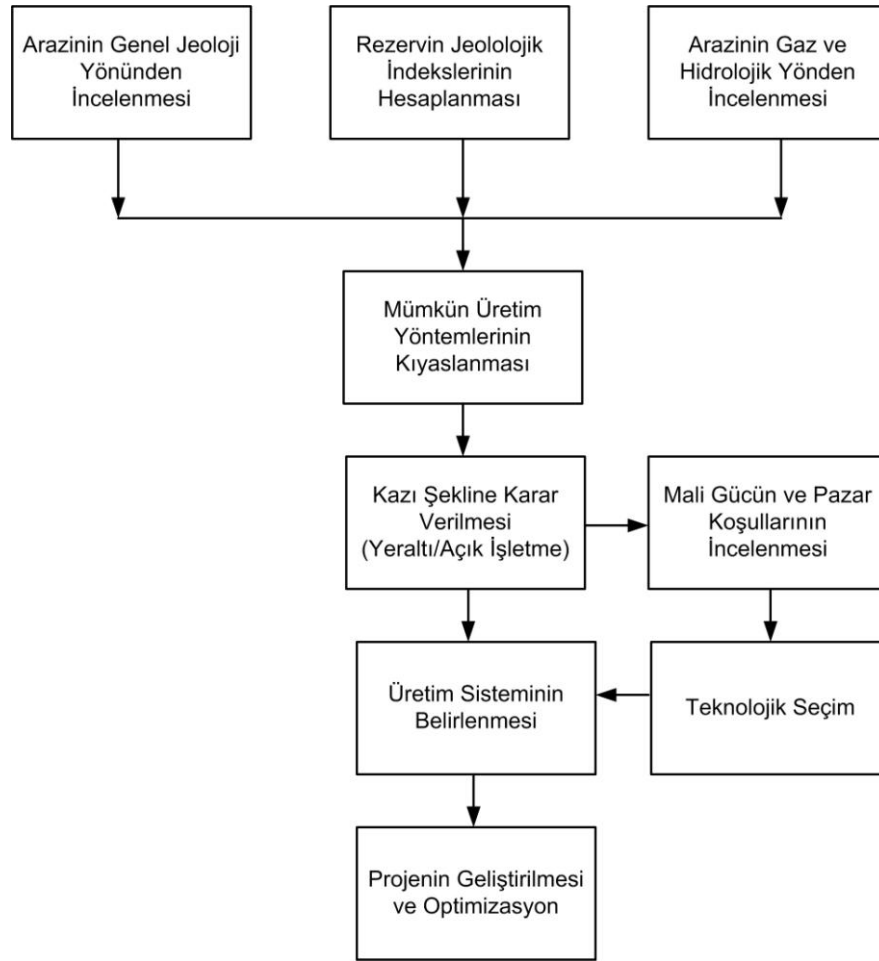
Detaylı ve daha gerçekçi bir işletme planlanması, belirli ekonomik işletme ömrü içerisinde üretim miktarının ve kapasitesinin uzun vadeli, kısa vadeli ve günlük üretim organizasyonu, üretim sıralamasıyla birlikte terminin yapılmasını ve paranın zaman değeriyle değerlendirilmesini öngörmektedir.

Planlama; tahminleme, ekonomik veriler ve karar verme gibi detaylara bağlı ve bunların değişiminden etkilenmektedir. Karar verme ve planlama çalışmalarında çeşitli aşamalar bulunmaktadır (Şekil 1.1). İlk aşama; projenin ortaya konulmasıdır. Burada maden planlaması derinlik, örtü kazı oranı, cevher tenörü, cevher satış fiyatı, mesafe gibi faktörlere göre tasarlanmaktadır. Stratejik planlama safhasında ise uzun dönem maden planlaması ve makine-ekipman seçimi yapılmaktadır. Geliştirme aşamasında ise planlama; yıllık, aylık ve günlük planlar ile detaylandırılmaktadır (Runge, 1998).



Şekil 1.1 Maden işletme planlama aşamaları ve ilgili parametreleri (Runge, 1998)

Maden planlama ve tasarımlarında kesin bir standart ölçü ile başarıyı tanımlamak mümkün değildir. Projenin çeşitli aşamalarında projeyi etkileyen parametrelerin belirlenmesi, bunların etkilerine göre olumlu kullanılması başarıyı arttırmak için önemlidir. Şekil 1.2' de verildiği gibi, saha çalışmaları, açık/yeraltı üretim yöntemlerinin teknik yönlerinin madencilik açısından karşılaştırılması ve ekonomik yönden maliyet hesaplamaları, yöntem tekniğinin seçiminde dikkat edilmesi gereken faktörlerdir (Gönen, 2010).



Şekil 1.2 Basit şekilde maden tasarımı etkileyen faktörler (Demirbilek,1987)

Madencilikte temel hedef, doğru ve gerçekçi işletme planlaması ile karlılığın yükseltilmesine yöneliktir. Açık ve yeraltı işletme planlamalarında, işletmenin derinleşmesiyle artan nakliye giderleri, üretim maliyetine direkt etkisi olan kaya mekaniksel parametreler kazı zorluğu, iş güvenliği açısından şev duraylılığını sağlayan uygun genel şev açısı gibi önemli kriterleri kapsayan toplam işletme gideri ve birim cevher üretim maliyetinin öngörülmesi önemlidir.

Buna göre elde edilecek gelir, günümüzde yatırım yöntemi olarak yaygın kullanımı olan Net bugünkü değer (NBD) tekniği kullanılarak değerlendirilmektedir. NBD’i maksimum yapan optimum işletme ömrü ve üretim kapasitesi, derinlik ve boyut olarak maden işletme sınırını belirlemektedir.

Bu nedenle çeşitli bilgisayar yazılımları yardımıyla optimum nihai açık işletme sınırının daha gerçekçi ve kesin olarak belirlenmesi, madencilik sektöründe üzerinde yoğunlukla çalışılan konuların başında gelmektedir. Uzun vadeli işletme planlamasında, maden yatağından en yüksek karı elde edebilmek için yerüstü işletmesinin bitip, uygun koşullar görüldüğünde yeraltı işletmesinin başlayabileceği bu sınırın tespit edilmesi, mühendislik ve işletmecilik açısından zorunluluk noktasına gelmiştir. Madencilik planlamalarında, işletilecek cevher miktarları ve ekonomik değerleri, işletmenin derinleşmesiyle artan nakliye giderleri, üretim maliyetine direkt etkili olan üretim tekniği ve kaya mekaniksel parametreler, şev duraylılığı ve olası tüm kombinasyonların maliyetleri göz önünde bulundurulmalıdır. Ayrıca işletme gelirlerinin, paranın zaman değerini de hesaba katarak işletme sınırlarını tespit eden bir modelin oluşturulması yapılan çalışmanın temelidir.

Bununla birlikte açık işletme derinliği sınırından sonra yapılacak yeraltı işletmesinden elde edilecek birim maliyet, karlılık ve net bugünkü değer ile projenin rantabilitesine ilişkin veriler sunulmaktadır.

Bu çalışmada, geliştirilen yazılım yardımıyla madencilik fizibilitelerinin değerlendirilmesinde önemli parametre olarak öngörülen optimum açık-kapalı işletme kapasitesi, işletme derinliği ve ekonomik işletme ömrünün daha kesin olarak belirlenmesi hedeflenmektedir. Bu yönüyle çalışmanın madencilik yatırımlarına yeni çözümlene stratejisiyle farklı bir yaklaşım getireceği düşünülmektedir.

## **BÖLÜM İKİ**

### **AÇIK İŞLETME PLANLAMASI**

#### **2.1 Giriş**

Açık işletme, maden üzerindeki örtü tabakasının alınarak, üzeri açılan maden kitlesinin üretiminin yapılmasıyla oluşan maden işletme yöntemi olarak tanımlanmaktadır. Dünya maden üretiminin büyük bölümü açık işletme yöntemiyle yapılmaktadır. Teknolojiyle paralel olarak, açık işletmelerde kullanılan makinalardaki gelişmelerle birlikte açık işletmelerde derinleşerek devam etmektedir.

İşletme üretim yöntemi seçimi, maden planlama ve tasarım aşamasında en önemli karardır. Açık işletme ve yeraltı üretim yöntemleri veya bunlardan her biri maden yataklanmasının geometri ve pozisyonuna bağlı olarak açık işletme ve daha sonra yeraltı işletmesi olarak seçilebilmektedir (Camus,1992).

Açık işletme ve yeraltı işletmesi arasında bir seçimde göz önünde bulundurulması gereken faktörler; maden yatağının şekli, boyutları ve derinliği, yan kayacın kaya mekaniksel şartları, üretim kapasitesi ve makina-ekipman seçimi, sermaye ve finansman durumu, işletme giderleri, faiz oranı, yatırım, amortisman, cevher kazanımı, gelir ve satış, işyeri güvenliği ve çevresel etki değerlendirme gibi parametrelerdir (Hartman,1992; Nilsson,1997).

Maden işletme planlarında cevher rezervini ekonomik ömür süresinde karı yada nakit akışını maksimize edecek üretim sırasının belirlenmesinin temel amaç olduğu, optimum planın bulunmasında üretim zamanı ile işletme sınırları ve madencilik operasyonlarında karşılaşılan fiziksel ve teknik sınırlamaların birbiriyle etkileşimde olduğu, fiziksel sınırlamaların kayaç veya zeminin olanak vereceği işletme sevi ve kazı hızına bağlı olarak kazı maliyetlerini belirlediği, teknik sınırlamaların ise makine-ekipman seçimi, boyut ve sayıları, üretim-nakliye kapasiteleri, işletme maliyetleri ve ayrıca cevher üretim sıralamasını içermekte olduğu ifade edilmektedir (Koenigsberg, 1982; Saydam, 2000).

Açık işletme planlaması, işletmenin her aşamasının birbiri ile uyum içinde olacağı şekilde yapılmalıdır. Planlama sırasında gözönünde bulundurulması gereken birçok faktör vardır. Bu faktörler, cevher ve yan kayaçların özellikleri ile çevre koşullarını tam olarak yansıtmalıdır. Açık işletme planlaması, cevherleşme ve yataklanma farklılıklarından dolayı metal ve kömür madenlerinde çeşitlilik göstermektedir. Planlama sırasında dikkate alınması gereken parametreler genel olarak jeoloji, jeoteknik ve hidrojeolojik koşullar, rezerv yayılımı, topoğrafya, ekipman, ekonomik faktörler ve maliyet, yatırım tutarı, kar miktarı, cevher çeşidi, ocak ve basamak şev açıları, basamak yüksekliği, yol eğimleri, cevher zenginleştirme ve pazarlama olanakları gibi parametrelerdir (Köse vd, 2001).

Genel olarak özetlendiğinde açık işletme sınırının belirlenmesi, makine-ekipman seçimi, örtü-kazı yönteminin belirlenmesi ve maliyetlerin değerlendirilmesi mümkündür.

## **2.2 Açık (Yerüstü) İşletme Sınırnı Belirlemek İçin Kullanılan Yöntemler**

Dünya maden üretiminin % 90'a varan önemli bir bölümü açık işletme yöntemleri ile üretilmektedir. Yüzeğe yakın maden yataklarının tüketilmesi ile birlikte açık işletme ekonomik derinliği her geçen gün artmaktadır. Kaldırılması gereken örtü kazı miktarları artmakta ve örtü-kazı oranları 30 m<sup>3</sup>/ton'a ulaşmaktadır. Bu nedendir ki ekonomik üretim yapılabilmesi için dekapaj maliyetlerinin ve dolayısıyla birim üretim maliyetlerinin düşürülmesi gerekmektedir (Köse, 2011). Maden yatağının işletilmesi uzun yıllar süren büyük sermaye yatırımlarına gereksinim duyulan ve risk taşıyan bir dizi operasyonlardan oluşmaktadır. Dolayısıyla öncelikle işletmeyi karlı kılacak işletilebilir cevher rezervinin belirlenmesi, optimum işletme yöntem ve sınırlarının tespiti önem taşımaktadır.

Bu nedenle, işletmenin planlanması ilk olarak belirli bir ekonomik işletme ömrü içerisinde üretim miktarının ve kapasitenin belirlenmesini öngörmektedir. Bu anlamdaki planlama; uzun vadeli, kısa vadeli ve günlük üretim planlaması gibi üç kategoride sınıflandırılabilir. Planlama sırasında yapılacak ilk iş, başlangıç

aşamasında veya daha ileriki aşamalarda işletmenin nihai ekonomik sınırlarını belirlemektir. Bu nedenle işletme sınırlarının tayini, planlama çalışmasının temeli olup cevher yatağının değerlendirilmesinde oldukça kritiktir.

Böyle bir limitin belirlenmiş olması; inşa edilecek tesis ve döküm sahası lokasyonlarının da uygun noktalarda belirlenmesine yardımcı olacaktır. Daha sonraki aşamalarda beklenmeyen giderlerin oluşmasını da önleyerek olası alternatif durumların önceden görülmesini sağlayacaktır. En önemlisi bu limitlere ulaşmak için hangi safhalardan hangi koşul ve değerlerde geçileceğini görebilmek ve bunun teknik ve ekonomik anlamda değerlendirmesini yapabilmek olacaktır. İşletilebilir cevher tonajını tespit edilmesi ve optimum nihai işletme sınırının belirlenebilmesi, işletmeler için önemli bir problemi oluşturmaktadır. Bu sorunun çözümüne yönelik pek çok teknik geliştirilmiştir. Bunlardan en önemli olanları kesin (rigorous) yöntemler ve buluşsal-sezgisel (heuristik) yöntemler altında sayılabilir.

Kesin yöntemler, dinamik programlama, graf tekniği, parametrik analiz, stokastik prosestir. Dinamik programlama, optimum final final açık işletme limiti, blokların kar maksimizasyonu ile şev stabilitesi ve ideal makina seçim uyum gibi pratik sınırlamaların kombinasyonu olarak değerlendirilmektedir. Lerch-Grosman'ın Graf teorisi, Zhao ve Kim (1992) tarafından tanımlanan teori ile modifiye edilerek ağaç yapısının dönüşümüne dayalı farklı bir uygulamasıdır.

Stokastik proses; gelire dayalı matematiksel desteklemelerle olasılık teorisi üzerine kurulmuştur (Jalali, 2006). Parametrik analiz (parametrizasyon); birçok değişkenin fonksiyonu olarak işletme tasarımını parametrize etmek için farklı radikal bir yaklaşımla Matheron tarafından ortaya konulmuştur. Ardından birçok tanımlamalarla geliştirilmiştir (Coleou, 1989). Bu algoritmada problem iki farklı yönüyle teknik ve ekonomik açıdan ele alınarak hazırlanmıştır. En son gelişmeler, Whittle(1988), ekonomik parametreler ilave ederek metal fiyatının maden işletme giderlerine oranı parametresini Whittle-4D yazılım programına adapte edip geliştirmiştir.



Optimizasyon Algoritmaları			
Açık işletme		Kapalı işletme	
Kesin	Sezgisel	Kesin	Sezgisel
Dinamik Programlama (1965)	Hareketli Koni (1968)	Dinamik Programlama	Hareketli Üretim Yeri Algoritması (1995)
	Ağ-Şebeke Analizi		
Graf Teorisi (1965)	Lineer Programlama	Branch-bound Algoritması (1995)	Maksimum Değer Komşuluğu
Parametrik Analiz (1975)	Korobov Algoritması (1974)		
Stokastik Proses (2006)	Genetik Algoritma (1994)	Olası Üretim Yeri Algoritması (2004)	
	Yapay Zeka (1996)		

Şekil 2.1 Optimizasyon algoritmalarının sınıflandırılması (Shahriar, 2007)

Bütün bu teknikler blok kavramına dayanmaktadır. Bu bloklar işletmenin en küçük birimleri olarak tanımlanmakta hesaplamalarda işletme sistemindeki üretim işlemini ifade etmektedir. Blokların yüksekliği, genellikle işletme basamaklarının yüksekliğine eşit alınmakta olup diğer boyutları ise yatağın jeolojik yapısı, verilerin duyarlılığı, uygulanacak işletme yöntemi, ekipman seçimi, planlama şekli ve işletme eğimleri gibi etkenlere bağlıdır. Hesaplamalarda kolaylık olması bakımından bütün blokların aynı boyutlarda olması tercih edilmektedir. Blok boyutlarının belirlenmesinden ve yatağın bu bloklardan oluşmuş blok modelini oluşturduktan sonra her bloğa ekonomik bir değer atamaktır.

Nihai işletme sınırlarının karar kriteri olarak, kara geçiş noktasındaki dekapaj oranını kullanmak yerine son yıllarda maksimum kar gibi ekonomik etkenlerin kullanıldığı görülmekte, zira ekonomik etkenler, dekapaj oranı veya limit tenör gibi kriterlere nazaran daha dinamik karar kriterleridir.

Mineralize blok verileri blok modele uygulandıktan sonraki aşama ekonomik blok envanterini geliştirmektir. Bu aşamada envanterdeki her blok için maliyet, gelir, kar gibi ekonomik değerler belirlenerek ekonomik blok model oluşturularak çözümlene tekniklerine uygun hale getirilir. Aslında bu tip çalışmalarda topoğrafik koşulların yanında pazarlama durumu, işletme verimi, zamanın fonksiyonu olarak işletilecek cevher miktarları ve değerleri, nakliye giderleri, kaya mekaniksel parametrelerle

beraber mümkün olabilecek bütün kombinasyonları aynı anda hesaba katacak bir model oluşturulmalıdır.

Açık işletmelerde, uzun vadeli üretim planlarının yapılabilmesi için optimum nihai açık işletme sınırlarının bilinmesi gerekmektedir. Bu amaca yönelik değişik teknikler geliştirilmiştir. Günümüzde bu tekniklerden yaygın olarak kullanılanları dinamik programlama ve hareketli koni yöntemleridir.

### **2.2.1 İki Boyutlu Dinamik Programlama**

İşletilecek cevher bloklarının iki boyutlu kesitler üzerinde optimum sınırlarını tayin etmek için uygulanan dinamik programlama tekniği Lerchs-Grossmann tarafından geliştirilmiştir. Basit oluşu ve gerçeğe yakın sonuçlar vermesinin yanısıra bütün diğer kesit yöntemlerinde olduğu gibi özellikle işletme konisinin dip kısımlarını ve kenar bölgelerde kalan kesitleri düzgün bir şekilde tespit edebilmek büyük bir uğraş ve zaman gerektirmektedir. Neticede ancak nadir durumlarda iki boyutlu optimum sınırlardan üç boyutlu optimum sınırlara geçilebilmektedir.

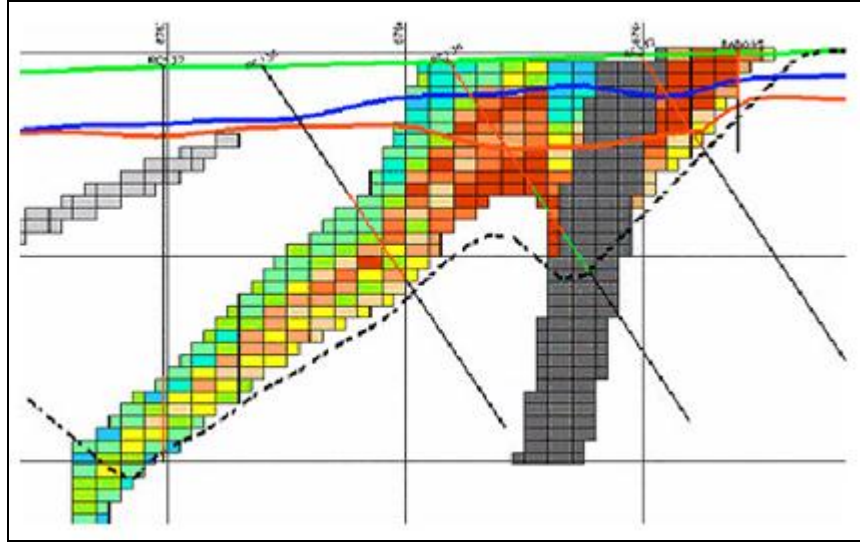
Problem analitik olarak aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir.

- I. Üç boyutlu bir ortamın her noktasında tariflenen birim hacme tekabül eden cevherin değeri  $v(x,y,z)$ , birim hacme tekabül eden işletme maliyeti  $c(x,y,z)$  ve birim hacme tekabül eden kar  $m(x,y,z)$  gibi üç fonksiyon olduğunu varsayalım.
- II. Bu durumda kar;  $m(x,y,z) = v(x,y,z) - c(x,y,z)$  şeklinde ifade edilecektir.
- III. Her noktadaki açı  $a(x,y,z)$  ile yatay plana göre eğimleri hiçbir noktada  $a$  açısından büyük olmayan yüzeyler eğrisi  $S$  ile, bu yüzeyler serisine tekabül eden hacimler serisi de  $V$  ile gösterildiğinde problem, bu hacimler arasında

$$\int_v^m (x, y, z) dx dy dz \text{ integralini maksimum yapan hacmin belirlenmesinden}$$

ibaret olmaktadır.

v ve c fonksiyonları, genellikle basit bir şekilde ifade edilemediğinden sayısal yöntemlere başvurmak zorunluluğu ortaya çıkmıştır. Yaklaşım şekli yatağı birbirine paralel dikey kesitlere ayırmak ve bu kesitlerden her birini iki boyutlu bir işletme gibi düşünmek gerekmektedir.



Şekil 2.2 Dinamik programlama tekniğinde blok model görünüm

Her kesitin konturlarını tayin etmek için kullanılan teknik ise eğimi “a” olan bir üretim kazısının dibini ve iki yan duvarını temsil eden üç doğruyu hareket ettirmek ve bu üç doğru ile sınırlanan kısmın cevher değerini ve işletme maliyetini hesaplamaktır. Sonuçta bu üç doğru parçasının en iyi sonuçları üreten şekli ideal durum olarak seçilmektedir. Burada “a” açısının en üst seviyeden en alt seviyeye kadar sabit olduğu varsayılmaktadır. Analitik olarak ifade edilen bu model dinamik programlama tekniği ile pratikte basit ve hızlı bir şekilde çözümlenebilmektedir. Tekniğin avantajları uygulamasının basit ve kolay olması iken dezavantajları ise optimizasyonu sadece kesitler üzerinde yapması, dolayısıyla optimum bir açık işletme sınırı elde edebilmek için genellikle bazı yapılan rötuşlar nedeniyle optimumdan uzaklaşmasıdır.

İki boyutlu halden direkt olarak üç boyutlu hale geçilmesi istendiğinde bütün dikey kesitlerin optimum konturları bir araya getirilmekte, fakat bu kesitlere dik veya ortogonal olan bir kesitteki eğimler, kabul edilebilir işletme eğiminden daha fazla olduğunda bu konturların birbiri ile uyuşmadığı görülmekte ve sonuçta tabanı ve yan

duvarları eşitlemek zorunluluğu ortaya çıkmaktadır. Bu işlemde oldukça yoğun ve kompleks bir iş olduğu gibi ayrıca optimum pozisyonlardan uzaklaşılmasına sebep olabilmektedir. Bununla birlikte, her kesit için sadece bir tek optimum kontur değil, şayet mevcutsa aynı zamanda birkaç optimum kontur ve optimuma yakın diğer bazı konturlarda ortaya çıkmakta, dolayısıyla bu elemanlar da işletme konturlarının belirlenmesinde yardımcı olmaktadır.

Uygulama sırasında izlenecek algoritma adımları;  $i, j$  olarak ifade edilen her blok için  $M_{i,j} = \sum_{k=1}^i m_{kj}$  hesaplanır.

Burada  $m_{ij}$  ; cevher bloğunun net karını,  $i$  ve  $j$  sıra ve sütunu ifade etmektedir.  $M_{ij}$  ;  $j$  sütunundaki her bloğun yukarıdan aşağıya doğru kümülatif toplamını ifade etmektedir.

Tablonun en üst seviyesine bir  $i = 0$  sırası ilave edilir ( $M_{0j} = 0, j = 1, 2, \dots, j$ ). Sonra 1. sütundan itibaren sıra ile  $k = -1, 0, +1$  olmak koşuluyla  $i = 0, 1, 2, \dots, I$  için;

$P_{i,j} = M_{i,j} + \max(P_{i+k, j-1})$  hesaplanır ve  $k$ 'nın maksimum  $k$ 'ya eşitlendiği yerlerde her  $(i, j)$   $i$  ve  $j$  için  $(i, j)$ 'den,  $(i+k, j-1)$ 'e giden bir ok ile maksimum işaretlenir.

$P_{i,j}$  ; optimum işletilebilir sınırlar içerisindeki toplam net karı ifade etmektedir.

$P_{i,j} \leq 0$  olduğu takdirde kar getiren bir sınır mevcut değil demektir.

$P_{i,j} > 0$  olduğu takdirde  $j$  sütunundan,  $j-1, j-2$  vb. sütununa doğru blok,  $(0,0)$  oluncaya kadar çizilmiş olan ok takip edilir ve böylece işletilebilir optimum hacmin alt sınırları tespit edilmektedir.

$P_{i,j}$  ; 1 den  $j$ 'ye kadar olan sütunların, sınırları içerisinde  $(i, j)$  elemanını ihtiva eden bir işletmeye bulunabileceği maksimum katkı olmaktadır. Sonuçta, eğer  $(i, j)$  elemanı optimum işletme sınırının bir kısmını teşkil ediyorsa bu sınır  $(i, j)$  elemanının sol tarafında  $(i, j)$  elemanından başlayan okları izleyerek çizilebilmektedir. O halde ekonomik nitelikte olan her işletme için en üst seviyedeki sırada en azından bir  $P$  elemanı olması gerekmektedir. Eğer birinci sıradaki  $P$ 'nin maksimum değeri pozitif ise bu maksimum değeri veren elemanın solundan başlayan okları takip ederek

ulaşmaktadır. Birinci sıranın bütün elemanları negatif olduğu takdirde ise karı gerçekleştirecek hiçbir blok yok demektir.

Aşağıdaki örnekte, İki boyutlu dinamik programlama yöntemine göre açık işletme nihai sınırının saptanmasını gösteren sayısal bir uygulama verilmektedir.

-2	-2	-4	-2	-2	-1	-2	-3	-4	-4	-3
-5	-4	-6	-3	-2	-2	-3	-2	-4	-5	-5
-6	-5	-7	6	13	-2	-5	-4	-7	-4	-6
-6	-6	-8	-8	17	8	5	-6	-8	-9	-7
-7	-7	-8	-8	6	21	5	-8	-8	-9	-7
-7	-9	-9	-8	-5	22	-8	-8	-8	-9	-8
-8	-9	-9	-9	-8	10	-9	-9	-9	-9	-9

Şekil 2.3 Dinamik programlama tekniğinde blokların net değerlerini gösteren kesit (Kahriman, 1993)

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

Şekil 2.4 Dinamik programlama tekniğinde optimum açık işletme sınırı (Kahriman, 1993)

	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>
<b>1</b>	-2	-2	-4	-2	-2	-1	-2	2	-1	13	10
<b>2</b>	-7	-8	-12	-9	-6	-3	5	3	17	8	5
<b>3</b>	0	-18	-25	-11	0	10	8	25	16	4	-6
<b>4</b>	-19	-30	-43	-32	15	18	34	31	8	-6	-17
<b>5</b>	-26	-43	-63	-58	0	39	46	23	0	-23	-34
<b>6</b>	-33	-59	-85	-86	-31	46	38	15	-16	-40	-59
<b>7</b>	-41	-75	-110	-117	-67	25	29	-2	-33	-65	-85

Şekil 2.5 Dinamik programlama tekniğinde optimum açık işletme sınırı (Kahriman, 1993)

### 2.2.2 Hareketli Koni Tekniği

Nihai işletme sınırlarının belirlenmesinde çok kullanılan yöntemlerdendir; bunun nedeni geçmişte uygulanan bazı prensiplere benzemesi ve anlaşılmasının kolay olmasıdır. Değişik uygulama Őekilleri olmakla beraber tekniğin esası, cevherin koniler içerisindeki hareketini simule etmektir. Yöntemin prensibi; dip Şeklinde ve yan duvarların eğimini belirterek, potansiyel maden işletmesi için bir materyal hacmi tasarlanır. Merkezleri tariflenen hacim içerisinde kalan bütün blokların değerleri toplanır. Eğer toplam değer sıfırdan büyükse tasarlanan bu hacmi işletmeye dahil edilmektedir. İşlem pozitif değerli bir hacim türetme olanağı kalmayıncaya kadar devam ettirilir.

Topografik durum, açık işletme genel Şev açısı ve damar eğimleri, yataklanma geometrisi, Maliyetler, işletme giderleri ve operasyonel giderler, işletme verimi, metal kazanma verimi, cevher satış fiyatı, limit tenör değerleri gibi değerler saptandıktan sonra mineralizasyon envanterini meydana getiren limit tenörünün üzerindeki her bloğun satış sonucu elde edilecek gelirden maliyetleri çıkararak (dekapaj maliyeti hariç) net değerleri hesaplanır. Steril bloklar ise dekapaj maliyetine eşit negatif bir net değerle ifade edilir.

İşlemin ilk aşamasında en üst seviyedeki pozitif net değerli bloklar gözönüne alınarak topoğrafya tespit edilir. Ardından bunu takip eden diğer alt seviyelerde her pozitif değerli bloğun etrafında istenilen eğimde koniler oluşturulur. Bu koniler hareket ettirilerek hareket konileri oluşturulmakta ve bu hareket konileri içindeki her bloğun net değerleri hesaplanmak koşuluyla pozitifliği araştırılır. Hareketli koni yönteminin başlıca avantajları, kolay olması, işletme eğimlerini hesaba katmanın mümkün olması ve farklı blok boyutlarının problem oluşturmamasıdır. Dezavantajı ise her zaman ve koşulda optimum sonuca gtrmemesidir.

#### Algoritma adımları

- I. Koni, kesitin üst sıra ( $i=1$ ) blokları boyunca soldan sağa doğru kaydırılır. Eğer pozitif blok varsa bu çıkarılır.

- II. İkinci sıraya geçilir, soldan başlayarak pozitif ilk blok araştırılır. Eğer koni içine giren bütün blokların toplamı pozitif ise bloklar işletilmiş-işletilecek olarak düşünülür ve çıkartılır.
- III. Bu işlem sağdan sola ve yukarıdan aşağıya blok kalmayınca dek kesitte tüm pozitif bloklar çıkartılarak işlem sürdürülür. Daha sonra bloğun üst kenarına geri gidilip ikinci iterasyon için işlem tekrar edilir. Eğer verilen bir iterasyonda işletilecek pozitif blok bulunmazsa işlem durdurulur.
- IV. İşletilen alanın karlılığının hesaplanması için çıkartılan blokların değerleri hesaplanarak toplanır.
- V. Nihai örtü kazı oranı pozitif blok sayısının negatif blok sayısına bölümüyle hesaplanır.

Aşağıdaki örnekte, iki boyutlu hareketli koni yöntemine göre açık işletme nihai sınırının saptanmasını gösteren sayısal bir uygulama verilmektedir.

*Başlangıç blok modeli*

-1	-1	-1	-1	-1	+1	-1
	-2	-2	+4	-2	-2	
		+7	+1	-3		

*Adım 1* : üst sıra  $i=1$  blokları boyunca soldan sağa doğru kaydırılır, pozitif blok çıkarılır.

-1	-1	-1	-1	-1	+1	-1
	-2	-2	+4	-2	-2	
		+7	+1	-3		

*Adım 2* :  $i=2$  blokları boyunca soldan başlayarak pozitif ilk blok araştırılır. Eğer koni içine giren bütün blokların toplamı pozitif ise bloklar çıkartılır. Koni değer toplamı=  
+1

-1	-1	-1	-1	-1	+1	-1
	-2	-2	+4	-2	-2	
		+7	+1	-3		

*Adım 3* :  $i=3$  blokları boyunca soldan başlayarak pozitif ilk blok araştırılır. Eğer koni içine giren bütün blokların toplamı pozitif ise bloklar çıkartılır. Koni değer toplamı=  
+3

-1	-1	-1	-1	-1	+1	-1
	-2	-2	+4	-2	-2	
		+7	+1	-3		

*Çözüm :*

-1	-1	-1	-1	-1	+1	-1
	-2	-2	+4	-2	-2	
		+7	+1	-3		

Benzer bir örnekte de, iki boyutlu hareketli koni tekniğine göre açık işletme nihai sınırının saptanmasına yönelik bir uygulama verilmektedir.

*Başlangıç blok modeli*

-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
-2	-1	-1	-1	-1	-1	-2
-3	-3	+6	-2	+7	-3	-3

*Adım 1 :* üst sıra  $i=1$  blokları boyunca soldan sağa doğru kaydırılır, pozitif blok araştırılır.

-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1

*Adım 2 :*  $i=2$  blokları boyunca soldan başlayarak pozitif ilk blok araştırılır. Eğer koni içine giren bütün blokların toplamı pozitif ise bloklar çıkartılır.

-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
-2	-1	-1	-1	-1	-1	-2

*Adım 3 :*  $i=3$  blokları boyunca soldan başlayarak pozitif ilk blok araştırılır. Koni içine giren bütün blokların toplamı bulunur. Koni değer toplamı= -2

-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
-2	-1	-1	-1	-1	-1	-2
-3	-3	+6	-2	+7	-3	-3

Daha sonraki pozitif blok araştırılır. Eğer varsa hareket konisi içine giren bütün blokların toplamı bulunur. Koni değer toplamı= -1

-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
-2	-1	-1	-1	-1	-1	-2
-3	-3	+6	-2	+7	-3	-3



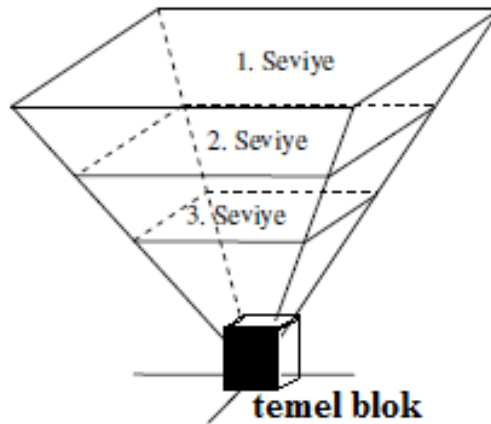
Çözüm :

Hareket konisi içine giren bütün blokların toplamı bulunur. Koni değer toplamı= +1

-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
-2	-1	-1	-1	-1	-1	-2
-3	-3	+6	-2	+7	-3	-3

### 2.2.3 Düzeltilmiş Korobov Algoritması

1974 yılında Rus matematikçisi tarafından geliştirilen bu yöntem, daha sonra optimum sonuçtan büyük sapmalar meydana getirdiği gözlemlendikten sonra fazla kullanım olanağı bulmamıştır (Korobov, 1974). Yöntem her türlü şev açısında çalışmakta ve hızlı sonuç üretebilmektedir. Yöntem, bloklara ayrılmış bir cevher yatağında yüzeyden başlayarak tüm pozitif ekonomik değere sahip bloklardan istenilen yöndeki şev açısı uygulanarak yüzeye ulaşmaya kadar bir ters koni oluşturulmasıdır. Bu koni içerisindeki tüm bloklar, incelenen bir bloğa ulaşılması için kaldırmak zorunluluğu olan bloklardır. Şekil 2.6'da üç boyutlu örnekte görüleceği üzere tabandaki herhangi bir bloktan yüzeye doğru alınacak blokları belirleyen şev açısı istenilen yönde oluşturulabilir.

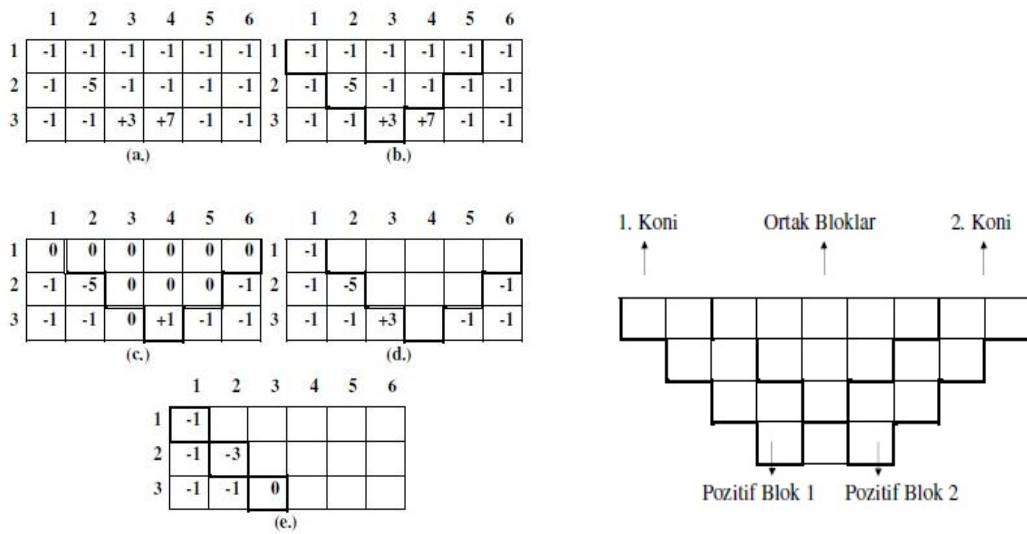


Şekil 2.6 Üç boyutlu araştırma konisi (Onur, 1995)

Oluşturulan koniler içerisindeki bloklara pozitif bloklar tarafından ödeme yapılır. Ödeme işlemi sonunda pozitif bloğun (ekonomik değere sahip blok) değeri ödeme miktarı kadar azalır, ödenen blok değeri 0 olarak değişir. Eğer araştırma konisi

içerisindeki tüm negatif blok değerlerine ödemeler yapıldıktan sonra, temel blok pozitif olarak kalabiliyor ise bu temel blok ile araştırma konisi üzerindeki tüm bloklar araştırmadan çıkarılır.

Algoritma en üstteki bloklardan, çıkartılan bloklar olmadan araştırmaya devam eder. Araştırma, bölgede pozitif blokların tümü kaldırılıncaya kadar devam eder. Her defasında pozitif bir değer ekleneceği için en son nihai sınır maksimum karı vermektedir (Onur, 1995). Ancak bazı özel durumlarda hata yapabilmektedir. Şekil 2.7.a., b, c, d, e' de verilen örnekte hatanın nedenleri verilmektedir.



Şekil 2.7 Üç boyutlu araştırma konisi ve hata kaynakları(Onur, 1995)

### 2.2.4 Üç Boyutlu Dinamik Programlama Tekniği

Üç boyutlu dinamik programlama tekniği, ilk olarak Lerchs ve Grossmann (1965) tarafından geliştirilen iki boyutlu dinamik programlama algoritmasına dayanarak Johnson ve Sharp tarafından 1971 yılında geliştirilmiştir. İki boyutlu tekniğin başlıca sakıncası olan ve eleştirilen rötuşlama işlemini elimine etmekte ve doğrudan doğruya üç boyutlu optimum sonucu vermektedir. Ancak Johnson ve Sharp algoritmasının bulunduğu sınırlarda uyumsuzluklar olabilmektedir. Bu nedenle bilgisayar teknolojisindeki gelişmelere paralel olarak önemli çalışmalar yapılmıştır. Koenigsberg (1982), Wilke ve Wright (1987) tarafından yeni dinamik programlama algoritmaları geliştirilmiştir. Üç boyutlu teknik, ilk olarak bir enine kesitteki optimum blok konturlarını oluşturmak ve blokların optimum kesit konturlarının

oluşturduğu boyuna kesitteki optimum blok konturlarını elde etmek üzere iki boyutlu hesap işleminin tekrar edilmesi şeklinde uygulanır (Yalçın, 1991).

Aşağıda yöntemin uygulamasında kullanılan algoritma aşamaları verilmektedir.

1. *Adım:* Her enine kesit için, sıra ile işletmenin birinci seviyesinde, ikinci seviyesinde ve daha sonraki seviyelerinde ulaşılabilecek olan optimum konturlar hesap edilir. Sonuçta bir kesitteki her seviye için  $S_{ik}$  ile ifade edilen optimum bir değer elde edilmektedir.

2. *Adım:* İlk aşamada elde edilen bu  $S_{ik}$  değerlerinin matrisi oluşturulur(boyuna kesit).

3. *Adım:*  $S_{ik}$  değerleri ile oluşturulan bu matrise, enine kesitlerde olduğu gibi, iki boyutlu dinamik hesap işlemi uygulanarak matris üzerindeki, yani boyuna kesit üzerindeki optimum elde edilir. Bu konturun sınır noktalarında bulunan bloklar, nihai açık işletme sınırlarını tayin edecek olan enine kesitlerin sınır bloklarını temsil etmektedir. Birinci aşamada belirlenen  $S_{ik}$  değerleri, bir enine kesitte, verilen bir  $I$  seviyesine kadar olan blokları işletmekle elde edilebilecek mümkün maksimum değerlerdir.  $S_{ik}$  değerleri, iki boyutlu hesaplama tekniğini enine kesitlere uygulamak ve bu kesitleri,  $i$  seviyesinde en azından bir blok ihtiva etmeye zorlamakla elde edilmiştir.

Örneğin  $X$  tane enine kesitle şematize edebilecek bir yatağı ele alalım. Birinci aşamada ana hatları yukarıda belirtildiği gibi, bu kesitlerden herbiri için  $S_{ik}$  değerleri hesap edilmiştir. Bu değerler hesaplandıktan sonra ikinci işlem bunların matrisini, yani boyuna kesiti düzenlemektir. Bu matrise iki boyutlu dinamik hesaplama tekniğini uygulayarak boyuna kesit üzerindeki optimum kontur bulunmaktadır.

Üç-boyutlu dinamik programlama tekniği, aşağıda verilen örnek üzerinde anlatılmaya çalışılmaktadır. Örnekteki cevher yatağı yedi kesitten meydana gelmektedir. Her kesit üzerinde sekiz sütun ve dört kat bulunmaktadır. Kesit üzerinde

0 net değere sahip bloklar, değeri olmayan yüzey üstündeki yani atmosferde yer alan bloklardır. Cevher yatağından alınan kesitler ve blok net değerleri aşağıda gösterilmektedir.

$j=1,\dots,8$

-6	-6	-4	0	0	0	0	0	$i=1,\dots,4$
-6	-6	-6	-4	5	-2	0	0	
-6	-6	-6	-6	8	-4	-5	-3	<i>Kesit 1</i>
-6	-6	-6	-6	8	-1	-3	-5	

-6	-6	-5	-2	1	0	0	0	
-6	-6	-6	-4	8	-1	0	0	
-6	-6	-6	-3	8	-2	-5	-3	<i>Kesit 2</i>
-6	-6	-6	-3	8	2	-6	-6	

-6	-6	-1	1	0	0	0	0	
-6	-6	-2	8	5	2	-3	0	
-6	-6	-5	6	8	-2	-6	-5	<i>Kesit 3</i>
-6	-6	-6	5	8	-2	-6	-6	

-6	-6	2	6	3	1	0	0	
-6	-6	1	8	8	5	-4	-3	
-6	-6	-1	8	8	6	-6	-6	<i>Kesit 4</i>
-6	-6	-5	7	8	7	-6	-6	

-6	-6	-6	7	7	0	0	0	
-6	-6	-6	6	8	1	-3	0	
-6	-6	-6	5	8	1	-5	-4	<i>Kesit 5</i>
-6	-6	-6	4	8	2	-6	-6	

-6	-6	-6	3	3	0	0	0	
-6	-6	-6	2	8	-1	-2	-1	
-6	-6	-6	1	8	1	-5	-3	<i>Kesit 6</i>
-6	-6	-6	-1	6	-2	-6	-6	

-6	-6	-6	-4	-1	-2	-2	-2	
-6	-6	-6	-5	5	-2	-3	-2	<i>Kesit 7</i>
-6	-6	-6	-6	5	-4	-5	-6	
-6	-6	-6	-6	3	-6	-6	-6	

Aşağıda 1. kesitin her katı için bulunmuş olan optimum sınırlar ve elde edilen toplam net değerler  $S_{i,k}$  verilmektedir.

Kesit 1 ..... $k = 1, \dots, 8$

$i = 1$  ,  $S_{1,1} = 0$

-6	-6	-4	0	0	0	0	0

$i = 2$  ,  $S_{2,1} = 5$

-6	-6	-4	0	0	0	0	0
-6	-6	-6	-4	5	-2	0	0

$i = 3$  ,  $S_{3,1} = 3$

-6	-6	-4	0	0	0	0	0
-6	-6	-6	-4	5	-2	0	0
-6	-6	-6	-6	8	-4	-5	-3

$i = 4$  ,  $S_{4,1} = -7$

-6	-6	-4	0	0	0	0	0
-6	-6	-6	-4	5	-2	0	0
-6	-6	-6	-6	8	-4	-5	-3
-6	-6	-6	-6	8	-1	-3	-5

Her kesitten elde edilen  $S_{i,k}$  değerleri sütunlar halinde yan yana getirildiğinde, iki boyutlu bir matris elde edilir. Bu matris, cevher yatağının uzunlamasına kesitini temsil etmektedir.

Optimum uzunlamasına kesit aşağıdaki şekilde elde edilmektedir.

$k = 1, \dots, 7$

$i = 1, \dots, 4$

0	1	1	12	14	6	-1
5	7	15	33	23	14	-2
3	5	23	46	31	17	-12
-7	0	24	54	30	11	-36

Bundan sonraki aşama ise uzunlamasına kesit üzerinde optimum nihai açık işletme sınırlarının bulunmasıdır. Uzunlamasına kesit için bulunan sınır blokları, (i,k) k kesitinin i katı için bulunan optimum sınırı ifade etmektedir. her kesite karşılık gelen enine kesit sınır konturları yan yana getirilerek cevher yatağı için optimum nihai açık işletme sınırları bulunur. Cevher yatağından elde edilen toplam net kar ise 133 olarak hesaplanmıştır.

0	1	1	12	14	6	-1
5	7	15	33	23	14	-2
3	5	23	46	31	17	-12
-7	0	24	54	30	11	-36

*Uzunlamasına kesit sınır blokları (i,k)*

$j=1,\dots,8$

$i=2, k=1$

(2,1)

			0	0	0		
				5			

$i=2, k=2$

(2,2)

			-2	1	0		
				8			

$i=3, k=3$

(3,3)

		-1	1	0	0	0	
			8	5	2		
				8			

$i=4, k=4$

(4,4)

	-6	2	6	3	1	0	0
		1	8	8	5	-4	
			8	8	6		
				8			

$i=3, k=5$

(3,5)

		-6	7	7	0	0	
			6	8	1		
				8			

$i=2, k=6$

(2,6)

			3	3	0		
				8			

$i=1, k=7$

(1,7)

				-1			

Tekniğin avantajları, esnek, anlaşılmasının ve uygulanmasının kolay olması ve sistematik bir şekilde optimum çözüm sunmasıdır. Dezavantajı ise bazı durumlarda pratikte kolayca uygulanmayacak bir çözüm elde edebilmesidir.

### **2.2.5 Wilke-Wright Üç Boyutlu Dinamik Programlama Algoritması**

Koenigsberg'in algoritmasında yapılması gereken düzeltmeler sırasında optimum nihai sınırdan uzaklaşıldığını belirten Wright bu problemi ortadan kaldırmak için

yeni bir algoritma geliştirmiştir. Bu algoritmada, bütün blokları kapsayan ve bu bloklar üzerinde oluşturulan hareketli koniler şeklindeki 3 boyutlu artırımlar kullanılmaktadır (Yalçın,1991). Wright'ın algoritmasında, her blok için ocak net değeri olan  $P_{i,j,k}$  'nın hesaplanması için yeni bir eşitlik geliştirmiştir. Bununla beraber, 2 boyutlu dinamik programla algoritmasına bu algoritmada sadık kalınmıştır. Blok  $b_{i,j,k}$  için  $P_{i,j,k}$  ocak net değeri, blok  $b_{i,j,k}$  ile üzerindeki konide yer alan bloklardan ve blok  $b_{i,j,k}$  ile uyum sağlayan komşu sınırlardan en iyi net değere sahip olanı ile hesaplanmaktadır.  $P_{i,j,k}$  hesaplamaları sırasında bir bloğa ait net değer, hesaplamaya birden fazla katılmalıdır. Bu nedenle, hem  $C_{i,j,k}$  hareketli konisi içinde hem de komşu açık ocak sınırlarının net değerleri olan  $P_{i-1,j-1,k}$  ,  $P_{i,j-1,k}$  ve  $P_{i+1,j-1,k}$  içinde yer alan bütün  $m_{i,j,k}$  blok net değerleri  $P_{i,j,k}$  değerinden çıkarılmalıdır. Bu işlemi yapabilmek için aşağıdaki eşitlik geliştirilmiştir.

$$P_{i,j,k} = C_{i,j,k} + \max \left\{ \begin{array}{l} IP_{i-1} - IM_{i-1} \\ IP_i - IM_i \\ IP_{i+1} - IM_{i+1} \end{array} \right\}$$

Burada;

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

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

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

IML :  $P_{L,j-1,k} \cap C_{i,j,k}$  , blok  $b_{L,j-1,k}$  üzerindeki ocak sınırı ile  $b_{i,j,k}$  üzerindeki koninin keşişim bölgesinde yer alan blokların net değerinin toplamı,  $L= i-1, i, i+1$  ,

$L= i+1$  olduğunda  $P_{i+1,j-1,k} \cap C_{i,j,k} = C_{i,j,k}$  'dir.

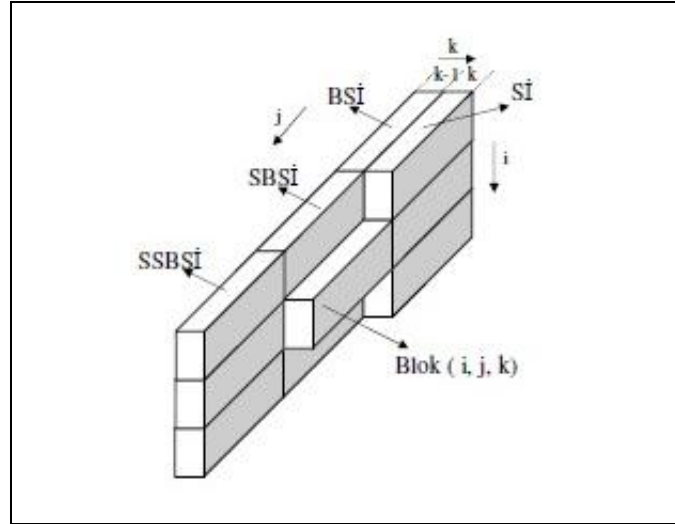
Bu durumda eşitlik aşağıdaki gibi düzenlenebilir.

$$P_{i,j,k} = C_{i,j,k} + \max \left\{ \begin{array}{l} IP_{i-1} - IM_{i-1} \\ IP_i - IM_i \\ IP_{i+1} - C_{i,j,k} \end{array} \right\}$$

### 2.2.6 Koenigsberg'in  Boyutlu Dinamik Programlama Algoritması

 Boyutlu dinamik programlama tekniği ile bulunan optimum nihai sınır üzerinde elle düzeltme yapmayı ortadan kaldırmak için, Koenigsberg (1982) tarafından yeni bir algoritma geliştirilmiştir. İki boyutlu dinamik programlama

algoritmasında bir bloktan diğerine geçilirken, bir önceki sütunda bulunan üç adet komşu blok göz önüne alınırken, Koenigsberg tarafından geliştirilen algorithmada dört adet komşu sütunda yer alan komşu bloklar (Şekil 2.8) göz önüne alınmaktadır.



Şekil 2.8 Koenigsberg üç boyutlu blok tanımlaması

Blok  $b(i, j, k)$  ye komşu olan dört sütunu göstermek için S (Side = Yan, kenar) ve B (Back = Arka) notasyonları kullanılmıştır.

$(j-1, k)$  sütununda  $S_i=i$ 'nin yanısı;

$(j-1, k-1)$  sütununda  $BS_i=i$ 'nin yanının arkası;

$(j, k-1)$  sütununda  $SBS_i=i$ 'nin yanının arkasının yanısı;

$(j+1, k-1)$  sütununda  $SSBS_i=i$ 'nin yanının arkasının yanının yanısı olmak üzere tanımlanmaktadır.

### 2.2.7 Yöntemlerin Karşılaştırılması

Hangi koşullarda hangi tekniğin kullanılacağı, maden planlaması ile uğraşan mühendisler için en önemli çözüm bekleyen konulardandır. Genellikle planlama, mühendis tarafından en iyi anlaşılabilir teknikle yapıldığından optimal çözüme ulaşım ulaşamadığı ise belirsizdir. Günümüzde kullanılan açık işletme nihai sınırın belirlenmesine yönelik kullanılan bilgisayar yazılımları genellikle iki grup olarak ele alınmaktadır. İlk grup, matematiksel olarak doğruluğu kanıtlanmış yöntemler olup Lerchs-Grosmann, 1965 yılına dayanan graf teorisi, dinamik programlama ve ağ



akışları yaygın olarak kullanılan yöntemlerdir. İkinci grup sonucu daha kısa zamanda veren fakat sonuçtan fedakarlık eden hareketli koni, Korobov algoritmaları yöntemlerdir. İstenilen şev açılarını sağlayabilme ve algoritma mantıklarının kolay olması genellikle ikinci grup yöntemlerin yazılımcılar tarafından tercih edilmesini sağlamıştır.

Hareketli koni yöntemi, graf tekniği ve network akım tekniği iyi uygulandıkları takdirde yaklaşık olarak aynı sonuçları veren modellerdir. Zira her üç yöntem de belirli hacimlerin işletilmesi sonucu elde edilecek karlılığı değerlendirmektedir. Aralarındaki fark ise bu hacimlerin nasıl tanımlandıkları ve işletilen bu hacimler içerisindeki değerlerin nasıl toplandığıdır. İki boyutlu dinamik programlama tekniği, doğrudan doğruya üç boyutlu bir optimizasyona olanak vermemekte iken üç boyutlu dinamik programlama ile blok ve cevher dağılımına bağlı olarak daha kısa bir sürede üç boyutlu bir optimizasyona gitmek mümkündür. Dinamik programlama tekniklerinde, diğer tekniklerden farklı olarak hacimler veya başka bir ifade ile koniler içerisindeki değerler yerine düzlemler içerisindeki değerler toplanmakta ve blok boyutlarını değiştirerek farklı işletme eğimleri elde etmek daha kolay olmaktadır.

Graf tekniği ve network akım tekniği birçok halde gerçek optimum sınırları vermekle beraber oldukça masraflı olmaktadır.

Hareketli koni yöntemi, ancak bütün alternatifler gözönüne alındığı takdirde gerçek optimum sınırı verebilmekte, böyle bir durum ise gerektirdiği zaman bakımından pratikte hiçbir şekilde mümkün olmamaktadır. Korobov algoritması, her türlü şev açısında hızlı sonuçlar üretmesine karşın daha sonraki yıllarda oluşan gözlemler sonucunda optimum sonuçtan büyük sapmalar göstermesi nedeniyle kullanım olanağı olmamıştır.

Düzeltilmiş Korobov algoritması ile mevcut programların en büyük dezavantajı olan istenilen yönde şev açısı uygulama olanağı sağlamıştır. Bir matematiksel denklemlerle ifade edilebilen koni ile istenilen her yönde hatta değişik seviyelerde

farklı formasyonlardaki şev açısı değişimini sağlamak mümkündür. Üretilen sonuçlar basamak eşyükselti haritaları, düşey kesit ve sayısal değerler olarak verilmektedir. İstenilen veriler ile program çalışarak farklı durumlara üretilebilecek cevher miktarı, dekapaj oranları kısa süre içinde elde edilebilmektedir. Ayrıca bölgede bulunan üretim esnasında karşılaşılabilecek zorluklar (sert formasyon, artan su vb.) kazı maliyetini arttırma yönünde programa yansıtılabilir (Onur, 1995).

Lerchs-Grossmann dinamik programlama metodu, iki boyutlu programlama tekniği olarak basit ve gerçeğe yakın sonuçlar üretmesinin yanısıra üç boyutlu optimum sınırlara da geçme olanağı sağlaması sistemin daha çok kullanımını sağlamıştır. Bu metot ile açık işletme nihai sınırı maksimum net karı verecek şekilde dik kesitler üzerinde bulunur. Bu metodun tercih sebeplerinden birisi, deneme yanılma yolu ile nihai sınır belirlememeyi ortadan kaldırması diğeri de bilgisayar kullanımı için daha uygun olmasıdır. Açık işletme sınırı dik kesitler üzerinde belirlenir, kesit üzerinde belirlenen sınırlar plan ve haritalara geçirilerek elle revize edilip kontrol edilmelidir. Kesitlerdeki nihai sınırlar optimum olduğu halde kesitlerin birleştirilmesi sonucu oluşturulan düzeltilmiş nihai sınırlar optimum olmayabilir (Saydam, 2000). İki boyutlu dinamik programlama tekniği, üç boyutlu bir optimizasyona geçebilmek için kesitler arasında bir uyuşma sağlamak amacıyla detaylı rotüş çalışmaları yapmak gerekmektedir. Fakat ön değerlendirme çalışmalarında sağladığı kolaylık ve kısa zamanda yeterli derecede doğru çözüm sunmaktadır.

Üç boyutlu dinamik programlama, diğer üç boyutlu tekniklere nazaran çok daha az zaman alması ve gerçek optimuma oldukça yakın sonuçlar vermesi pratikte bir çok durumda kullanılmasını sağlamaktadır. Yapılan çalışma ve mühendislik deneyimleri bu teknikle elde edilen toplam işletilebilir rezerv veya nihai optimum işletme sınırları gibi sonuçların gerçek değerlerden % 10'dan daha fazla farklı olmadığını, bu farkın büyük bir kısmının da steril malzemedan kaynaklandığı ve işlem sonunda elde edilen rezerve %10 oranında steril malzeme ekleyerek gerçek değerlere son derece yakın neticeler elde edilebileceğini göstermektedir.

Sonuç olarak; basit, az zaman alan ve yeterli derecede doğru neticeler veren bir teknik mevcut iken bir cevher yatağının ön değerlendirme etüdlerinde bütün zorlukları göze alarak karmaşık bir teknik kullanmanın akıllıca bir iş olmayacağı açıktır. Örneğin, ilk arama faaliyetleri tamamlandıktan sonra arama çalışmalarına devam etmek mi yoksa proje çalışmalarına mı geçmek gerektiği bilinmek istendiğinde dinamik programlama teknikleri yeterli olmakta ve böylece zaman ve para kaybı oluşmadan problem çözülebilmektedir. Eğer bu yaklaşım sonucu ekonomik bir yatak elde edilemiyorsa daha ileri gitmeye yani daha karmaşık modelleri uygulamaya gerek olmadığı ve bu noktada durmak gerektiği anlaşılmalıdır. Zira, iki boyutlu dinamik programlama tekniği en az kısıtlı olan problemleri çözümlenebilmekte, üç boyutlu dinamik programlama tekniği daha çok kısıtlı problemleri çözümlenmektedir. Dinamik programlama tekniklerinin ekonomik sonuçlar verdiği hallerde ve değerlendirme çalışmalarının daha ileri aşamalarında ise daha ayrıntılı sonuçlar elde etmek ve her türlü kısıtlayıcı etkeni işin içine sokmak amacıyla daha karmaşık modellere başvurulmakta ya daha fazla veri elde etme gereksinimi oluşmakta yada olanaklar çerçevesinde iki veya daha fazla teknik kullanarak çoklu bir yaklaşım düşünülmektedir.

Son yıllarda, genellikle açık işletme sınırlarının optimizasyonunda Lerch-Grosmann algoritmasının kullanıldığı ve yıllık bazda en iyi planlama ve üretim terminin, Whittle 4-X yazılım programı kullanılarak belirli bir işletme ömrü ve sabit bir indigenme oranında türetildiği belirtilmektedir (H.Askari-Nasab, vd., 2008).

### **2.3 Makina-Ekipman Seçim ve Verimliliğine Etki Eden Faktörler**

Günümüz madenciliğinde artan rekabet koşulları ve çoğu zaman giderek azalan rezerv ve kalite parametreleri (tenör, kalori, ppm vb.) işletmelerde birim maliyetlerin düşürülmesini ve işletme içi operasyon verimlerinin yükseltilmesini gerekli kılmaktadır. Bu bağlamda işletme parametre ve giderleri, operasyonlar ve makina-ekipmanların teknik ve ekonomik anlamda optimize edilmesi, yeniden yorumlanıp uygulanması madencilik realitesidir.

Açık işletmeler için giderlerin önemli bölümünü oluşturan kazı ve malzeme nakliyesi bu değişimden oldukça yoğun etkilenmekte olup işletmenin rantabilitesini belirlemektedir. Bu nedenle işletmelerde örtü-kazı yöntemleri ve nakliye sistemleri için seçilecek makina-ekipmanların verimliliği, kullanım oranları ve performans değerleri giderler ve işletme açısından direkt önem kazanmaktadır. Artan rekabet ve sermaye darlığı, makina-ekipman seçimi kadar bu makina-ekipmanların, ekskavatör ve kamyon filosunun daha verimli ve ekonomik şekilde optimum işletme koşullarında çalıştırılması ve kontrol edilmesini zorunlu hale getirmektedir.

Makina-ekipman verimi, kesinlikle açık işletme madenciliği için bir işletmenin ekonomik değerlendirmesini etkileyebilen, ocak tasarımı ve üretim planlamasında en önemli etkenlerden biridir. Tüm planlama prosesinin temel unsuru maliyet tahminidir ve gerçekte esas amaç belirlenmiş maliyet değerini en aza indiren makina-ekipman seçimini yapmaktır (Lizotte, 1988). Ayrıca ekipman seçimi kompleks, çok kriterli karar verme işlemidir. Bu yüzden belirlenen maliyet değerlerine gerçekte yakın sonuçlar için makinaların belirli verimlilikte ve kapasitenin altında çalıştırılmaması gerekmektedir.

Makina verimliliğine etki eden parametreler, makina-ekipman seçimi prosesi; işletme koşulları ve makina-ekipman teknik özelliklerini içeren çok sayıda parametreyi kapsamaktadır. Bu kriterler; üretim kapasitesi ve miktarı, işletme verimliliği, işyeri organizasyon faktörü, kabarma faktörü, kepçe-kamyon dolum faktörü, periyod (çevrim) süresidir.

Üretim Kapasitesi, toplam üretim gereksinimi, madenin dışındaki çok sayıda dış faktörlerden etkilenebilir. Bu faktörler, satış projeksiyonlarını, satış kısıtlamalarını, mevcut rezerv miktarını ve diğer işlemleri içermektedir. Yönetim tüm bu faktörleri gözönüne alarak, toplam mineral miktarı için bir karar vermelidir. Üretim gereksinimleri genellikle yıllık tespit edilir ve günlük, saatlik üretim gereksinimlerine dönüştürülür. Üretim miktarı, periyod süresi ve kapasite arasındaki ilişki birim zamanda yapılan iş hacmi yada tonajı olarak tanımlandığından periyod süreleri ve verimlilik faktörleri için öngörüler, gerçekçi yapıldığında kapasitenin hesaplanması daha doğru yapılmış olacaktır.

### 2.3.1 Makina-Ekipman Seçimi

Açık işletmeler için giderlerin önemli bölümünü oluşturan kazı ve malzeme nakliyesi bu değişimden oldukça yoğun etkilenmekte olup işletmenin rantabilitesini belirlemektedir. Bu nedenle işletmelerde örtü-kazı yöntemleri ve nakliye sistemleri için seçilecek makina-ekipmanların uygunluğu, seçimi ve farklı kombinasyonlar direkt önem kazanmaktadır. Açık işletme madenciliğinde makina-ekipman seçimi oldukça önemli ve zor bir procestir. Bu seçim aşamasında gözönünde bulundurulması gereken kriterler 5 grupta listelenebilir. Bunlar; kazılabilirlik, üretim parametreleri, işletme parametreleri, malzeme özellikleri, makina-ekipman özellikleri, birim maliyet değerleridir.

### 2.3.2 Makina-Ekipman Seçim Parametreleri

Kazılabilirlik; Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu bünyesinde açık işletmelerde yapılmış kazılabilirlik çalışmalarına dayanan bu Kazılabilirlik Sınıflama Sisteminde; kaya maddesi ve kaya kütlesi özelliklerini temsilen tek eksenli basınç dayanımı, süreksizlik özellikleri, sismik-P dalga hızı, ayrışma derecesi ve sertlik parametreleri kullanılmaktadır. Arazide kazı makinalarında yapılan fiili kazı zorluğu gözlemleri de esas alınarak bu parametreler için beş ayrı sınıfta ağırlıklı puanlar (Tablo 2.1) atanmakta ve daha sonra bu parametrelerden elde edilen birleştirilmiş toplam puanlara göre kazı zorluğu/kolaylığı sınıfları belirlenmektedir (Tablo 2.2).

Tablo 2.1 Kazılabilirlik parametreleri ve puanlama sistemi (Paşamehmetoğlu, 1988)

Parametre	Sınıf 1 Kolay	Sınıf 2 Orta	Sınıf 3 Orta-Zor	Sınıf 4 Zor	Sınıf 5 Çok Zor
Tek Eksenli Basınç Dayanımı (Mpa)	<5	5-20	20-40	40-110	>110
<i>Puan</i>	2	5	10	20	25
Ortalama Süreksizlik Aralığı (cm)	<30	30-60	60-120	120-200	>200
<i>Puan</i>	5	10	15	20	25
Sismik-P Dalga Hızı (m/sn)	<1600	1600-2000	2000-2500	2500-3000	>3000
<i>Puan</i>	5	10	15	20	25
Sertlik (Shore,SHV)	<20	20-30	30-45	45-55	>55
<i>Puan</i>	3	5	8	12	15
Ayrışma (Bozunma)	Tamamen	Yüksek	Orta	Az taze	Ayrışmış
<i>Puan</i>	0	3	6	10	10

Tablo 2.2 Kazılabilirlik sınıflandırması (Paşamehmetoğlu, 1988)

<b>Kazı Tanımı</b>	<b>Kazılabilirlik Puanı</b>	<b>Elektrikli ekskavatörle kazı</b>	<b>Hidrolik Ekskavatörle kazı</b>	<b>Riperlenebilme</b>	<b>Ortalama delme hızı m/dk</b>	<b>Özgül şarj gr/m<sup>3</sup></b>
Kolay	0-25	Doğrudan kazabilir	Doğrudan kazabilir	D7 dozer riperleyebilir	-	-
Orta	25-45	Patlatma gerekli	Patlatma gerekli	D8 veya D9 Dozeri	1.48	130-200
Orta-Zor	45-65	Patlatma gerekli	Patlatma gerekli	D9 veya D11	1.28	200-280
Zor	65-85	Patlatma gerekli	Patlatma gerekli	Patlatma gerekli	0.57	280-350
Çok zor	85-100	Patlatma gerekli	Patlatma gerekli	Patlatma gerekli	<0.42	>350

Üretim parametreleri; Yıllık üretim kapasitesi, ekonomik işletme ömrü, maden rezervi, dekapaj oranıdır.

İşletme parametreleri, basamak yüksekliği ve genişliği, nakliye mesafesi, yıllık çalışma süresi, işyeri verimi, operatör verimi, kazı derinliği, yol eğimi, yeraltı su seviyesi, iklim koşulları, yol ve çalışma zemin durumu vb'dir.

Malzeme özellikleri; malzeme özellikleri, sismik hız, kabarma faktörü, malzeme boyutları, kepçe dolum faktörü, yağın yoğunluğu, tek eksenli basınç dayanımı, içsel sürtünme açısı, kohezyon, elastisite modülü, patlatma ve fragmentasyon durumu, zemin basıncı vb.

Makina-ekipman özellikleri; makina motor gücü, kepçe hacmi, kamyon kasa hacmi, çalışma derinliği-yüksekliği, koparma kuvveti, çalışma eğimi, çalışma saati, kamyon hızı, yükleme periyodu, servis koşulları vb...

Birim Maliyet; amortisman, tamir-bakım giderleri, yakıt, yağ, lastik giderleri, yedek parça, elektrik vb'dir (Kırmanlı, Erçelebi, 2009).

İşletme verimi, tüm verimlilik ve diğer yönetim faktörleri düşünüldüğünde birim zamandaki gerçek üretim olarak tanımlanabilir. Bu terim net üretim oranı veya işçi ve zaman birimindeki(örneğin, ton/işçi-vardiya) üretim şeklinde de ifade edilebilir.

ÇALIŞMA YERİ FAKTÖRLERİ						
Üretim Miktarı	İşletme Şartları	Kazılabilirlik		Zeminin Fiziki Durumu	Malzemenin Cinsi ve Boyutu	Atmosferik şartlar
-Rezerv (Ocak Ömrü) -Cevherin kalitesi (Tenör, ısı değer, zeng. olanakları) -Talep Miktarı  -Finansman Olanakları -Maliyet	-Örtü Kalınlığı	Kayaç Özellikleri		Nem	Kabarma Fak.	Yağış Nem Sıcaklık Rüzgar Sis
	-Damar Kalınlığı (Ara kesme vb)	Fiziksel Özellikler	Mekanik Özellikler	Islaklık Aşınma Yükleme Şartları	Kepçe Dolma Fak. Netn, yapışma	
	-Kot Durumu (Alan, derinlik)	Sertlik, Kırılgenlik, Gevreklik, Aşındırıcılık	Çekme-Basma Dayanımı			
	-Nakliye Mesafesi	Su emme, Porozite	İçsel Sürtünme Açısı			
	-Yuvarlanma ve Meyil Direnci	Plastizite				
		Birim Hacim Ağır.				
EKİPMAN TEKNİK ÖZELLİKLERİ						
Ekipman Teknik Faktörleri		Kazıcı- Yükleyci		Taşıyıcı Ekipman Tipi		
Kazı yüksekliği, Boşaltma Yüksekliği, Çalışma Dengesi, Hareketlilik, Ağırık, Nakliye Mesafesi, Faydah Ömrü, Maliyet Karakteristikleri		Kazı yüksekliği, Çalışma Dengesi, Hareketlilik, Ağırık, Faydalı Ömür, Maliyet Karakteristikleri, Performans, Manevra Yeteneği, Gücü, Mekanik Mevcudiyet, Mekanik Verim, Uyuşma Faktörü, Kapasite, Kepçe Dolma Faktörü, Saykıl Süresi. Tipi: Hidrolik Shovel (yada ters kepçe), Elektrikli Shovel, Dragline, Loder, Skreyper. Kapital Yatırımı : Ekipman Yatırımı, İşletme Maliyeti		Çalışma Dengesi, Dump Yüksekliği, Hareketlilik, Ağırık, Faydalı Ömür, Nakliye Mesafesi, Maliyet Karakteristikleri, Performans, Manevra Yeteneği, Gücü, Mekanik Mevcudiyet, Mekanik Verim, Uyuşma Faktörü, Kapasite, Tipi: Altın Boşaltmalı Kamyon, Arkadan Boşaltmalı Kamyon, Elektrik/Mekanik Sürücülü, Skreyper, Buldozer, Loder, Bant Konveyör, Vagon Kapital Yatırımı: Ekipman Yatırımı, İşletme Maliyeti		
Çalışma Yeri Faktörleri			Ekipman Teknik Faktörleri			
<b>Maliyet Analizi</b> Sabit Maliyetler, İşletme Maliyeti, Atım Maliyeti, Yenileme Maliyeti vd.						
<b>Minimum Maliyet (TL/ton, TL/m<sup>3</sup>)</b>						

Şekil 2.9 Makina-ekipman seçimi akış diyagramı (Başçetin, A.,1999)

İşyeri organizasyon fFaktörü, çalışan makinalarda herhangi bir arıza kaybı olmadığı halde makinaların ocak şartları, iklim koşulları ve yönetimden kaynaklanan bekleme sürelerini ifade etmektedir (Eskikaya,1986). Bu bekleme zamanları, kamyon olmaması, makina çalışma zemininin temiz olmaması, çalışan personelin anlık ihtiyaçları, işbaşı yaparken zamanında işe başlanılmaması, çalışma sonunda işin erken bitirilmesi ve makina yer değiştirmelerinden kaynaklanmaktadır.

Kabarma faktörü, yerinde hacmin gevşetilmiş hacme oranıdır. Diğer bir anlatımla, anılan bu büyüklük, gevşek duruma gelen malzemedeki hacim artışı olarak ifade edilmektedir.

Kepçe dolm faktörü, kepçenin nominal kapasitesi ile fiili taşıdığı miktar arasındaki orandır. Makinanın kapasitesini etkileyen bu faktör, malzeme parça boyutuna, operatör becerisine, patlatma verimine ve formasyon özelliklerine bağlıdır (Tablo 2.3). Aynı formasyonda çalışan ekskavatörlerde kepçe hacmi büyüdükçe, kepçe dolm faktörü de büyümektedir. Kepçe kapasitesi aynı olan makinalarda malzeme parça boyutu 10 cm' den 50-60 cm' ye çıktığı zaman kepçe dolm faktörü

de % 100'den % 61'e düşmektedir, bu da makina kapasitesini % 35-40 kadar düşürmektedir (Taksuk ve Eraslan, 2000).

Tablo 2.3 Kazı zorluğuna göre kepçe dolum faktörleri

Kazı Sınıfı	Kepçe Dolum Faktörü (DF)
Kolay	DF > 0.95
Orta	0.95 > DF > 0.90
Orta-Zor	0.90 > DF > 0.80
Zor	0.80 > DF > 0.70
Çok Zor	DF < 0.70

Periyod (Çevrim) Süresi, bir makinanın periyod(çevrim) süresi başlıca iki elemandan oluşmaktadır. Bunlardan biri sabit, diğeri ise değişkendir. Bir dekapaj ekskavatörü için kazı, kepçeyi ileri itme ve geri çekme zamanları sabittir. Diğeri bir ifade ile her periyod için sabit bir şekilde önceden saptanmıştır. Ancak dönme süresi bazı durumlarda değişebilmekte ve böylece periyod süresinin değişken elamanını oluşturmaktadır (Eskikaya,1986).

Kepçe devir süresi, 90 derecelik dönüş için, bir kepçenin kazıya başlayıp doldurulup boşaltılarak yeni bir kazı periyoduna başlayıncaya kadar geçen zamanı tanımladığından kazı zorluğuna bağlı olarak kepçe hacimlerine göre değişen döngü süreleri önem kazanmaktadır. Karpuz vd. (1991) tarafından geliştirilip önerilen değerler Tablo 2.4'de verilmektedir.

Tablo 2.4 Yükleyici kepçe hacimleri için kazı zorluğuna göre çevrim süreleri (sn)

Kepçe hacmi yd <sup>3</sup> / m <sup>3</sup>	Kazı Şartları			
	Kolay	Orta	Orta-Zor	Zor kazı
4-3	18	23	28	32
5-4	20	25	29	33
6-5	21	26	30	34
7-5.5	21	26	30	34
8-6	22	27	31	35
10-8	23	28	32	36
12-9	24	29	32	37
15-11.5	26	30	33	38
20-15	27	32	35	40
25-19	29	34	37	42

-Kolay zorlukta kazı, gevşek, akan malzeme, kum, küçük çakıl vb.

-Orta zorlukta kazı, kısmen pekişmiş malzeme, killi çakıl, kil, antrasit vb.

-Orta-Zor zorlukta kazı, iyi parçalanmış kireçtaşı, çok ıslak kil, nispeten zayıf cevher, kaba parçalı çakıl vb.

-Zor zorlukta kazı, yüksek derecede patlatma gerektiren malzeme, granit, sert kireçtaşı, takonit vb.

Kamyon periyod süresi başlıca iki elamandan oluşmaktadır. Bunlardan biri sabit, diğeri ise değişkendir. Periyod süresinin sabit olduğu işlerdeki süre ekipman yapısı



ile ilgilidir. Bu sürenin değişebilir bileşenleri, mobil ekipman için seyahat süresiyle ve sabit ekipman için swing süresiyle ilişkilidir. Mobil ekipmanlar için seyahat süresi oldukça fazla değişkendir. Bu süre sadece taşıma mesafesine değil aynı zamanda taşıma güzergahının geometrisi ve makine-ekipman motor gücünün, toplam yol direncinin ve yükün bir fonksiyonu olan araç hızına da bağlıdır. Sabit ekipman bir bölgede yükler ve sonra ikinci bir bölgede boşaltmak için belli bir kaviste dönerek boşaltma işlemini (swing) gerçekleştirir. Makinanın yükleyebileceği ya da boşaltabileceği maksimum yatay mesafe o makinanın ulaşabileceği uzaklık olarak tanımlanır.

Özgül kazı enerjisi, birim hacimdeki kayacı kazmak için harcanan enerjidir. Ceylanoğlu (1994), özgül kazı enerjisine bağlı olarak kazı kolaylığını kolay, orta, orta-zor ve zor olmak üzere dört farklı grupta sınıflandırmıştır. Tablo 2.5'te, 10-25  $\text{yd}^3$  arasında değişen kepçe hacimleri karşılık gelen özgül kazı enerjileri verilmektedir.

Tablo 2.5 Özgül kazı enerjisine göre Kazılabilirlik sınıflaması (Ceylanoğlu,1994)

Kepçe Hacmi ( $\text{yd}^3$ )	Özgül Kazı Enerjisi ( $\text{kWh/m}^3$ )			
	Kazı Kolaylığı			
	Kolay	Orta	Orta-zor	Zor
10	0.235	0.236-0.300	0.301-0.390	0.391
15	0.210	0.211-0.275	0.276-0.345	0.346
20	0.185	0.186-0.250	0.251-0.315	0.316
25	0.155	0.156-0.220	0.221-0.290	0.291

Kısaca açık işletme madenciliğinde, basamak yüksekliği ve genişliği, nakliye mesafesi, yıllık çalışma süresi, işyeri verimi, operatör verimi, kazı derinliği, yol eğimi, yeraltı su seviyesi, iklim koşulları, yol ve çalışma zemin durumu vb. gibi işletme parametrelerinin, sismik hız, kabarma faktörü, malzeme boyutları, kepçe dolum faktörü, yığın yoğunluğu, tek eksenli basınç dayanımı, içsel sürtünme açısı, kohezyon, elastisite modülü, patlatma ve fragmentasyon durumu, zemin basıncı vb. gibi işlenen malzeme özellikleri, makina motor gücü, kepçe hacmi, kamyon kasa hacmi, çalışma derinliği-yüksekliği, koparma kuvveti, çalışma eğimi, çalışma saati, kamyon hızı, yükleme periyodu, servis koşulları vb...gibi makina-ekipman özelliklerinin oluşturacağı yatırım ve işletme giderleri değerlendirilerek (amortisman,

tamir-bakım giderleri, yakıt, yağ, lastik giderleri, yedek parça, elektrik vb.). birim üretim maliyet değerinin optimize edilmesi gerekmektedir (Kırmanlı, Erçelebi, 2009).

#### **2.4 Örtü-Kazı Yöntemlerinin Teknik ve Ekonomik Yönden Değerlendirilmesi**

Açık işletme madenciliğinde üretilen cevherin tenörünün genellikle düşük olması, endüstrinin ihtiyacını karşılayabilmek için yüksek üretim kapasitelerini gerektirmektedir. Bunun yanında, üretilen cevherin üzerindeki örtü kalınlığının, dolayısıyla kazılacak ve nakledilecek malzeme miktarının da fazla olması kazı, yükleme ve nakliye ekipmanlarının da büyük kapasitelere sahip olmalarını gerektirmektedir. Büyüyen kapasiteleri ile birlikte artan makina ve ekipman fiyatları, açık işletme planlamasında en büyük yatırımı oluşturan etken makina ve ekipman olduğundan, oldukça önemli yer tutmaktadır. Köse ve Çebi, (1987), bir açık işletme için en uygun yöntemin ve optimal makina ekipman adedinin belirlenmesinde yapılabilecek hataların, işletmeyi büyük miktarlara varabilecek zararlara sokabileceğini belirtmektedir. Bu nedenle bir açık işletme için yöntem ve makina-ekipman seçilirken kazılacak malzemenin özellikleri de gözönünde bulundurulmalı, mümkün olduğunca fazla sayıda alternatif değerlendirilmelidir. Ancak fazla sayıda alternatifin incelenmesi sonucunda seçilecek yöntem veya yöntemlerin oluşturduğu bir kombinasyon en iyi sonucu vereceğini belirtmektedir.

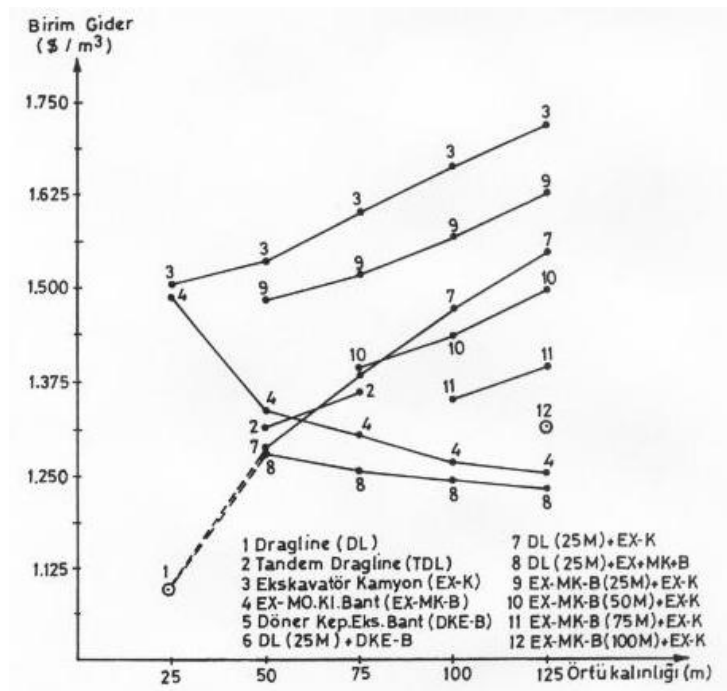
Örtü-kazı yöntemlerinin belirlenmesi sırasında gözönüne alınması gereken başlıca kriterler olarak, kazanılan kayacın kesme direnci, özgül ağırlığı, kabarma faktörü, yapışkanlığı gibi jeomekanik özellikleri, örtü karmanı ve damar kalınlığı, damar sayısı, damar eğimi ve tektonik faylanmalar gibi yapısal özellikler, yeraltı ve yerüstü su durumu gibi hidrojeolojik özellikler, döküm sahası olanakları ve uzaklıkları gibi faktörler sayılabilir.

Değişik kazı ve nakliye cihazlarına göre incelenen örtü kazı yöntemlerinin birbirine karşı teknik ve ekonomik açıdan avantaj ve dezavantajları vardır. Özellikle teknik yönden uygulanabilirliği mümkün olan birkaç yöntem içinden en uygun seçimi yaparken, ekonomiklik ön plana çıkmaktadır. Makina-ekipmanların gerek ilk

yatırım gerekse işletme giderlerini kapsayacak olan bir ekonomik değerlendirme sonucunda uygulanacak örtü kazı yönteminin belirlenmesinde büyük yarar vardır. Makina-ekipmanların ilk yatırım giderleri sabit olmasına karşın, birim işletme giderleri (yedek parça, tamir bakım, enerji vb.) maden yatağı ve örtü tabakasının teknik ve jeolojik özelliklerine bağlı olarak farklılıklar gösterir. Örneğin; örtü tabakasının delme-patlatmaya gereksinim duyulan sertlikte veya yumuşak yapıya sahip olması, maden yatağının derinliğine bağlı olarak kaldırılacak örtü tabakası kalınlığının değişim göstermesi gibi faktörler, değişik örtü kazı yöntemlerinin ekonomikliğini önemli ölçüde belirler.

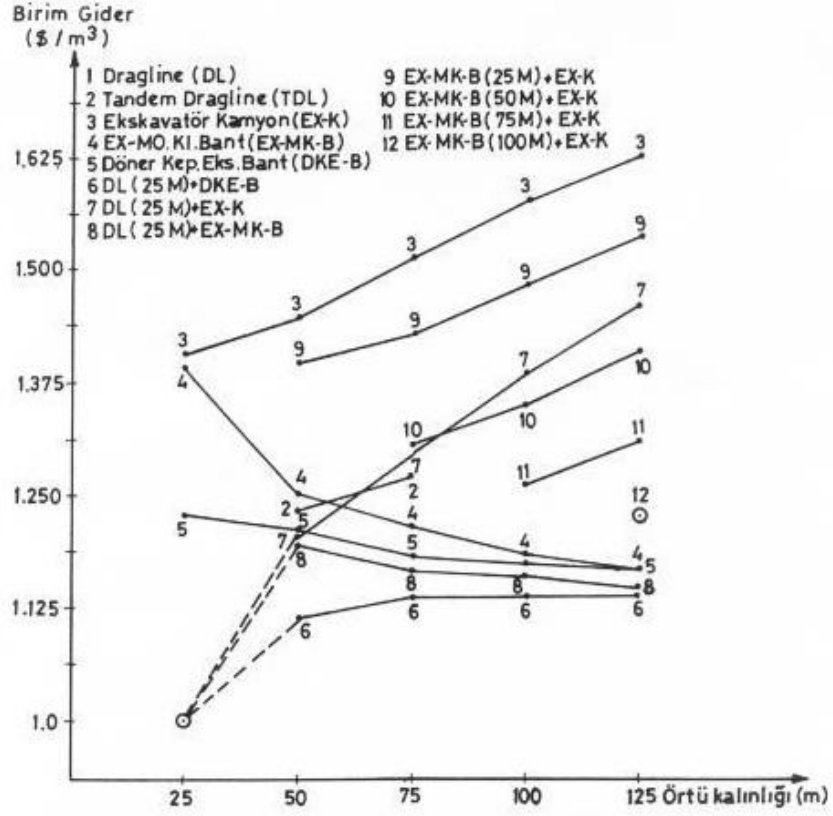
Çebi (1987), 25 metre ile 125 metre arasında değişen derinliklerdeki örtü kazı için hangi üretim yönteminin kullanılacağını araştırdığı çalışmasında, farklı derinlikler için en uygun yöntemin belirlenmesine çalışmıştır. 25 m derinliğe kadar Dragline yöntemi ve diğer tüm derinliklerde 125 m'ye kadar Dragline + Döner Kepçeli Ekskavatör + Bant yöntemi ekonomiktir. Ekskavatör + Kamyon yönteminin tüm derinlikler için en pahalı sistem olduğunu belirtmektedir.

Derinliğe bağlı olarak değişen birim maliyetler ve örtü-kazı yöntemlerinin ekonomikliği sert kayalar için Şekil 2.10'da gösterilmektedir.



Şekil 2.10 Sert kayalarda genel giderler açısından örtü-kazı sistemleri karşılaştırılması (Çebi, 1987).

Gevşek-yumuşak kayalar için, derinliğe bağlı olarak değişen birim maliyetler ve örtü-kazı yöntemlerinin ekonomikliği Şekil 2.11'de gösterilmektedir.



Şekil 2.11 Yumuşak kayalarda giderler açısından örtü- kazı sistemleri karşılaştırması (Çebi, 1987).

## BÖLÜM ÜÇ

### YERALTI İŞLETME PLANLAMASI

#### 3.1 Giriş

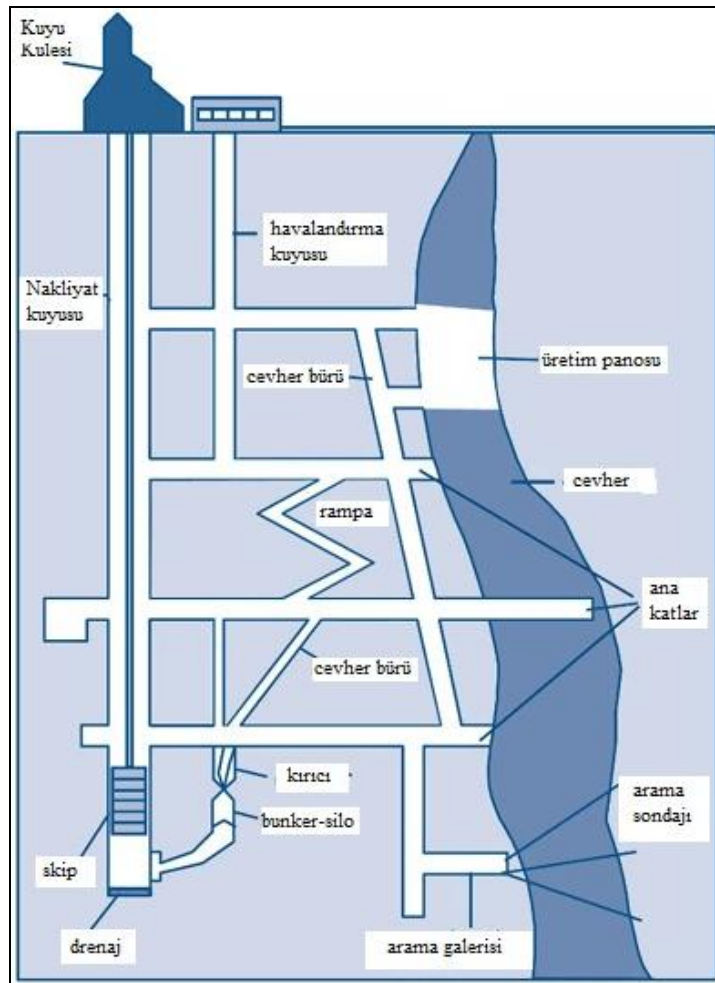
Maden rezervlerinin en uygun şekilde değerlendirilmesi, doğru planlamayı zorunlu hale getirmekte ve işletmecilikte çözüm bekleyen en önemli konulardan biri olmaktadır. Bu anlamda, yeraltı işletme planlaması, işletmenin maksimum karla çalışmasını ve rezervlerin verimli ve güvenli bir şekilde değerlendirilmesini sağlamalıdır.

Yeraltı işletmesi planlamasının başarısı, ideal üretim yöntemi seçimine ve gelirin yükseltilmesini sağlayacak hazırlık aşamalarına bağlıdır. Yeraltı üretim yöntemi seçilirken hedef, olası yöntem seçenekleri arasından teknik, ekonomik, ulusal fayda ve emniyet açısından en uygun yöntemi belirlemek olmalıdır (Köse vd., 2001).

Ayrıca, planlama esnasında bir çok faktör dikkate alınmalıdır. Bunlar; yeraltı üretim yöntemi, yeraltı açıklıkları (kuyu, galeri vb... boyutları), işletme verimliliği, üretim maliyeti gibi etkenlerdir. Üretim yöntemi seçiminde ve planlamasında gözönünde bulundurulması gereken detaylar; uygulanacak yöntemde emniyeti sağlayabilmek için cevher ve yankayacın kaya-mekaniksel ve fiziksel özelliklerini de içermelidir. Maden yatağının eğimi; kazı, cevher nakliyesi, tahkimat ve malzeme taşınmasında etkilidir. Cevher damar kalınlığı arttıkça kazı giderleri de azalmaktadır. Kazının yapıldığı derinlik arttıkça artan derinlikle birlikte kayaç basıncı ve sıcaklığı arttığı için tavan kontrolü ve havalandırma prosesi zorlaşır. Tavan arızaları ve kazı sonucu yeryüzünde oluşan çökmeleri (sübsidans) önlemek amacıyla göçertmeli yöntemler uygulanmamaktadır. Cevheri alınan yerin tavanı uzun süre kendini tutabiliyorsa yöntem daha serbestlikle seçilebilir. Oda-topuk, arakatlı kazı vb. Cevherin mineralojik ve kimyasal bileşiminin üretim yöntemi seçiminde etkisi vardır. Değerli cevherlerde cevher kaybı az olan yöntemler tercih edilirken, ucuz cevherlerde ise kazı maliyeti düşük cevher kaybı yüksek olan yöntemler seçilir (Gönen, 2010).

### 3.2 Yeraltı İşletme Planlamasını Etkileyen Faktörler

Stebbins S.A. ve Schumacher O.L, (2001), yeraltı planlamasında etkili olan parametreleri; fiziksel ve jeoteknik parametreler, işletme üretim kapasitesi, üretimde zamanlamanın etkisi, spesifik planlama ve gider parametreleri olarak sınıflandırmaktadır. Ayrıca, yeraltı üretim yöntemi seçimi ve buna uygun akılcı ana hazırlık ve cevher içi hazırlıkların geliştirilmesi de eklenebilir. Genel olarak yeraltı işletme planlama sistemi Şekil 3.1’de verilmektedir.



Şekil 3.1 Genel yeraltı işletme hazırlık planlaması

#### 3.2.1 Fiziksel ve Jeoteknik Parametreler

Planlama öncesi sahaya ve kayalara ait jeolojik, mineralojik ve yapısal olmak üzere bazı teknik bilgilere gereksinim duyulmaktadır. Örtü formasyonu kalınlığı,

cevherleşme zonunun yapısal özellikleri, tavan ve taban yan kayaç kalite ve yapısal özellikleri, kayaç tipi, dayanım aralıkları, yapısal zayıflıklar, yüksek gerilme zonları, porozite ve permeabilite, şişen kil ve şeylerin tespiti, cevher zonu çevresinde bulunan çeşitli zonların kayaç kalite değerlerinin (RQD) belirlenmesi, yeraltı faaliyeti için zonların sıcaklık değerleri ve doğal asit üretkenlikleri, yan kayaç kaya kütle sınıfının bilinmesi planlamada oldukça önemlidir. (Stebbins, Schumacher,2001).

Jeolojik bilgiler, cevherleşmenin boyutlarını (uzunluk, genişlik ve kalınlık) ve varsa etraftaki diğer, cevher zonu ve yapıların durumu ile, her bir cevher zonunun eğim, doğrultu ve bilinen maksimum derinliklerini içermektedir. Ayrıca, cevherleşme içinde yer alan süreksizlik ve fayların durumu, ekonomik rezerv içinde tenörün değişimi, limit tenör değeri, cevher zonu içinde değerli minerallerin varlığı ve dağılımı, gang minerallerinin dağılımı, cevherin rezerv ve kalite bilgileri, cevherleşmeye ilişkin rezerv ve potansiyellerle ilgili mineral blok dağılımı, fay zonları ve diğer jeolojik parametreler de, kesitler ve harita çalışmaları ile ortaya konulmalıdır.

### ***3.2.2 İşletme Üretim Kapasitesi***

Maden işletme projelerinin tasarlanması ve değerlendirilmesinin temelini, belirli bir indirgenme oranında oluşacak, nakit akışlarından türetilen net bugünkü değerin (NBD) optimizasyonu oluşturmaktadır. Bir başka deyişle amaç, maksimum iç verim oranının sağlanmasıdır. NBD değeri aynı zamanda, işletmedeki maden üretim miktarı ile doğrudan ilişkilidir. Konuya finansal açıdan yaklaşıldığında ise, işletmelerde maksimum geri dönüşü sağlayacak üretim miktarı amaçlanmaktadır. Bu nedenle maden işletme yatırımının şimdiki değerinin yanı sıra, işletme sabit giderlerinin de beraberinde değerlendirilmesini gerekmektedir.

Maden işletme kapasitesini sınırlandıran birçok faktör bulunmaktadır. Bunlardan bazıları; pazarlama koşulları, devlet politika ve kanunları, yerel düzenlemeler ve haklar, vergiler, enerji maliyetleri ve kullanım olanakları, malzeme tedariği, personel ve işgücü temini olarak sayılabilir. Tüm bu faktörler dikkate alınarak 200 adet maden işletmesi verilerinin regresyon analizi sonucunda, Taylor formülü geliştirilmiştir.

$$\text{Ekonomik İşletme ömrü (yıl)} = 0.2 \times \sqrt{\text{Rezerv (ton)}} = \text{işletme ömrü (yıl)} \pm 1.2$$

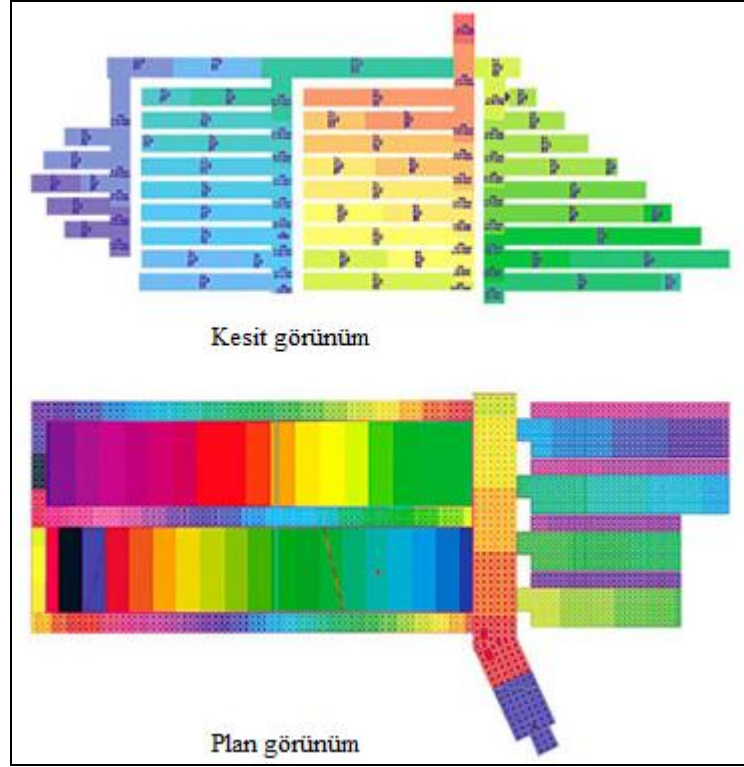
Planlamanın bu aşamasında, çözümü en zor sorunlardan biri olan yıllık üretim kapasitesinin belirlenmesi gerekir. Yıllık üretim miktarının belirlenmesinde, buna bağlı olmayan sabit giderlerin yanı sıra cevherin üretimi öncesinden tükeninceye kadar olan tüm madencilik işlemleri, hem teknik hem de ekonomik açıdan dikkatle planlanmalıdır. Bir ekonomik analizde; pazarlama planı, üretim planı, kapasite planı, yatırım planı, makine-ekipman randıman planı, maliyetler planı, gelirler planı, işletme ve genişleme planı, nakit akımı planı ve kar planlarının dikkate alınması gerekmektedir.

### 3.2.3 Üretimde Zamanın Etkisi

Maden yatağı için işletme üretim kapasitesi ve uygulanacak olan yeraltı üretim yöntemiyle ilgili olarak üretim öncesi hazırlık çalışmalarının yapılması gerekmektedir. Sözgelimi, yüksek üretim kapasitelerini karşılamak için daha geniş kuyulara, galerilere ve birçok kuyuya ve hazırlıklara gereksinim olur. Büyük rezervlerin işletmeye alınması planlama ve mühendislik açısından olduğu gibi her yönüyle daha uzun zaman ve finansman gerektirmektedir. Kombine olarak düşünüldüğünde tüm bu faktörler hazırlık çalışmalarının zamanlamasında farklılıklar oluşturmaktadır. Genel olarak bu süreç 2 ile 8 yıl arasındadır. Bu durum iki indirek etkiye sahiptir. Birincisi, nakit akışı gerçekleşinceye kadar uzun bir süre sermaye sağlanmak zorunda olmasıdır. Diğeri ise; enflasyon oranı bazı ülkelerde zamanla enflasyon fiyatlarındaki artışla birlikte yıllık % 10 ile % 20 arasında artmaktadır. Bu yüzden büyük ölçekli proje gelirlerinin düşmesine neden olmaktadır.

Termin planı ile zaman parametreleri kullanılarak kuyu açma, galeri sürme vb. gibi hazırlık çalışmaları kestirilmeye çalışılmaktadır. Kuyu ve galerilerin kazı, tahkimatlandırma, kaplama ve donatımının ortalama süreleri boyut ve maden derinliğine bağlı olarak termini belirlenmeye çalışılır.





Şekil 3.2 Yeraltı işletmesi üretim bölgelerinin termin planı

Oluşan maliyetin zamanı miktarından daha önemlidir. Planlama aşamasında finansman modellerinin duyarlılık analizleri ile ekonomik değerlendirmelerde zamanlama dikkat edilmelidir. Bu bağlamda, herhangi bir maden işletme hazırlık çalışmaları pozitif nakit akışı sağlanana kadar ertelenebilir (Stebbins, Schumacher,2001).

### 3.2.4 Spesifik Planlama

Kazılan cevher ve etkileşim halinde olan kaya kütlelerinin fiziksel ve fiziko-mekanik yapısal özellikleri planlama açısından maden işletme parametreleri olarak oldukça önemlidir. Maden işletme sistemi, dört farklı yönden özellikle kayaç özelliklerine duyarlıdır.

- Kaya kütle sınıflaması, in-situ yeraltı gerilmelerine maruz kalan kayacın tahkimatsız stabil durabildiği yeraltı açıklıklarının boyutunu belirlemektedir.
- Küçük kesitli açıklıklarda delme patlatma operasyonlarının yapılması esnasında verimliliği etkilemektedir.

- Sertlik, aşındırıcılık, sıklık gibi kazılan malzeme özellikleri makina ve ekipmanın tipini ve yapısını belirlemektedir.
- Cevher ve yankayaç; toksitik yada patlayıcı özelliklere sahip ise madencilik operasyonları belirli düzenleme ve sınırlamalar içinde kontrollü bir şekilde yürütülmektedir (Stebbins, Schumacher,2001).

Kaya karakteristikleri ve yeraltı üretim yöntemleri arasındaki ilişki Tablo 3.1' de verilmektedir.

Tablo 3.1 Yeraltı üretim yönteminde malzeme özellikleri

<b>Yeraltı Üretim Yöntemi</b>	<b>Malzeme</b>	<b>RQD %</b>	<b>Dayanım MPa</b>
Dolgulu Yöntem Kes- Doldur	Cevher	50	68.95
	Tavan kayacı	35	51.70
Cevher Dolgulu Tavan Arınlı Yöntem	Cevher	65	103.43
	Tavan kayacı	80	172.38
Arakatlı Kazı	Cevher	75	137.90
	Tavan kayacı	80	172.38
Arakatlı Göçertme	Cevher	55	82.70
	Tavan kayacı	75	137.90
Oda-Topuk Yöntemi	Cevher	75	155.14
	Tavan kayacı	55	120.66

### **3.2.5 Gider Parametreleri**

Maliyet hesapları yapılırken birçok parametreden yararlanılmakta ve bu hesaplamalar özellikle üç kategoride toplanmaktadır. Bunlar, işçilik, malzeme-tedarik giderleri ve makina-ekipman giderleri olmak üzere özetlenebilir. Yeraltı madencilik faaliyetlerinde birçok operasyon çevrimsel ya da süreklidir. Cevher üretim kapasitesi, gider parametrelerini ve değerlerini etkilemektedir. Bu kapasiteyi pazarlama koşulları, maden işletme koşulları, planlama ve kar maksimizasyonu gibi faktörler belirlemektedir. Bu değerler tamamen işletilebilir cevher rezervi ve ekonomik işletme süresi ile değişmektedir (Stebbins, Schumacher,2001).

### 3.2.6 Yeraltı Üretim Yöntemi

Günümüzde maden rezervlerinin en ideal şekilde değerlendirilmesi zorunlu hale gelmektedir. Bu bağlamda, üretim yöntemi seçimi en önemli konular arasındadır. Yeraltı üretim yöntemi seçilirken hedef, olası yöntem seçenekleri arasından teknik, ekonomik, ulusal fayda ve emniyet açısından en uygun yöntemi belirlemek olmalıdır (Köse vd., 2001). Böylece işletme maksimum karla çalışırken, doğal kaynaklar verimli ve güvenli bir şekilde değerlendirilecektir. İşletmelerde, belirlenen üretim yönteminden başka bir üretim yöntemine geçiş çok maliyetli olduğundan, yöntem bir kez ve saha şartlarına en uygun olacak şekilde belirlenmelidir.

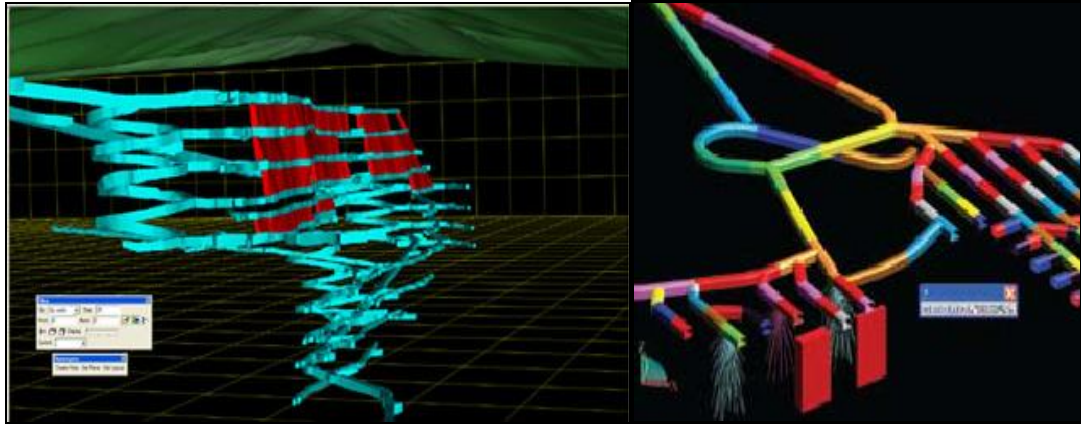
Üretim yöntemi seçilirken maksimum kar esas amaç olmakla beraber, nihai yöntem seçimini etkileyen pek çok faktör bulunmaktadır. Örneğin, yüksek üretim verimliliği, emniyetli ve ekonomik çalışma koşulları yöntem seçiminde göz önünde bulundurulması gereken faktörlerden öne çıkanlarıdır (Gönen, 2010). Bazı durumlarda cevher kütlelerinin geometrik özellikleri ve cevher kütlesi ile çevreleyen yankayaçların jeolojik, hidrojeolojik ve jeomekanik özellikleri spesifik bir üretim yönteminin seçimini zorunlu kılmaktadır. Cevher ve yan taşın çürük (çok zayıf) olması durumunda uygulanan kübik tahkimatlı sistem uygulanması buna en güzel örnektir.

Birkaç üretim yöntemi alternatifinin teknik açıdan uygulanabileceği durumlarda ise, nihai seçim ekonomik açıdan en uygun yöntemin belirlenmesini kapsamaktadır. Başlıca üretim yöntemlerinin birbirlerine göre göreceli ve mutlak birim maliyetleri Tablo 3.2’de görülmektedir.

Tablo 3.2 Üretim yöntemlerinin göreceli ve birim maliyetleri (Hartman & Mutmansky, 2002)

Üretim yöntemi	Göreceli maliyet	Birim maliyet (\$/ton)
Oda – Topuk yöntemi	20	10-25
Ambarlı ayak	45	30-70
Arakatlı kazı	20	12-35
Dolgulu tavan arınlı ayak	55	30-70
Kübik tahkimatlı yöntem	100	50-150
Uzunayak yöntemi	15	10-20
Arakatlı göçertme	15	10-30
Blok göçertme	10	5-15

Cevher kütlesinin eğiminin üretim yöntemi seçimi üzerine etkisi görülmektedir. Yataklanma tipi yatay, eğimli ve dik damar ise yöntemler değişkenlik göstermekte fakat aynı yöntem hem eğimli hem dik cevherleşmede seçilebilmektedir. Dolayısı ile yöntem seçimi yaparken değişkenlere göre yöntemlerin girişim yapması sebebi ile dikkatli ve detaylı değerlendirmeler yapmak gereklidir.



Şekil 3.2 Yeraltı işletme bölgelerinin termini

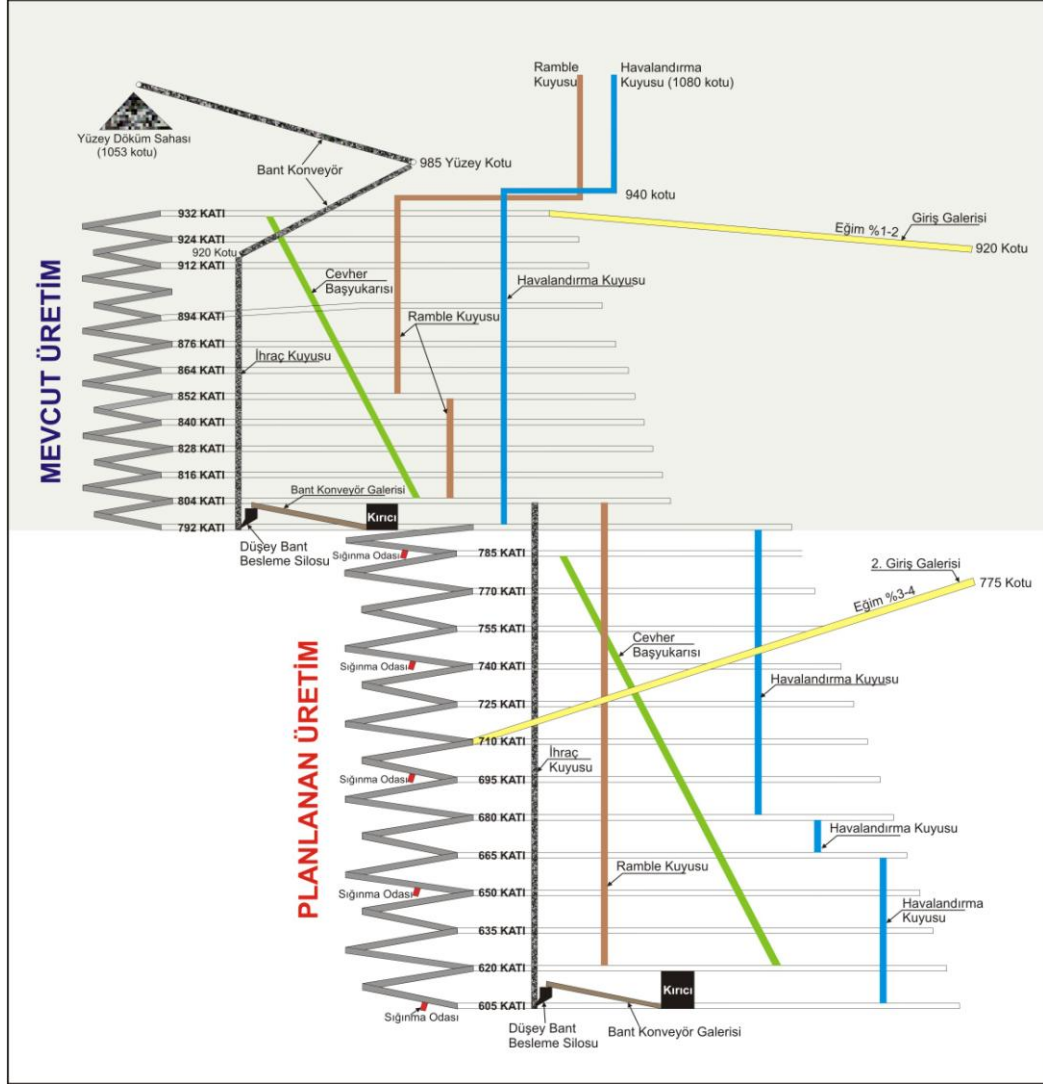
### ***3.2.7 Yeraltı Ana Hazırlık ve Cevher içi Hazırlıkların Planlaması***

Yeraltı ana hazırlıklarının doğru yerlerde seçilmesi ve doğru bir uygulanması, projenin karlılığını arttırabilmektedir. Özellikle maden giriş çıkış açıklıklarının seçimi gibi. Bu anlamda ana hazırlık çalışmaları olabildiğince detaylandırılmalıdır.

Cevher içi hazırlık planlamasında, galeri ilerlemesinden, ayak-arın üretimine kadar uzun ve kısa dönemli üretim planları belirli kriterlere uygun olarak oluşturulmalıdır. Cevher üretim kapasitelerinin, rezerv tenör dağılımı ve düzenlemesi sağlanmalıdır. Yeraltı ilerleme tarihleri kullanılarak, planlarla uyumluluğun denetlenmesi ve buna göre tekrar planlaması yapılabilmektedir. Galeri uzunluğu, hacim, tonaj veya miktar tabanlı planlama yapılmalıdır.

Planlamanın her detayı, 3 boyutlu olarak ve mühendislik çizimleriyle desteklenerek ölçekli bir şekilde madencilğin hangi periyodunda olduğunu gösterebilmelidir. Üretim tonajı ve tenör verileri, her periyot için raporlanmalıdır.

Ana hazırlık yapıları ve diğer cevher içi hazırlıkları gösteren genel ocak planlamasına örnek Şekil 3.3’de verilmektedir.



Şekil 3.3 Yeraltı işletmesi şematik genel ocak planlaması (Gönen, 2010)

## **BÖLÜM DÖRT**

### **MADENCİLİKTE YATIRIM PROJELERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ VE NET BUGÜNKÜ DEĞER**

#### **4.1 Giriş**

Bütün sektörlerde olduğu gibi madencilik yatırımlarında da, projelerin değerlendirilmesi; yatırım kararlarının alınması ve sonrasındaki işletme aşamaları için önemlidir. Bu nedenle, yatırımcıların doğru yatırım kararları verebilmeleri için birkaç alternatif yatırım projesinin hazırlanmakta ve yatırımcının finansman ve sermaye durumuna en uygun proje seçilerek uygulanmaktadır.

Çeşitli yatırım projeleri, karlılık bakımından girişimcinin alternatif yatırım projeleri arasından en uygun projenin seçiminde yatırım değerlendirme yöntemlerinden yararlanılmaktadır. Özellikle madencilikle ilgili yatırım projelerinde, yatırımın gelecekte sağlayacağı nakit girişlerinin bugünkü değeriyle yatırım maliyetinin arasındaki farkı tanımlayıp gelecekte elde edilecek gelirlerin bugünkü değerini yatırımın maliyetiyle karşılaştıran Net Bugünkü Değer (NBD) yöntemi, işletme ekonomik ömrü süresi boyunca, paranın zaman değerini hesaba kattığı ve yatırımcı tarafından kabul edilebilir bir faiz oranı kullanılmasına fırsat verdiği için, diğerlerine oranla daha gerçekçi ve güvenilir bir değerlendirme yöntemi olarak tercih edilmektedir. Yatırım ve ekonomik analizlerde karar prosesi, nitelikli ekonomik çalışmaların yer aldığı komplike bir işlem olduğundan günümüzde proje değerlendirmesinde kullanılan başlıca yöntemlerden Net Bugünkü Değer Yöntemi, statik yöntemlerden farklı olarak paranın zaman değerini de öne çıkaran dinamik yatırım teorilerindedir (Köse, 1997).

İşletme sınırlarının belirlenmesine yönelik kullanılan ekonomik analiz ve örtü kazı oranı tekniklerinden özellikle nakit akışına dayalı ekonomik analizin, işletme dizaynlarında daha gerçekçi ve ekonomik sonuçlar verdiği ve gelecekte düşük tenörlü fizibil görünmeyen maden yataklarının bu şekilde değerlendirilebileceği gerçeği net bugünkü değer yöntemini önemli kılmaktadır (Lillico, 1974).

## 4.2 Proje Değerlendirmesinde Kullanılan Yöntemler

Proje değerlendirme yöntemleri, maden endüstrisi dahilindeki yatırım alternatiflerinin değerlendirilmesi için kullanılan başlıca değerlendirme yöntemlerini içermektedir. Yatırım, işletme için son derece büyük önem taşıyan stratejik bir karardır. Tıpkı diğer kararlarda olduğu gibi, bir tek alternatifle yatırım kararı verilmez. Bu nedenle, yatırımcıların doğru yatırım kararları verebilmeleri için bir değil birkaç yatırım projesinin hazırlanmış olması gerekir. Daha sonra bu alternatif yatırım projelerinin birbirleriyle karşılaştırılmaları ve yatırımcı yönünden en uygun veya kârlı olanlarının sıralanması ve eldeki sermayeye göre bir veya bir kaçının yatırım kararı olarak uygulanmaya konulması gerekir.

Alternatif yatırım projeleri arasından işletmenin bünyesine en uygununun seçiminde yatırım alternatiflerinin değerlendirilmesi yöntemlerinden yararlanılır. Bu yöntemlerin uygulanabilmesi için aşağıdaki verilere ihtiyaç vardır; toplam yatırım tutarı ve maliyetler, yatırımlardan gelecekte sağlanacak gelirler ve yatırımların ekonomik ömürleridir.

Yararlanma süresi çeşitli yatırımlarda birbirinden farklı olduğundan yatırımların ekonomik ömürlerinin bilinmesine de ihtiyaç vardır. İşletmenin fiziki ömrü ile ekonomik ömrü birbirinden farklıdır. Fiziki ömrü, işletmede teknik hizmetler yerine getirildiğinde, fiilen üretimde bulunabilecek süreyi kapsar. Ekonomik ömrü ise, bir işletmenin faydalı olarak üretimde bulunabileceği süreyi ifade eder. Hurda değeri, bir sabit kıymetin fiziki olarak kullanma süresi sonunda kalan değeridir. Örneğin bir makinanın hurda değeri, bu makinanın kullanma süresi sonunda hurda olarak satıldığındaki değeridir.

Yatırımlarda çeşitli alternatifler arasından en kârlı olanını seçmek ön planda tutulduğundan yıllar itibariyle çeşitli alternatif yatırımların geliri de bilinmelidir. Yeni bir üretim projesinde gelirler, üretilecek ürünlerin değerlendirilmesi ile elde edilir. Yani fiziki üretim miktarları tahmin ve tespit edilerek cari fiyatlarla değerlendirilerek bulunur. Değerlendirmeye ana ve yan ürünlerin değerleri de dahil edilir. Proje gelirleri, projenin ekonomik ömrü süresindeki gelirlerinin tümünü

kapsamalıdır. Yatırımlarda birbirinden farklı olduğundan yatırımların ekonomik ömürleri de bilinmelidir.

Proje değerlendirmesinde kullanılan başlıca yöntemler; statik ve dinamik olarak ayrılmaktadır. Statik yöntemler; Maliyet karşılaştırma yöntemler, Kâr karşılaştırma yöntemi, Kârlılık oranı (Rantabilite) yöntemi, Amortizasyon (Geri ödeme süresi) yöntemleridir. Dinamik yöntemler ise Net bugünkü değer yöntemi, İç (Gerçek) verim yöntemi, Annulite (Yıllık eşdeğer masraf) yöntemleridir.

### 4.3 Net Bugünkü Değer Yöntemi

Yatırım ve ekonomik analizlerde karar prosesi, nitelikli ekonomik çalışmaların yer aldığı komplike bir işlem olduğundan günümüzde proje değerlendirmesinde kullanılan başlıca yöntemler; statik yöntemlerden farklı olarak paranın zaman değerini de öne çıkaran Net bugünkü değer yöntemi, İç (gerçek) verim yöntemi, Annulite (Yıllık eşdeğer masraf) yöntemi gibi Dinamik yatırım teorileridir (Köse, 1997).

Statik yöntemlerin en önemli dezavantajı paranın zaman değerini dikkate almaması, dinamik yöntemlerde bileşik faiz faktörleri kullanılarak paranın zaman değeri gözönünde bulundurulması dinamik yöntemleri özellikle Net Bugünkü Değer Yöntemini (NBD) öne çıkarmaktadır. NBD yönteminde paranın zaman maliyeti dikkate alınır ve gelecekteki nakit giriş ve çıkışları belirli bir faiz oranıyla bugünkü değere indirgenir. Bunları karşılaştırmak suretiyle projeler değerlendirilmektedir. Bir yatırım projesinin net bugünkü değeri, o yatırımın gelecekte sağlayacağı nakit girişlerinin bugünkü değeriyle yatırım maliyetinin arasındaki fark olarak tanımlanır. Bu nedenle gelecekte elde edilecek gelirlerin bugünkü değerini yatırımın maliyetiyle karşılaştıran bu yöntem daha gerçekçi sonuçlar vermektedir.

Gelecekte elde edilen gelirlerin bugünkü değerleri "Bugünkü Değer Faktörü"  $(1+i)^n$  yardımıyla hesaplanır. Bir projenin net bugünkü değeri aşağıda verilen formül yardımıyla hesaplanır.



$$NBD = \sum_{k=1}^n \frac{NG_n}{(1+i)^k} + \frac{H}{(1+i)^n} - Y$$

Burada;

NBD = Net bugünkü değer

NGn = n yılındaki nakit girişi

i = Seçilen faiz oranı

n = Zaman (Dönem sayısı)

H = Hurda değeri

Y = Yatırım Değeri

Net bugünkü değer yönteminin uygulanmasında en büyük güçlük, gelecekteki gelirlerin hangi faiz oranıyla bugünkü değerine indirgeneceğine karar vermektir. Faiz oranı olarak, uygulamada en çok piyasada geçerli olan faiz oranı veya yatırımcı tarafından kabul edilebilir bir karlılık oranından herhangi bir tanesi kullanılmaktadır. Yatırımcı tarafından kullanılan sermayenin ortalama maliyeti (sermaye maliyeti, yatırım finansmanında kullanılacak öz ve yabancı sermayenin elde edilmesi için katlanılan maliyetin ağırlıklı ortalamasıdır) kullanılabilir.

Kabul edilecek faiz oranını, firmanın kaynak (sermaye) maliyetinden daha düşük olmaması gerekir. Yatırım, yatırımın iç karlılık oranı (sermayenin marjinal etkinliği) sermaye maliyetine eşit olduğu noktaya kadar devam etmelidir. Yatırım teorisi, sermaye harcamalarında yatırım projelerinin karlılık oranı sermayenin marjinal maliyetine eşit olana kadar devam edilmesini önermektedir.

Projenin net bugünkü değerinin mümkün olduğu kadar büyük olması gerekmektedir, aksi halde parasal gelirdeki azalma farkın negatif olmasına neden olabilir. Finansman olanakları bulunduğu anda, yatırım alternatiflerinde, yatırımlardan beklenen parasal gelirin sermaye maliyetinden (faiz haddinden) indirgenmiş bugünkü değerler toplamını yatırım maliyetine eşit alternatiflere kadar gidilebilmektedir.

Faiz oranı seçimi yapıldıktan sonra yukarıda verilen formülle projenin NBD hesaplanır. Hesaplanan bu değer;

$NBD > 0$  ise, projeden öngörülen faiz oranının üzerinde gelir sağlanmaktadır.

$NBD = 0$  ise, projeden öngörülen faiz oranı kadar gelir sağlanmaktadır.

$NBD < 0$  ise, projeden öngörülen faiz oranından daha az gelir sağlanmaktadır.

Buna göre değerlendirmede, tek bir proje sözkonusu ise NBD'in sıfırdan büyük olması durumunda proje kabul, aksi durumda proje reddedilecektir. Birden fazla proje arasında bir seçim yapılması gerektiğinde ise, ilk aşamada NBD'leri sıfırdan büyük olanlar seçilir, diğerleri elenir. İkinci aşamada, ilk barajı geçenler arasında bir sıralama yapılır ve bunlar arasında NBD'i en yüksek olan proje seçilir.

Net bugünkü değer yöntemi, projelerin ekonomik ömür sürelerini gözönüne aldığı, paranın zaman bakımından değerini hesaba kattığı ve yatırımcı tarafından kabul edilebilir bir faiz oranı kullanılmasına fırsat verdiği için, diğerlerine oranla daha güvenilir bir değerlendirme yöntemi olarak görülmektedir. Net bugünkü değer yönteminin bazı dezavantajları da vardır. Yöntem, projelerin gerçek kârlılığını göstermemektedir. Ancak kabul edilmiş bir kârlılık oranının üzerinde kalan projeleri dikkate almaktadır. Ayrıca, projeler tespit edilen ve proje ekonomik ömrü boyunca sabit varsayılan bir faiz oranına göre değerlendirmektedir. Bu oranın düşük veya yüksek seçilmesi, proje değerlendirmesi ve seçimini etkilemektedir.

#### **4.4 Madencilik Sektöründe NBD**

Özellikle madencilikle ilgili yatırım projelerinde yatırımın gelecekte sağlayacağı nakit girişlerinin bugünkü değeriyle yatırım maliyetinin arasındaki farkı tanımlayıp gelecekte elde edilecek gelirlerin bugünkü değerini yatırımın maliyetiyle karşılaştıran Net bugünkü değer (NBD) yöntemi, ekonomik ömür sürelerini gözönüne aldığı, paranın zaman bakımından değerini hesaba kattığı ve yatırımcı tarafından kabul edilebilir bir faiz oranı kullanılmasına fırsat verdiği için, diğerlerine oranla daha gerçekçi ve güvenilir bir değerlendirme yöntemi olarak tercih edilmektedir.

İşletme sınırlarının belirlenmesine yönelik kullanılan ekonomik analiz ve örtü kazı oranı tekniklerinden özellikle nakit akışına dayalı ekonomik analizin, işletme dizaynlarında daha gerçekçi ve ekonomik sonuçlar verdiği hatta gelecekte düşük tenörlü fizibil görünmeyen maden yataklarının bu şekilde değerlendirilebileceği gerçeği net bugünkü değer yöntemini önemli kılmaktadır (Lillico,1974).

Açık işletme üretim sıralamasında optimizasyon kriteri olarak maksimum net bugünkü değeri baz alarak dinamik programlama tekniği tanımlamakta ve optimal üretim zamanını ve sırasını belirlenmekte Dinamik programlama tekniğinin, üretim sıralaması problem çözümlemesinde efektif sonuçlar verdiği fakat daha ileri teknikler kullanılarak geliştirilebileceği vurgulanmaktadır (Onur, 1992).

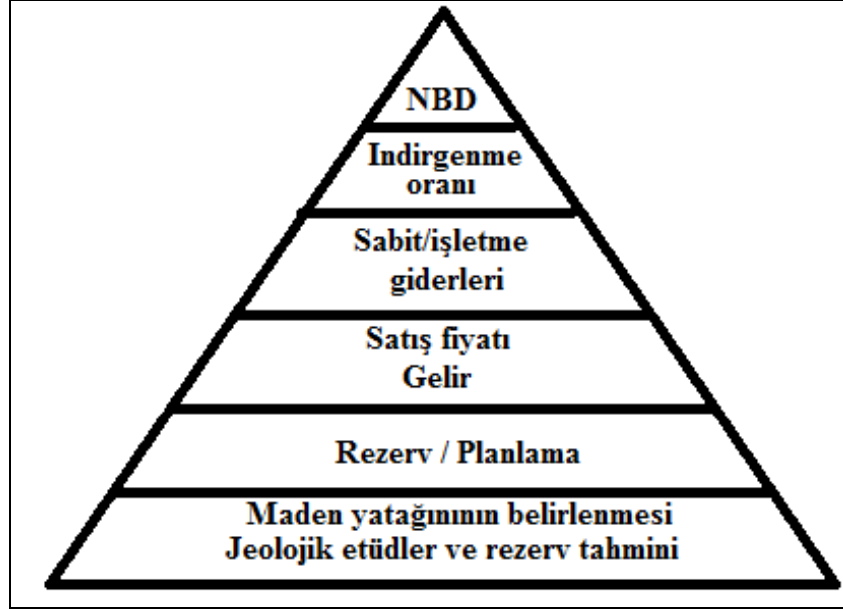
Optimal nihai işletme sınırları ile üretim sıralamasının birbirinden bağımsız düşünülmemeyeceği yeni geliştirilecek modellemelerde bu gerçeğin ve önemli işletme parametrelerinin beraber hesaba katılması gerektiği, optimal üretim planlarında gerçekçi bir ekonomik değerlendirmenin net nakit akışlarının adapte edilmesiyle sağlanabileceği ayrıca parametrizasyonun üretim sıralamasında yararlı bir teknik olduğu açıklanmaktadır (Maitra, 1994; Sevim, 1994; Mukherjee, 1991).

Madencilik sektörü diğerlerine göre daha karmaşık ve riskli olduğu için maden yatağının rezervinin hesaplanması ve rezervin planlanması aşamasında kararlar verilirken birçok kesin olmayan veri göz önünde bulundurulmalıdır (Erdem vd, 2012).

Bu belirsizlikler proje yatırım kararında ve işletme planlamalarında etkili olduğu için belirsizlik kaynakları ve diğer detayların kaynaklarının belirlenmesi ve tanımlanması önemli olmaktadır. Bu yüzden her belirsiz ve kesin olmayan verinin projedeki etkisi analiz edilerek değerlendirmelerin yapılması gerekmektedir (Snowden vd.,2002).

Zamanla değişen açık işletme geometrisine bağlı olarak dekapaj malzeme hacmi ile maden işletmeciliğinin net bugünkü değerinin türetilmesi gerekmektedir (Askari-

Nasab, 2008). Şekil 4.1’ de maden değer zincir piramidinde NBD’in yeri ve hesaplanmasında kullanılan parametreler ifade edilmektedir.



Şekil 4.1 Maden değer zincir piramidi (Morley, 1999)

Açık işletme üretim tekniğinde planlamanın temel amacı; genellikle farklı üretim kapasitesi, karışım modeli, zaman-iş termini ve işletme şev açılarında en yüksek net bugünkü değeri sağlayan optimum değer belirlenmesidir (Dağdelen, 2001).

#### 4.5 NBD Etkileyen Parametreler

Maden işletme planlaması ve tasarımı daha çok rezervin net bugünkü değerinden etkilenmektedir. Net bugünkü değer yükseltilebilmesi, şev stabilitesini ve işletmeyi etkileyen jeoteknik parametrelerdeki değişimlerin yada cevher satış fiyatlarındaki değişim ve tahminin hızla güncellenmesi veya güncellenmiş jeolojik rezervin yeniden işletme dizaynı uygulanarak yorumlanabilmesine bağlıdır (Baffoe, Al-Hassan, 2005).

Genel olarak nakit akış tablolarında kapasite, satış fiyatı, arazi ve hazırlık giderleri, yerel vergiler, işletme sermayesi, vergi oranı, maden-devlet hakkı, makina-ekipman ilkyatırımı, hurda değeri, işletme ömrü temel değişkenler olmaktadır.

Yatırım gideri; makine-ekipman + maden hazırlık + arazi + bina maliyetleri + işletme sermayesinden oluşmaktadır. Amortisman, makine-ekipman + devlet maden hakları maliyetlerinden oluşmaktadır. Hurda değeri; ekonomik işletme ömrü sonunda net gelire dahil edilmektedir. Taşınan zarar, yatırım dönemi giderinin işletme dönemi ilk yılına devredilmesidir. Defter değeri, işletme sermayesi ve bakiye amortisman değerlerinden oluşmaktadır.

Aşağıdaki örnekte, net bugünkü değer hesaplanmasında kullanılan Tablo 4.1 verilmektedir.

Tablo 4.1 Yıllara göre nakit akışları ve net bugünkü değer

	Yıllar					
	0	1	2	3	4	5
Makina Yatırımı	1000					
Yıllık brüt gelir		3000	3000	3000	3000	3000
Devlet Hakkı	900	0	0	0	0	0
<b>Net Gelir</b>		3000	3000	3000	3000	3200
İşletme gideri		1000	1080	1166	1260	1360
Yerel Vergiler		0	0	0	0	0
Arazi ve Haz. Masrafı	1200	0	0	0	0	0
Amortisman		380	380	380	380	380
<b>İşletme Geliri</b>	-1200	1620	1540	1454	1360	1460
Defter değeri İşlet. Ser.	300	0	0	0	0	-300
Taşınan Zarar		-1200	0	0	0	0
Vergilendirilecek Gelir	-1200	420	1540	1454	1360	1160
Vergi	0	168	616	581,6	544	464
Vergi Sonrası Net Gelir	-1200	252	924	872,4	816	696
Amortisman	0	380	380	380	380	380
Defter değeri İşlet. Ser.	0	0	0	0	0	300
Taşınan Zarar	0	1200	0	0	0	0
Yıllık Nakit Akışı	-1200	1832	1304	1252,4	1196	1376
Yıllık Yatırım Giderleri	2200	0	0	0	0	0
<b>Yıllık net nakit akışı</b>	-3400	1832	1304	1252,4	1196	1376
<b>İndirgenmiş değer</b>	-3400	1308,571	665,3061	456,414	311,3286	255,8458
<b>Net bugünkü değer</b>	-402,534					

## **BÖLÜM BEŞ**

### **YERÜSTÜ İŞLETMESİNDEN YERALTI MADENCİLİĞİNE OPTİMUM GEÇİŞ DERİNLİĞİ**

#### **5.1 Giriş**

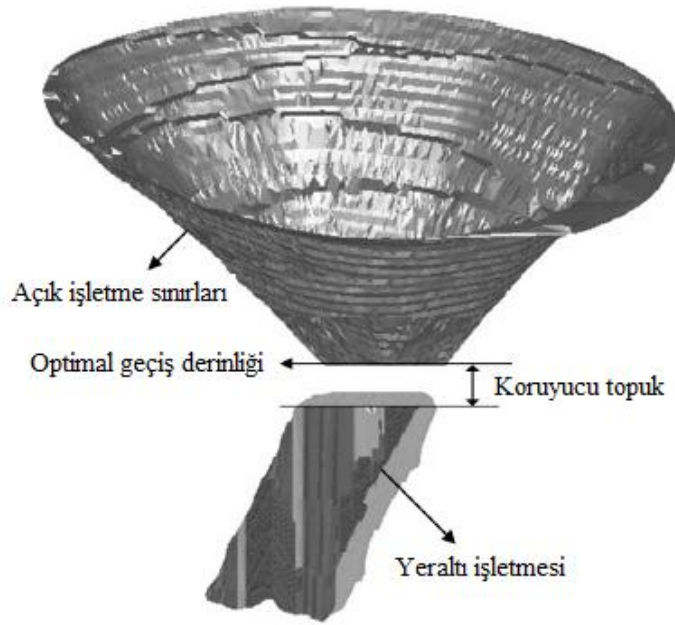
Birçok maden başlangıçta açık işletme madenciliği ile üretime başlamaktadır. Ancak belirli bir noktadan sonra üretimin yeraltı işletmesine dönüşüne karar verilmektedir. İşletme ekonomisi dikkate alındığında bu değişim noktasına geçiş derinliği adı verilmektedir.

Şili Chuquicamata bakır işletmesinde, açık işletmeden yeraltına geçiş derinliğini 1100 m olarak tasarlanmış ve 2013 yılında açık işletmede üretimin sonlandırılması planlanmaktadır (Flores, 2004).

Maden yatağının geometrisi ve altında olduğu yeryüzü topoğrafyası, açık işletme yöntemini ve maliyetleri etkilemektedir. Örneğin; yatay bir kömür damarı ile dik bir kömür damarı için örtü-kazı oranı hesaplamaları ve işletme yöntemleri oldukça farklılık göstermektedir. Ayrıca örtü tabakasının derinliği ve fiziksel özellikleri de, ocak geometrisini ve işletme maliyetlerini etkileyen önemli faktörlerdendir. Hava koşulları, yerüstü ve yeraltı sularının miktarı ve cevher içindeki değersiz kısımların karakteri, maliyetleri etkileyen diğer faktörlerdir.

Maden işletmesi için ocak şevlerinin durumu, açısı, patlatma yapılacaksa koşulları, kazı ve diğer makinaların iş verimliliği gibi üretimi ve makina seçimini, dolayısı ile maliyetleri etkileyen faktörlerin belirlenmesi oldukça önemlidir.

Açık işletme yönteminden yeraltı işletme modeline optimum geçiş derinliği Şekil 5.1'de verilmiştir.



Şekil 5.1 Açık işletmeden yeraltı işletme modeline optimal geçiş derinliği (Hartman, 2002)

## 5.2 İşletme Ekonomisi ve Derinliğini Etkileyen Faktörler

Maden yatağının geometrisi ve altında olduğu yeryüzü topoğrafyası, açık işletme yöntemini ve maliyetleri etkiler. Cevherin yatay yada dik damar olması örtü-kazı oranını ve işletme yöntemlerini farklılaştırmaktadır. Ayrıca örtü tabakasının derinliği ve fiziksel özellikleri de, ocak geometrisini ve işletme maliyetlerini etkileyen önemli faktörlerdir (Köse, 2001).

### 5.2.1 Örtü-Kazı Oranı

Cevherin yerüstü veya yeraltı işletme yöntemi ile üretilmesini belirleyen en önemli faktör, kaldırılacak örtü tabakasının miktarıdır. Madencilikte bu faktör örtü-kazı oranı ile ifade edilir. Bu oran cevherin üzerini açmak için kaldırılan örtü miktarının, üretilen cevhere oranını verir ve genel olarak  $m^3/ton$  olarak veya nadiren ton/ton birimleriyle ifade edilir. Örtü-kazı oranlarını cevher üretimine başlamadan önce yapılması gereken ön örtü kazı oranı, işletmede belirli bir derinliğe kadar yapılan olan örtü-kazının, kazanılmış olan toplam cevhere oranına genel örtü kazı oranı ve işletmenin herhangi bir evresinde ilave birim cevherin üzerini açmak için

yapılan örtü-kazı oranına da enstantane örtü-kazı oranı olarak genellendirilebilir. Chen (2003), izin verilebilir örtü-kazı oranı yaklaşımını geliştirerek açık işletme içinde kalan cevher ve dekapaj hacimleri derinlik sabitine bağlı bir fonksiyon olarak tanımladı.

Bir madenin optimum alan boyutlarını, Örtü - cevher oranı (örtü kalınlığı / cevher kalınlığı(m/m), ekipman kullanımına bağlı ocak derinliği, katmanların karakteristiği, yeraltı su durumu, cevher yatağının yapısal durumu ve sınırı gibi faktörler belirlemektedir.

Ayrıca ekonomik değerlendirme ile ilgili farklı adlandırılan örtü-kazı oranları da bulunmaktadır. İşletme örtü-kazı oranı; işletmenin herhangi bir dönemindeki örtü-kazı oranıdır. Güvenli çalışılması amacıyla işletme örtü-kazı oranı, genel veya sınır ekonomik örtü-kazı oranından her zaman daha büyüktür. Ekonomik sınır örtü-kazı oranı (yeraltı işletmesi alternatifine göre); birim yerüstü cevher üretim maliyetinin, birim cevher yeraltı üretim maliyetine eşit olduğu sınırdaki enstantane örtü-kazı oranıdır. Ekonomik sınır örtü-kazı oranı (yerüstü işletmesinin maksimum karına göre); birim cevherden sağlanan karın sıfır olduğu enstantane örtü-kazı oranına denir. Diğer bir deyişle; birim cevhere düşen örtü-kazı maliyeti ile birim cevherin işletme ve kazı maliyetinin toplamının, birim cevherden elde edilen gelire eşit olduğu derinlikteki enstantane örtü-kazı oranına denir. Örtü-kazı oranına etki eden en önemli faktörler; maden yatağının şekli, genel şev açısı, yatağın eğimi ve topoğrafya olarak sıralanmaktadır.

Maden yatağı şeklinin, örtü-kazı oranında büyük etkisi vardır. Örtü-kazı oranı, cevher kalınlık derecesi (cevher damarının düşey boyutunun yatay boyutuna oranı) ile değişmektedir. Kısaca özetlemek gerekirse, aynı kütledeki bir cevher yatağında en düşük örtü-kazı oranı kütleli yataklarda, daha sonra sırasıyla yatay ve dikey yataklarda oluşmaktadır.

Örtü-kazı oranına etki eden diğer bir faktör de, işletmenin genel şev açısının büyüklüğüdür. Artan şev açısı ile birlikte hem genel, hem de enstantane örtü-kazı



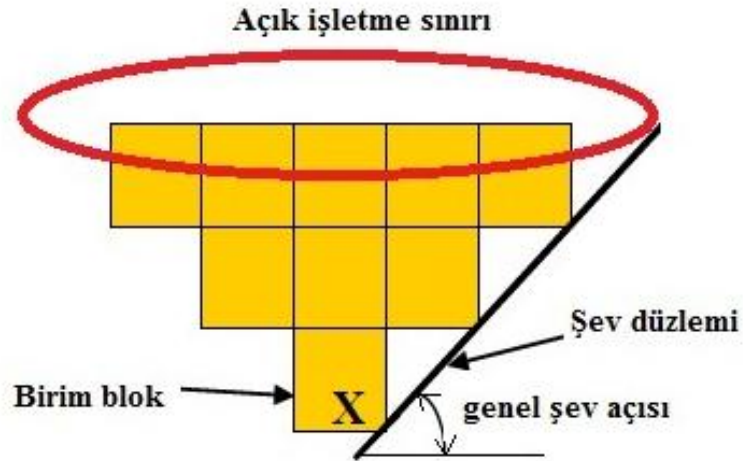
oranları azalmaktadır. Artan şev açısı ile birlikte şev kayması riski de artacağından optimum şev açıları saptanmalıdır.

Örtü-kazı oranları, cevher yatağının eğimiyle de değişmekte olup eğimli yataklarda derinlere gidildikçe artmaktadır. kazanılan cevher miktarı derinlere inildikçe sabit kalmakla birlikte, kaldırılacak olan örtü miktarı artmaktadır.

Ayrıca, topoğrafik yapının da örtü-kazı oranına önemli etkisi vardır.

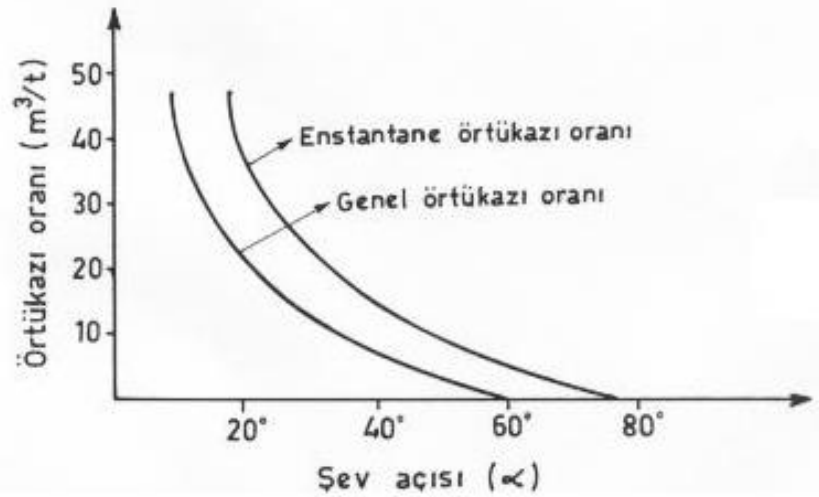
### 5.2.2 Genel şev açısı

Örtü-kazı oranına etki eden diğer bir faktör de, işletmenin genel şev açısının büyüklüğüdür. Açık işletmelerde artan şev açısı ile birlikte genel ve enstantane örtü-kazı oranları azalmakta iken şev stabilitesi de zorlaşmaktadır. Şev kayması riski, iş güvenliği ve işletme ekonomisi arasında ideal şev stabilite ve ekonomik analizler yapılarak işletme için optimum şev açısı saptanmalıdır (Şekil 5.2). Örtü-kazı oranları eğimli yataklarda derinlere gidildikçe artmakta ve kazanılan cevher miktarı derinlere inildikçe sabit kalmakla birlikte, kaldırılacak olan örtü miktarı artmaktadır.



Şekil 5.2 Açık işletmelerde genel şev açısı

Damar eğimi arttıkça hem genel, hem de enstantane örtü-kazı oranı artmaktadır. Eğim genel şev açısına eşit olana kadar tavan örtükazısı yapılmakta iken damar eğimi genel şev açısını aştığında taban örtükazısının da yapılmasını gerektirmektedir.



Şekil 5.3 Açık işletmelerde örtü-kazı oranlarının şev açısına bağlı olarak değişimi (Köse, 2001)

Basamaklar düzenlenip kalıcı şevler ve basamak genişlikleri belirlendikten sonra, mevcut jeolojik ve hidrojeolojik koşullar dikkate alınarak, şev stabilite analizlerinin yapılması gerekir. Kayaçlarda oluşturulan şevler, genellikle bir süreksizlik düzlemi boyunca düzlemsel bir kayma gösterecek şekilde kayarlar. Bu nedenle kayaçların süreksizlik (fay, çatlak, düzlemler arası kayma zonları vb.) içerip içermedikleri ve bu süreksizliklerin özellikleri (dalım açısı, doğrultusu, aralarındaki mesafe vb.) belirlenmelidir.

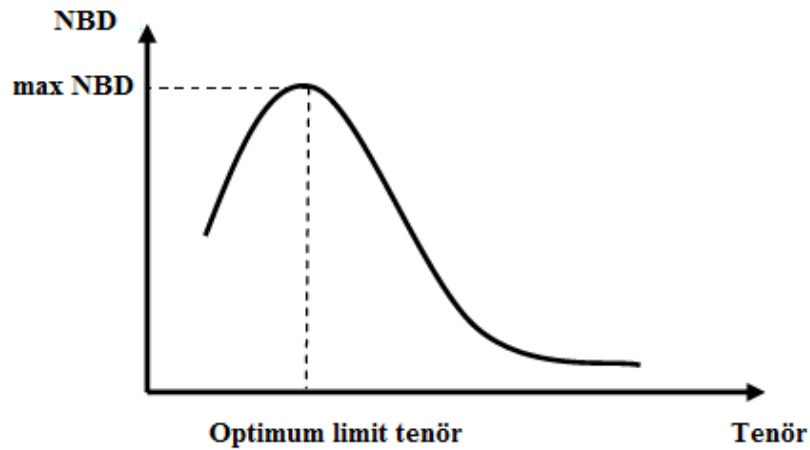
Gevşek kayaçlarda, üst örtü tabakasında veya dekapajda şev kaymaları genellikle dairesel şekilde olmaktadır. Şevlerin stabilitesi, daha çok kayacın makaslama dayanımına, içsel sürtünme açısına ve kohezyonuna bağlıdır. Bu parametreler laboratuvarlarda tespit edildikten sonra, herhangi bir şev stabilite analiz yöntemiyle şevlerin duraylı olup olmadıkları belirlenmelidir.

### 5.2.3 Limit (sınır) tenör

Cevher yatağının ekonomik değer taşıyan en düşük tenörüne, sınır tenör yada limit tenör denilmektedir. Kazı sırasında cevher tenörü sınır tenörün üzerinde ise, cevher hazırlama tesisine ya da satışa, altında ise örtü döküm sahasına sevk edilir. Kazanılacak her blok, madencilik, cevher hazırlama, metalürji ve pazarlama giderlerini karşılamalıdır.

Cevher üzerindeki örtü tabakası her durumda açılacağından limit tenörün altında olan malzeme dekapaj olarak, üzerinde olan malzeme ise cevher olarak değerlendirilmektedir. Sınır tenörün altında olan tabandaki cevherler işletilmemektedir; çünkü bu cevher blokları yaratacağı ek giderleri karşılayacak geliri getirememektedir.

Halbuki alt sınır tenörünün ekonomik görülmediği durumlarda, bu cevher bloğu olduğu yerde bırakılabilmektedir. Artan sınır tenör ile birlikte, ekonomik olarak değerlendirilecek cevher rezervi azalmaktadır. Buna karşın ton başına kar, artan sınır tenör oranına karşı önce artmakta, belirli bir tenör değerinde maksimum düzeye ulaşmakta ve sonra düşmektedir. Şekil 5.4’de limit tenör değeri ile net bugünkü değer değişim grafiği verilmektedir.



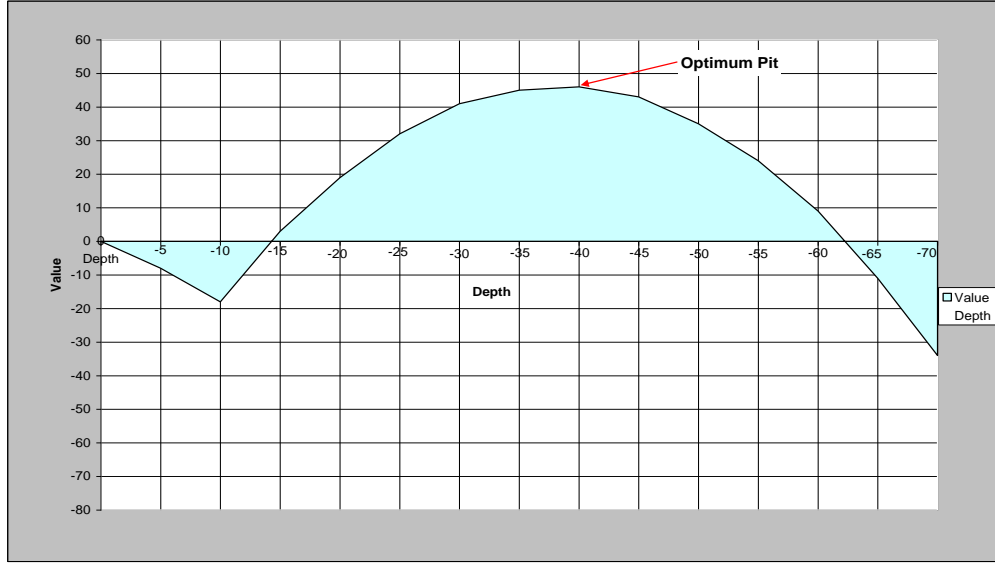
Şekil 5.4 Optimum limit tenör değeri ve net bugünkü değer değişim grafiği

#### 5.2.4 Üretim Kapasitesi

Planlamanın bu aşamasında, çözümü en zor sorunlardan biri olan yıllık üretim kapasitesinin belirlenmesi gerekir. Yıllık üretim miktarının belirlenmesinde, buna bağlı olmayan sabit giderlerin yanısıra cevherin üretimi öncesinden tükeninceye kadar olan tüm madencilik işlemleri, hem teknik hem de ekonomik açıdan dikkatle planlanmalıdır. Bir ekonomik analizde, aşağıdaki planların dikkate alınması gerekir: pazarlama planı, üretim planı, kapasite planı, yatırım planı, makina-ekipman randıman planı, gider- gelir bilanço planı, işletme ve genişleme planı, nakit akımı planı, kar planı ve net bugünkü değerlerdir.

### 5.3 Optimum Geçiş Derinliği

İşletme derinliğine bağlı kümülatif toplam değerler, işletme final derinliğini tayin etmektedir. Bu optimum değeri sağlayan pozisyon ve şartlar açık işletme final derinliğini belirlemektedir. Grafikselsel olarak pozitif noktalar açık işletmenin karlı bölgelerini negatif bölge ise açık işletmenin karlı olmadığı başka bir deyişle yer altı işletmesine geçiş derinliğine ilişkin sonuçları şekil 5.3’de görülmektedir.



Şekil 5.3 Açık işletmenin karlı olduğu bölümler ile geçiş derinliği

Ayrı ayrı ve kombine madencilik alternatiflerinde elde edilen işletme karları ve toplam kar değerlerine bakılarak optimal geçiş derinliği model de belirlenmektedir. Modelin algoritması şöyledir;

*Adım 1* : Cevher üretimi için açık işletme/yeraltı işletmesi veya kombine yöntem seçimi gerekmektedir. Eğer cevher kombine edilmiş bir yöntemle (açık ve kapalı) üretilecek ise optimal açık işletme derinliği, yeraltı işletme alternatifi hesaba katılmadan belirlenir. Daha sonra bir aşamaya geçilir. Aksi takdirde, uygun bir üretim yöntemi kalitatif ve kantitatif değerler kullanılarak seçilir.

*Adım 2* : Optimum nihai açık işletme limitinin belirlenmesinden sonra, açık işletme sınırları içinde kalan cevher rezervi ekonomik yönden değerlendirilmektedir. Eğer belirli bir limit tenördeki cevher tonajı ekonomik ise ve eğer yatırım karlılık

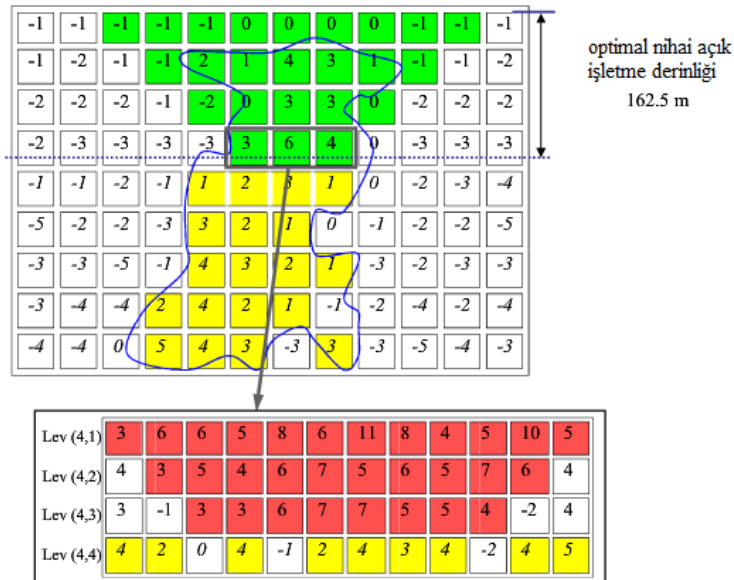
sağlıyorsa bir sonraki aşamaya devam edilir. Aksi takdirde, uygun bir yeraltı üretim yöntemi seçimi yapılarak proses bitirilir.

*Adım 3* : Belirli bir limit tenör değeri için açık işletme derinliğinin altında kalan cevher rezervi yeraltı madenciliği için ekonomik ise ve yatırım karlılık sağlıyorsa bir sonraki aşamadan devam edilir. Aksi takdirde, maksimum kazı yaparak cevher üretimi sağlayan açık işletme final limiti belirlenir ve proses tamamlanır.

*Adım 4* : Yüksek üretim kapasitesi ve düşük maliyetli cevher üretimini sağlayacak yeraltı üretim yöntemi, açık işletme madenciliği ile üretilemeyen daha derinlerdeki cevher rezervinin üretimi için seçilir. Örneğin, arakatlı göçertme, blok göçertme, arakatlı kazı yöntemi gibi... ve daha sonraki aşamaya geçilir. Aksi takdirde, optimum nihai açık işletme derinliği optimum geçiş derinliği olarak belirlenip atanır.

*Adım 5* : Son olarak optimum açık işletme madenciliğinden yeraltı işletmeciliğine geçiş derinliği belirlenir ve proses tamamlanır. Nilsson (1982, 1997), Bakhtavar and Shahriar (2007), Bakhtavar *et al.* (2009).

Şematik gösterimi Şekil 5.4' de verilen modelde, açık işletmeden yeraltı işletmesine optimal geçiş derinliği 162.5 metre olarak belirlenmiştir (Bakhtavar, 2008)



Şekil 5.4 Hipotetik çalışma ve nihai açık işletme derinliği

Model, toplam karın maksimizasyonuna göre değerlendirilmektedir. Açık ve yer altı işletme karları ve bunların kombine işletmesi ortaya çıkacak değerler bulunarak maksimum karı sağlayan dikey kombine madencilik opsiyonu optimal geçiş derinliğinde sağlanmaktadır. Hipotetik çalışmada 1 ile 9 arasında yer alan derinliğin arttığı dikey seviyeler içinde ilk üç seviyede açık işletmenin baskın olduğu, aynı şekilde 6,7,8 ve 9. seviyelerde ise yeraltı maden işletmesi seçimi açık ve kesindir. 4. seviye geçiş derinliği olup 162.5 metre olarak belirlenmiştir. 5. seviye açık ve yer altı işletmeleri arasında koruyucu topuk olarak tasarlanmaktadır (Bakhtavar, 2008).

Tablo 5.1 Derinlik seviyelerine göre açık ve yeraltı işletme karları

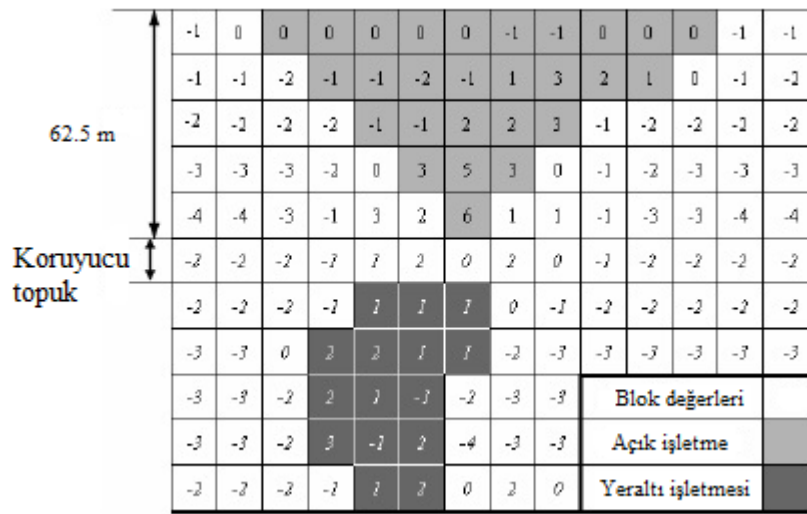
Seviyeler	Açık İşletme Karı	Yeraltı İşletme Karı	Seçilen Yöntem	Toplam Kar
Seviye 1	-3	-	Açık İşletme	-3
Seviye 2	11	4	Açık İşletme	11
Seviye 3	6	3	Açık İşletme	6
Seviye 4,1	5	0.94	Açık İşletme	5
Seviye 4,2	3.56	1.31	Açık İşletme	3.56
Seviye 4,3	2.25	1.5	Açık İşletme	2.25
Seviye 4,4	1.125	2.375	Koruyucu Topuk	0
Seviye 5	2	7	Koruyucu Topuk	0
Seviye 6	5	6	Yeraltı İşletmesi	6
Seviye 7	-	10	Yeraltı İşletmesi	10
Seviye 8	-	8	Yeraltı İşletmesi	8
Seviye 9	-	15	Yeraltı İşletmesi	15
<b>Toplam Kar</b>	<b>24.81</b>	<b>39.00</b>		<b>63.81</b>

Ayrı ayrı ve kombine madencilik alternatifleri için elde edilen kar ve bunların indirgenme faktörüyle dönüşümü sonucu ulaşılan net bugünkü değerleri ile yapılan modeli daha anlamlı ve gerçekçi kılmaktadır. Yapılan hipotetik çalışmada, optimal geçiş derinliğinin, karın ve aynı zamanda net bugünkü değerinin maksimum olduğu alternatifin rasyonel olduğu belirtilmektedir.

Değerler incelendiğinde kombine madencilik opsiyonlarından 5. alternatifin daha karlı ve rantabilitesinin daha yüksek olduğu görülmektedir (Tablo 5.2). Bu opsiyonu gerçekleyen açık işletmeden yeraltı işletmesine geçiş derinliğinin optimal 62.5 metre olduğu Şekil 5.5’de verilmektedir.

Tablo 5.2 Farklı alternatiflere göre açık ve yeraltı işletme kar ve net bugünkü değerleri

Alternatif	Açık İşletme		Yeraltı İşletme		Toplam	
	Kar	NBD	Kar	NBD	Kar	NBD
1	0	0	36	23.06	36	23.06
2	5	4.35	27	15.56	32	19.91
3	9	7.28	25	14.80	34	21.32
4	16	12.72	23	12.16	39	24.88
<b>5</b>	<b>22</b>	<b>16.12</b>	<b>18</b>	<b>9.42</b>	<b>40</b>	<b>25.54</b>
6	24	15.39	14	7.10	38	22.53
7	26	16.53	13	6.57	39	23.10
8	26	16.53	0	0	26	16.53



Şekil 5.5 Optimum geçiş derinliği ve açık-yeraltı işletme bölgeleri

#### 5.4 Değerlendirme

Geçiş derinliğinin belirlenmesine yönelik hedeflenen model çalışma için gözönünde bulundurulması gereken bazı kriterler vardır. Bunlar, işletme tipinin seçimi (açık veya kapalı), uygun bir üretim yöntemi seçimi, açık işletme derinliğinin seçilmesi, açık işletme yöntemi karlılığının hesaplanması, uygun yeraltı üretim yöntemi seçimi, açık işletme sınırları altında rezervin yeraltı işletmesi yöntemiyle kazanılması halinde işletme karlılığının hesaplanması, yüksek üretim kapasiteli ve düşük maliyete sahip üretim yönteminin seçimi, uygun üretim yöntemine karar verilmesi, optimum nihai açık işletme derinliği ve açık işletmeden yeraltı işletmesine geçiş derinliğinin tespit edilmesi şeklinde tanımlanmaktadır.

## **BÖLÜM ALTI**

### **TASARLANAN YAZILIM PROGRAMI**

#### **6.1 Giriş**

Maden işletme planlamasında, işletme ekonomik ömür süresinde cevher rezervinden maksimum kar ve NBD elde edilmesini sağlayan üretim modeli ve zamanının belirlenmesinin temel hedef olduğu düşünüldüğünde, optimal planın bulunmasının işletme rantabilitesi için önemi ortaya çıkmaktadır. Proje değerlendirme ve planlama aşamalarında, üretim kapasite ve sıralaması, zamanın bir fonksiyonu olarak üretim bloklarının net bugünkü değerlerini etkilediğinden, optimal planı belirleyen parametrelerin değişimi ve birlikte oluşturacağı kombinasyonların hesaplanıp değerlendirilmesi ancak bir yazılımla mümkündür. Bu nedenle, açık işletme ve yeraltı madenciliğinde uzun veya kısa dönemli üretim planlaması ve optimizasyonu için bir bilgisayar programı tasarlanmıştır.

#### **6.2 Program Amacı**

Hazırlanıp geliştirilen Visual Basic tabanlı yazılımda hedeflenen temel amaçlar özetle şunlardır;

Planlamada üretim kapasitesi ve üretim zamanının, işletme ekonomisine ve birim üretim maliyetine etkisi, nakit akışı ve NBD üzerindeki etkisinin belirlenmesi,

Farklı açık veya yeraltı işletmeleri için cevher üretim kapasitenin optimum işletme sınırlarının belirlenmesi ve değişken parametrelerin işletme sınır değişikliği üzerindeki etkilerinin araştırılması,

Maden işletmesinin ekonomik ömrü süresince kapasiteye bağlı olarak yıllara göre açık, kapalı ve kombine maden işletmeleri için oluşacak birim maliyet ve net bugünkü değer değerlerinin hesaplanıp ekonomik olarak değerlendirilerek ideal işletme derinliği ve sınırlarının belirlenmesidir.



### 6.3 Program Algoritması ve Genel Akım Şeması

Programın tasarlanmasında, cevher yataklanma geometrisi, formasyon özellikleri, kazılabilirlik, ortalama tenör değeri gibi jeolojik özelliklerin yanısıra, cevher satış fiyatı gibi ekonomik özellikler ile işletme şev açısı, kapasitesi vb gibi işletme özellikleri önemli kriterler dikkate alınmıştır.

Açık işletme üretim modellerinde değişen kapasiteler için gerekli olan kamyon ve ekskavatör sayıları vb. belirlenerek yapılması gereken makine-ekipman yatırımları bulunmaktadır. Yazılım ile değişen işletme ekonomik ömrü ve kapasite değerlerinde istenilen kapasiteye uygun makine sayıları belirlenmekte ve maliyet analizleri yapılarak farklı alternatiflerde oluşacak birim maliyetler ve net bugünkü değerleri bulunmaktadır.

Ayrıca yazılım farklı yeraltı işletme modellerinde sabit kapasitede gerekli olan yeraltı maden kamyonu, LHD, yükleyici ve delici sayıları vb. belirlenerek yapılması gereken makine-ekipman yatırımlarının bulunmasını da sağlamaktadır. Değişen işletme ekonomik ömrü ve kapasite değerlerine uygun gerekli makine parkı sayısı belirlenmektedir. Yazılım ile istenilen kapasiteye uygun makine sayıları belirlenmekte ve maliyet analizleri yapılarak farklı alternatiflerde oluşacak birim maliyetler ve net bugünkü değerleri bulunmaktadır.

Program algoritması aşağıda verilmektedir.

Adım 0. Başla

Adım 1. İşletilebilir rezervin belirlenmesi

Adım 2. İşletme tipinin seçimi (açık veya kapalı)

Adım 3. Açık işletme derinliğinin belirlenmesi

Adım 4. Açık işletmenin karlılığının ve NBD hesaplanması

Adım 5. Uygun yeraltı üretim yöntemi seçimi

Adım 6. Açık işletme sınırları altında bulunan rezervin yeraltı işletmesi yöntemiyle kazanılması halinde işletme karlılığının ve NBD'in hesaplanması

Adım 7. Maksimum kazı yapılarak açık işletme sınırının belirlenmesi

Adım 8. Optimum üretim yöntemi kombinasyonu

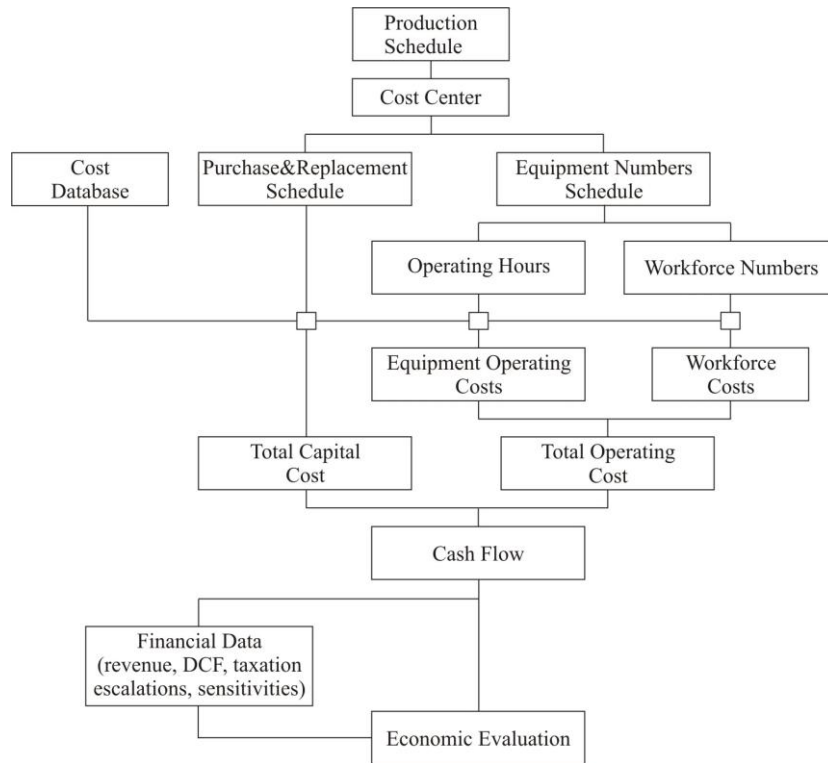
Adım 9. Uygun üretim yöntemine karar verilmesi

Adım 10. Optimum nihai açık işletme derinliği

Adım 11. Açık işletmeden yeraltı işletmesine geçiş derinliğinin belirlenmesi

Adım 12. Dur

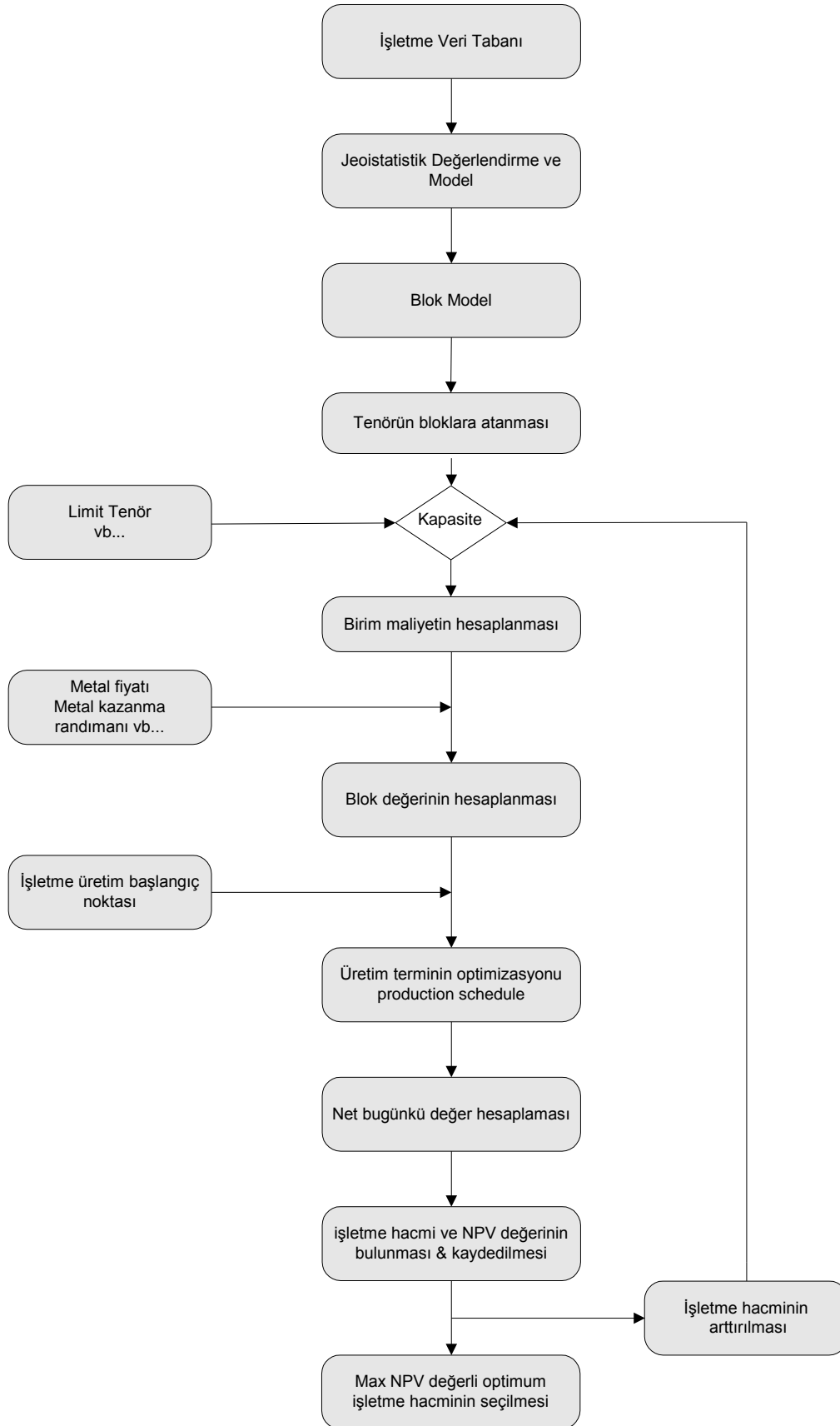
Programın gider hesaplamaları kısmında yararlanılan genel akım şeması şekil 6.1’de verilmektedir.



Şekil 6.1 Maden gider prosedürü akım şeması (Runge, 1998)

#### 6.4 Açık İşletme Modülü

Geliştirilen yazılımda, açık işletme genel şev açısı, makine ekipman seçimi, maden işletme birim üretim maliyeti, yıllık işletme giderleri ve yatırım giderleri, işletme verimi, tenör değeri, cevher satış fiyatı model için önemli kriterlerdir. Ayrıca, farklı üretim modellerinde değişen işletme kapasite ve ekonomik ömürleri için gerekli olan makine sayıları belirlenmekte ve makine-ekipman yatırımları bulunmaktadır. Farklı alternatifler için maliyet analizleri yapılarak birim maliyetler ve Net bugünkü değerleri (NBD) bulunmaktadır (Şekil 6.2).



Şekil 6.2 Açık işletme prosedürüne ait akım şeması

Maden yatağı ve rezerv belirlemek için veritabanından yararlanılarak, sondaj sayısı, sondaj adı, sondaja ait x,y ve z değerleri, cevhere giriş ve cevherden çıkış kot değerleri, kesilen cevher tenör değerleri ve sondaj etki alanları bu veritabanında yer almaktadır. Program veritabanından aldığı değerleri kullanarak cevher yatağını istenilen üç farklı tenör değerine göre değerlendirerek her bir tenör aralığına giren cevher hacmi ve tonajını sınıflandırarak toplam rezervi vermektedir.

Maden işletme alanıyla ilgili olarak, cevher kesilen en kuzey, güney, batı ve doğu sınır koordinat değerleri belirlenerek maden yataklanmasının uzanımı ve genişliği hakkında bilgiler türetilmektedir (Şekil 6.3). Bu veriler, açık işletme ve/veya kapalı işletme planlaması için ortak olup hesaplamaların başlangıcı için önemlidir.

The screenshot displays a software interface for reserve calculation. The main window, titled 'Reserve - Grade Distribution', contains a table of borehole data. The table has columns for 'Sondaj No/Sondaj Adı', 'X Koordinatı', 'Y Koordinatı', 'Z Sondaj', 'Cevher Giriş', 'Cevher Çıkış', 'Tenör', and 'Etki Alanı'. Below the table, there are input fields for 'Grade\_min (rich)', 'Grade\_min (average)', and 'Grade\_min (poor)', along with 'Density (t/m3)', 'Volume (m3)', and 'Tonnage (t)'. A 'Calculate' button is visible. A smaller window titled 'Form34' is open, showing a detailed table of borehole data with columns for 'Sondaj No', 'X Koordinatı', 'Y Koordinatı', 'Cevher Yoğunluğu', 'Oran\_01/02', 'Oran\_02/03', and 'Tenör'. The background shows a project tree with various form files.

Şekil 6.3 Sondaj verilerinin değerlendirilmesi ve cevher rezervine ilişkin teknik detaylar

Ayrıca, cevher taban kotu, cevherleşme üst kotu, ağırlıklı ortalama tenör ve cevher yoğunluğu, toplam cevher hacmi, tenör değerlerine ait bilgiler elde edilmektedir.

Cevher yatağının modellenmesi ve daha sonraki hesaplamalar açısından bu bölümün hazırlanması oldukça önemlidir. Cevher modelini ve işletme modelini oluşturan form (Şekil 6.4), rezerv ile ilgili bu bölümden gerekli data'ları alarak hesaplamaları yapmaktadır.

Orebody and Mine Model	
Orebody S_Code(m)	500
Orebody F_Code(m)	100
Depth (m)	400
Ore body Angle (deg)	70
Ore body Strike Direction (m)	120
Ore body thickness (m)	30
Ore Density (m)	4.1
Geological Factor	0.85
Geological Reserve (t)	6284324
Mine Reserve (t)	5341675
Working Day (day/year)	330
Shift Number	3
Shift Hour	8
Mining Working Hour	24
Working Hour yearly	7920
Mine Economical Life (y)	5
Ore Production (t/y)	1068335
Capacity (ton/day)	3237.379
Capacity (ton/h)	134.8908

Şekil 6.4 İşletme planlaması ve işletme modeline ilişkin teknik parametreler

Örtü formasyonu ve cevherin kazılabilirliği, gerekli olan kamyon, ekskavatör ve delici sayılarını etkilemektedir. Şekil 6.5'te kazı sınıflaması formu görülmektedir.

KAZILABİLİRLİK SINIFLANDIRMASI					
EK EKSENLI BASINÇ DAYANIMI					
DEĞER (MPa)	30				
RTALAMA SÜREKSİZLİK ANALIŞI					
DEĞER (cm)	30				
SMR, P DALGA HIZI					
DEĞER (m/sn)	30				
ERTLİK					
SHORE (SHV)	30				
YIŞIMA-BOZULMA					
DERECE	30				
AZLILIK					
TOPLAM PUAN	82				
OLAY	0-25	DOĞRUDAN KAZI	0	0	Delme
ORTA	26-45	PATLATMA GEREKLİ	1.48	130-200	Cevher
YAKIN	46-65	PATLATMA GEREKLİ	1.20	200-300	
ZOR	66-85	PATLATMA GEREKLİ	0.57	380-350	
İK ZOR	86-100	PATLATMA GEREKLİ	0.42	350+	

Delme Patlatma					
YILLIK KAPASİTE (m <sup>3</sup> /y)	3.963197E+07	4603200	220177.611111	25573.33	
Delik Çapı (mm)	90	90	90	90	
Delik Eğimi (derece)	72	72	83	83	
Delikler Arası Mesafe (m)	4	4	76.8	34.2	
Yük. Mesafesi (m)	3	3	0.5	0.5	
Anfo Yoğunluğu	0.9	0.9	1	1	
Delik Boyu (m)	15	15	3	3	
Siklama Payı (%)	30	30	24	24	
Kazılabilirlik	Kazılabilirlik	Delik Delme Süresi (d)	11.71075	26.31578	
Öğüt Şartı	0.24	0.315	Toplam Del. Delme Süresi	12.71	27.31
Toplam Delik Hacmi (m <sup>3</sup> )	67940.2918937	7891.1730576	Saatlik Delme Kapasitesi (ad/h)	2.52	1.64
Patlayıcı Miktarı (kg)	42802.3839930	4971.43930863	Delici Makina Kapasitesi (d/y)	27920.74	12997.96
Toplam Delik Sayısı	220177.611111	25573.333333	Delici Makina Sayısı	7.88354720000	1.967487
			Total Delici Makina Sayısı	9.85103480000	
			Time Efficiency	0	0

Şekil 6.5 Kazılabilirlik sınıflamasına göre delme-patlatma değerlerinin atanması

Programın makine-ekipman sayıları ve özellikleriyle ilgili bölümde, değişkenler için gerekli kamyon ve yükleyici sayıları bulunmaktadır (Şekil 6.6).

	DEKAPAJ	CEVHER
Yıllık Kapasite :	7926394	920640
Makina Yıllık Çalışma Saati :	4000	4000
Kasa Hacmi :	60	12
Makina Verimi :	0,9	0,9
İşyeri Verimi :	0,9	0,9
Kabarma Faktörü :	1,4	1,4
Keçpe Sayısı (n=3-6) :	4	2,4
Kamyon Dolu Faktörü :	0,9	0,9
Nakliyat Mesafesi (m) :	2000	2000
Kamyon Ort. Dolu Hızı (km/h) :	50	50
Kamyon Ort. Boş Hızı (km/h) :	70	70
Saatlik Kapasite :	263.493975903	64.8533772652
Kamyon Yıllık Kapasitesi :	1053975.90361	259413.509060
Kamyon Sayısı :	7.52046984453	3.54892851699
Yedek Faktörü :	15	15
Yedekli Kamyon Sayısı :	9	4

	DEKAPAJ	CEVHER
Kamyon Dolu Süresi (sn)	140	60
Boşaltma Süresi (sn)	20	20
Dolu Gidiş Süresi (sn)	144	144
Boş Dönüş Süresi (sn)	102.857142857	102.857142857
Manevra Süresi (sn)	20	20
<b>Toplam Çevrim Zamanı (sn)</b>	<b>426.857142857</b>	<b>346.857142857</b>

	DEKAPAJ	CEVHER
Keçpe Dolu Süresi (sn)	15	10
Dolu Gidiş Süresi (sn)	10	7
Boş Dönüş Süresi (sn)	6	5
Boşaltma _ Manevra Süresi (sn)	4	3
<b>Toplam Çevrim Zamanı (sn)</b>	<b>35</b>	<b>25</b>

	DEKAPAJ	CEVHER
Saatlik Kapasite (m <sup>3</sup> /h - t/h)	803.387755102	374.914285714
Elkavator Sayısı :	2.46655302799	0.61390032007
Yedekli Elkavator Sayısı :	3	1

Şekil 6.6 Yazılımdan makine-ekipman sayıları ve özellikleriyle ilgili arayüz

Programın ekonomik ve teknik değerlendirme bölümünde ise model değişkenlerinden oluşturulacak kombinasyonlar için makine sayıları ve yatırım maliyet değerleri bulunmaktadır (Şekil 6.7).

MAKİNA-EKİPMAN İLK YATIRIM				
Makine-Ekipman Yatırımı	SAYI	BİRİM FİYATI (\$)	Maliyet (\$)	Ekonomik Ömür
Dragline (Dekapaj)	0	10000000	0	25
DKE (Dekapaj)	0	15000000	0	25
Elkavator (Dekapaj)	3	5000000	15000000	15
Terskeçpe (Dekapaj)	0	300000	0	10
Loader (Dekapaj)	0	300000	0	10
Kamyon (dekapaj)	9	1200000	10800000	7
Band Konveyör	0	1000	0	10
Delik Delme Makinası	2	400000	800000	10
<b>Toplam Yatırım</b>			<b>26600000</b>	

Makine-Ekipman Yatırımı	SAYI	BİRİM FİYATI (\$)	Maliyet (\$)	Ekonomik Ömür
Dragline (Cevher)	0	10000000	0	25
DKE (Cevher)	0	15000000	0	25
Elkavator (Cevher)	1	1000000	1000000	15
Terskeçpe (Cevher)	0	300000	0	10
Loader (Cevher)	0	300000	0	10
Kamyon (Cevher)	4	500000	2000000	7
Band konveyör (Cevher)	0	1000	0	10
Delik Delme Makinası	1	400000	400000	10
<b>Toplam Yatırım</b>			<b>3400000</b>	

Yardımcı Makina-Donanım	SAYI	BİRİM FİYATI (\$)	Maliyet (\$)	Ekonomik Ömür
Paletli Dozer	1	300000	300000	15
Greyder	1	300000	300000	15
Mazot Kamyonu	1	50000	50000	7
Sulama Kamyonu	1	50000	50000	7
Pick-Up	2	30000	60000	5
Drenaj Pompası	4	2500	10000	2
<b>Toplam Yatırım</b>			<b>770000</b>	

**TOPLAM MAKİNA YATIRIMI** 30770000

Şekil 6.7 Makina-ekipman listesi ve yatırımını gösteren arayüz

Maliyet analizi ve ekonomik değerlendirme bölümünde, değişen işletme ekonomik sürelerinde işletme kapasite değişimlerinin birim maliyet ve net bugünkü değerleri belirlenmektedir (Şekil 6.8).

DEKAPAJ			CEVHER		
Yıllık Kapasite (m3):	Aylık Gider (\$)	BİRİM MALİYET (\$/Ton)	Yıllık Kapasite (ton):	Aylık Gider (\$)	BİRİM MALİYET (\$/Ton)
10725620.			1254372.0		
<b>Sabit Giderler</b>			<b>Sabit Giderler</b>		
Amortisman	1916780.0	0.178	Amortisman	73922.61	0.058
Faiz	3144123.0	0.293	Faiz	816822.60	0.651
Sigorta	290000.00	0.027	Sigorta	16200.00	0.012
Personel	10500.00	0.000	Personel	10500.00	0.008
<b>Toplam</b>	<b>5361403.0</b>	<b>0.499</b>	<b>Toplam</b>	<b>917445.21</b>	<b>0.731</b>
<b>İşletme Giderleri</b>			<b>İşletme Giderleri</b>		
Akaryakıt	3168000.0	0.295			
Elektrik	1287074.0	0.119			
İşçilik	115801.00	0.010			
Patlayıcı Madde	249930.80	0.023			
Lastik	612900.00	0.057			
Yağ	316800.00	0.029			
Yedek Parça	190970.00	0.017			
Tamir Bakım Giderleri	146900.00	0.013			
<b>Toplam</b>	<b>6088375.8</b>	<b>0.567</b>			
<b>Toplam</b>	<b>11449778.</b>	<b>1.067</b>			

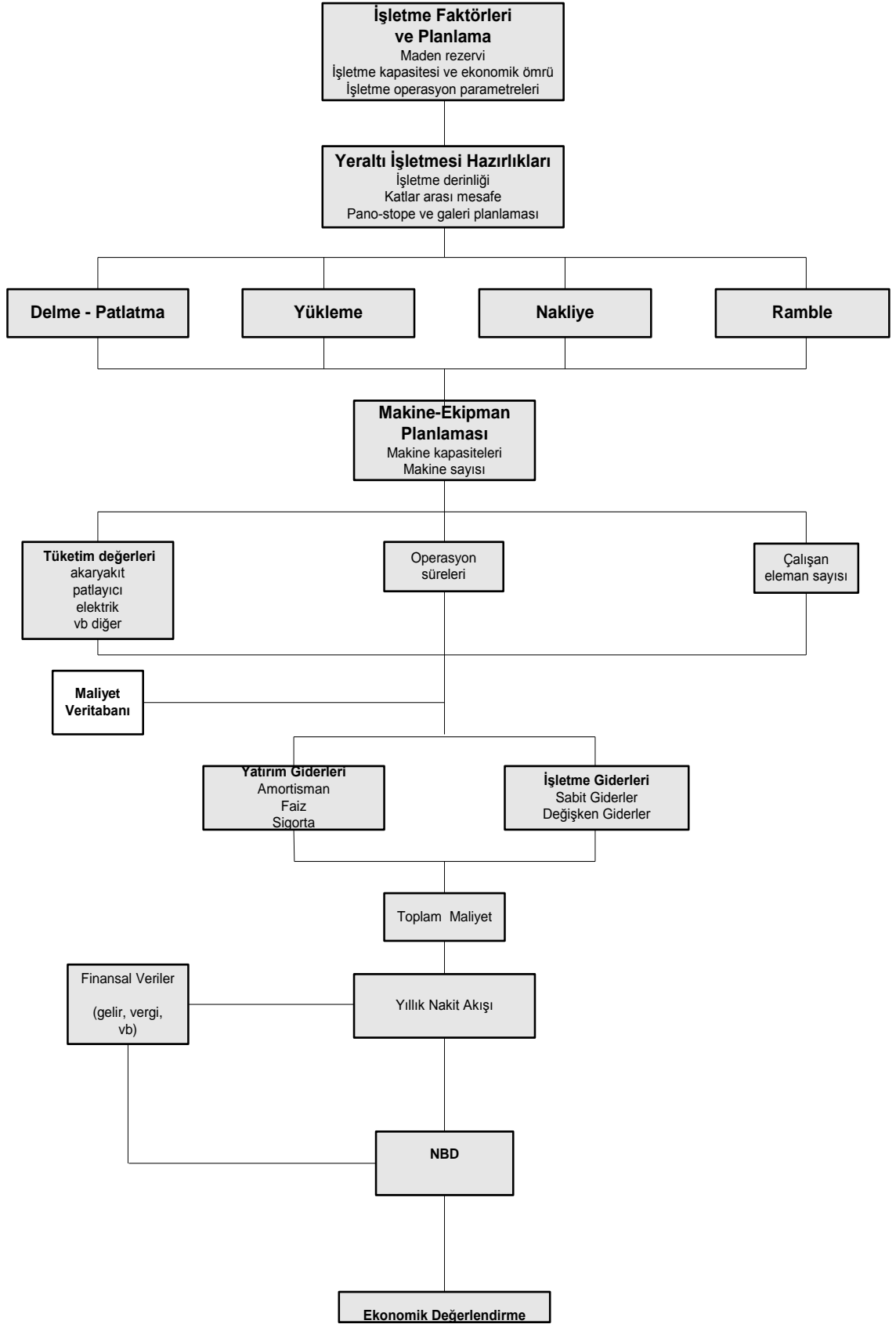
EKONOMİK DEĞERLENDİRME KRİTERLERİ	
URETİM KAPASİTESİ (t/g)	3801
TÜKENEN SATIŞ FİYATI (\$/Ton)	20
Yıllık Çalışma Süresi (gün/yıl)	330
CEVHER TENÖRÜ %	3
METAL KAZANMA VERİMİ %	90
METAL SATIŞ FİYATI(\$/Ton)	20
VERGİ ORANI %	18
DEVLET HAKKI %	5
YEREL VERGİLER (\$)	5000
FAİZ ORANI (%)	10
YATIRIM	
İşletme Ekonomik Ömrü (y):	20
İŞLETME SERMAYESİ (\$):	1000000
ARAMA VE HAZIRLIK GİDERLERİ (\$):	500000
MADEN HARC ÜCRETİ (\$):	2000
MADEN RUHSAT BEDELİ	30000
AMORTİSMAN:	1990000
İŞLETME MASRAFLARI (\$):	7750000
TÜKENME AMORTİSMANI:	0

Şekil 6.8 Maliyet analizi ve ekonomik değerlendirme

## 6.5 Yeraltı İşletme Modülü

Geliştirilen yazılımda, yeraltı işletmesinde makine ekipman seçimi, maden işletme birim üretim maliyeti, yıllık işletme giderleri ve yatırım giderleri, işletme verimi, tenör değeri, cevher satış fiyatı model için önemli kriterlerdir. Ayrıca model çalışmada, farklı üretim modellerinde değişen işletme kapasite ve ekonomik ömürleri için gerekli olan makine sayıları belirlenmekte ve makine-ekipman yatırımları bulunmaktadır. Farklı alternatifler için maliyet analizleri yapılarak birim maliyetler ve Net bugünkü değerleri (NBD) bulunmaktadır.

Yeraltı işletme modellerinde, yazılımı ile istenilen kapasiteye uygun makine sayıları belirlenmekte gerekli olan yeraltı maden kamyonu, LHD, yükleyici, delme makine, vb. sayıları belirlenerek makine-ekipman ilkyatırımları bulunmaktadır. Maliyet analizleri yapılarak farklı alternatiflerde oluşacak birim maliyetler ve Net bugünkü değerleri bulunmaktadır. Yazılım algoritması Şekil 6.9'da verilmektedir.



Şekil 6.9 Yeraltı işletme prosedürüne ait akım şeması

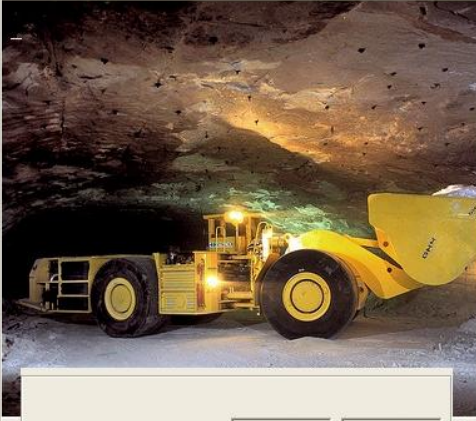


Programın makine-ekipman seçimi ilgili bölümünde, değişkenler parametreler kullanılarak gerekli LHD, maden kamyonu sayıları bulunmaktadır (Şekil 6.10 ve 11).

**UnderGround - LHD Selection**

### LHD Seçimi

	CEVHER	Y.KAYAÇ
Yıllık Kapasite :	1403325	22366.81
Kepçe Hacmi (m3)	4.6	4.6
Makina Verimi (%)	0.83	0.83
İşyeri Verimi (%)	0.9	0.9
Kabarma Faktörü :	1.4	1.4
Kepçe Dolu Faktörü :	0.9	0.9
Çevrim Zamanı :	0	0
Makina Yıllık Çalışma Saati :	4000	4000
Kepçe Tonajı (t)	0	0
Saatlik Kapasite (m3/h - t/h)	176.718857142	176.718857142
LHD Sayısı :	1.98525078575	3.16417986761



	CEVHER	Y.KAYAÇ
Kepçe Dolu Süresi (sn)	10	10
Dolu Gidiş Süresi (sn)	15	15
Boş Dönüş Süresi (sn)	10	10
Boşaltma , Manevra Süresi (sn)	10	10
Toplam Çevrim Zamanı (sn)	45	45

Buttons: Calculate, Next, Close X

Şekil 6.10 Yazılımdan makine-ekipman sayıları ve özellikleriyle ilgili arayüz

**UNDERGROUND HAULAGE MINETRUCK**

### Maden Kamyonu Seçimi

YERALTI KAMYONU

	CEVHER	YANKAYAÇ
Yıllık Kapasite :	1357736	8974.81
Makina Yıllık Çalışma Saati :	4000	4000
Kasa Hacmi :	12	12
Makina Verimi :	0.9	0.9
İşyeri Verimi :	0.9	0.9
Kabarma Faktörü :	1.4	1.4
Kepçe Sayısı (n=3-6)	4	4
Kamyon Dolu Faktörü :	0.9	0.9
Nakliyat Mesafesi (m)	750	1000
Kamyon Ort. Dolu Hızı (km/h)	15	15
Kamyon Ort. Boş Hızı (km/h)	25	25
Saatlik Kapasite :	0	0
Kamyon Yıllık Kapasitesi :	0	0
Yeraltı Maden Kamyonu Sayısı	0	0



Çevrim periyodu

	CEVHER	YANKAYAÇ
Kamyon Dolu Süresi (sn)	20	20
Boşaltma Süresi (sn)	15	15
Dolu Gidiş Süresi (sn)	180	240
Boş Dönüş Süresi (sn)	120	160
Manevra Süresi (sn)	10	10
Toplam Çevrim Zamanı (sn)	0	0

Buttons: Calculate, Next, Close X

Şekil 6.11 Yazılımdan makine-ekipman sayıları ve özellikleriyle ilgili arayüz

Programın yer altı işletmesi için ekonomik ve teknik değerlendirme bölümünde ise model için makine sayıları ve ilkyatırım maliyetleri bulunmaktadır (Şekil 6.12). Yeraltı işletmesi modelinde hazırlık ve cevher üretim maliyetleri, gider dağılımları da Şekil 6.13’ de görülmektedir.

**Underground Machine & Equipment**

MAKINA-EKİPMAN İLK YATIRIM İşletme Ömrü (y) 15

Üretim Makina Yatırımı				Hazırlık Makina Yatırımı					
SAYI	BİRİM FİYATI (\$)	Maliyet (\$)	Ekonomik Ömür	SAYI	BİRİM FİYATI (\$)	Maliyet (\$)	Ekonomik Ömür		
Ydelik Delme Makinası	1	287000	287000	15	Delik Delme Makinası	1	287000	287000	15
LHD	2	920000	1840000	15	LHD	1	920000	920000	15
Kaya Sap.Mak.	1	300000	300000	15	Kaya Sap.Mak.	1	300000	300000	15
Yeraltı Keçgesi	3	400000	1200000	10	Yeraltı Keçgesi	1	400000	400000	10
RaiseborerMakina	1	2000000	2000000	20	RaiseborerMakina	1	2000000	2000000	20
Yeraltı Kamyonu	1	650000	650000	7	Yeraltı Kamyonu	5	650000	3250000	7
Band Konveyör	1	1000	1000	20	Band konveyör	1	1000	1000	20
DDelik Delme Makinası	1	646000	646000	15	Delik Delme Makinası	1	646000	646000	15
<b>Toplam Yatırım</b>		<b>6924000</b>			<b>Toplam Yatırım</b>		<b>7804000</b>		

Yardımcı Makina-Donanım				
SAYI	BİRİM FİYATI (\$)	Maliyet (\$)	Ekonomik Ömür	
Vinç	1	50000	50000	15
Shotcret Mak.	1	20000	20000	15
Havalandırma Fanı	1	30000	30000	10
Kompresör	1	50000	50000	20
Kıncı	2	50000	100000	10
Drenaj Pompası	4	5000	20000	3
<b>Toplam Yatırım</b>		<b>270000</b>		

**TOPLAM MAKİNA YATIRIMI** 14998000

Calculate Next Close X

Şekil 6.12 Makina-ekipman listesi ve yatırımını gösteren arayüz

**Yeraltı İşletmesi - Gider Dağılımı ve Maliyet Analizi**

HAZIRLIK				ÜRETİM			
Yıllık Kapasite (m3)	Aylık Gider (\$)	Yıllık Gider (\$)	BİRİM MALİYET (\$/Ton)	Yıllık Kapasite (ton)	Aylık Gider (\$)	Yıllık Gider (\$)	BİRİM MALİYET (\$/Ton)
8974.80				446391.00			
<b>Sabit Giderler</b>				<b>Sabit Giderler</b>			
Amortisman		319964.30	35.651	Amortisman		406630.90	0.910
Faiz		1016855.0	113.301	Faiz		1110355.0	2.487
Sigorta		119630.00	13.329	Sigorta		130630.00	0.292
Personel		10500.00	1.169	Personel		10500.00	0.023
<b>Toplam</b>		<b>1466949.3</b>	<b>163.452</b>	<b>Toplam</b>		<b>1658115.9</b>	<b>3.714</b>
<b>İşletme Giderleri</b>				<b>İşletme Giderleri</b>			
Akaryakıt		2783902.0	310.190	Akaryakıt		6652800.0	14.903
Elektrik		76032.00	8.471	Elektrik		76032.00	0.170
İşçilik		70800.00	7.888	İşçilik		88800.00	0.198
Patlayıcı Madde		24680.72	2.750	Patlayıcı Madde		1115978.0	2.500
Lastik		87400.00	9.738	Lastik		137400.00	0.307
Yağ		172260.00	19.193	Yağ		196020.00	0.439
Yedek Parça		32753.50	3.649	Yedek Parça		39903.50	0.089
Tamir Bakım Giderleri		25195.00	2.807	Tamir Bakım Giderleri		30695.00	0.068
<b>Toplam</b>		<b>3273023.2</b>	<b>364.690</b>	<b>Toplam</b>		<b>8337628.5</b>	<b>18.677</b>
<b>Toplam</b>		<b>4739972.5</b>	<b>10.618</b>	<b>Toplam</b>		<b>9995744.4</b>	<b>22.392</b>

Şekil 6.13 Maliyet analizi ve ekonomik değerlendirme

## 6.6 Kombine İşletme Modülü

Değişen işletme ekonomik ömrü ve kapasite değerlerine uygun gerekli makine parkı sayısı belirlenmektedir. Yazılımı ile istenilen kapasiteye uygun makine sayıları belirlenmekte ve maliyet analizleri yapılarak farklı alternatiflerde oluşacak birim maliyetler ve Net bugünkü değerleri bulunmaktadır (Şekil 6.14).

Form27

MULTI\_MINE MODEL

Model Parameters

	OPEN PIT	UNDERGROUND
Mine starting code (m)	400	280
Mine finish code (m)	300	100
Protection Pillar (m)	20	
Mine Depth (m)	100	180
MINEABLE RESERVE (t)	1335418.75	2403753.75
TOTAL OVERBURDEN (m3)	4152420.61	
Total Mine Life (y)	20	
Economic Life Distribution (y)	1	0
Overburden capacity(m3/y)	207621.030	
Ore Production capacity (t/y)	66770.9375	0
PRODUCTION CAPACITY (t/y)		

	OPEN	OPENPIT	OPENPIT_OB	UND	UNDERGROUND
	0	0	0	20	120187.68
	1	1335418.75	4152420.61	19	126513.35
	2	667709.37	2076210.3	18	133541.87
	3	445139.58	1384140.2	17	141397.27
	4	333854.68	1038105.15	16	150234.6
	5	267083.75	830484.12	15	160250.25
	6	222569.79	692070.1	14	171696.69
	7	190774.1	593202.94	13	184904.13
	8	166927.34	519052.57	12	200312.81
	9	148379.86	461380.06	11	218523.06
	10	133541.87	415242.06	10	240375.37
	11	121401.7	377492.78	9	267083.75
	12	111284.89	346035.05	8	300469.21
	13	102724.51	319416.97	7	343393.39
	14	95387.05	296601.47	6	400625.62
	15	89027.91	276828.04	5	480750.75
	16	83463.67	259526.28	4	600938.43
	17	78554.04	244260.03	3	801251.25
	18	74189.93	230690.03	2	1201876.87
	19	70285.19	218548.45	1	2403753.75
	20	66770.93	207621.03	0	0

Calculate Next Close X

Şekil 6. 14 Açık işletme-yeraltı işletmesi kombinasyon modeli ile ilgili arayüz

## **BÖLÜM YEDİ**

### **MODEL UYGULAMA**

#### **7.1 Giriş**

Her maden sahası ve işletmesinin kendine has çok farklı özellikler göstermesi planlamayı karmaşık ve zor hale getirmektedir. Dolayısıyla her işletme için optimum koşullarda kendine özgü bir planlamanın yapılması gerekmektedir. İşletme, cevher yatağının geometrik yapısına ve derinliğine bağlı olarak tamamen bir açık işletme yada yeraltı işletmesi olarak planlanabileceği gibi bazen de belirli bir derinlik ve süreden sonra işletmelerin kombine bir şekilde açık işletme ile başlanılıp daha sonra yeraltı işletme tekniğinin uygulanacağı modelin planlaması şeklindedir.

Maden işletmesinin ekonomik ömrü süresince kapasiteye bağlı olarak yıllara göre açık ve yeraltı maden işletmelerinde oluşacak maliyet ve gelirler, paranın zaman değerini gözönüne alan net bugünkü değer yatırım teorisi yardımıyla ekonomik açıdan daha gerçekçi ve dinamik olarak değerlendirilmektedir. Hangi periyotta açık işletme yöntemini ve daha sonra ise kalan rezervin hangi yılda yeraltı işletmesi yöntemiyle planlaması durumunda sağlanacak toplam maksimum net bugünkü değer hesaplanmaktadır. Burada maksimum değeri sağlayan işletme derinliği, açık işletme yönteminden yeraltı işletme yöntemine optimal geçiş derinliği olarak bulunmaktadır. Bu nedenle, model çalışmada işletme karlılığını maksimize edecek optimum işletme kapasitelerinin belirlenmesi, açık/yeraltı işletme veya kombine edilmiş yöntemlerin hangi derinliğe ve sınıra kadar planlanması gerektiği üzerinde durulmaktadır.

Modelde, öncelikle maden sahasına ait 88 adet sondaj verisinden yararlanılarak rezerv hesaplaması yapılmıştır. Şekil 7.1’de maden rezervinin yataklanma modeli ve tenör dağılımı görülmektedir. Daha sonra belirlenen bu rezerv üzerinden, farklı üretim alternatifleri için sabit kapasitede gerekli olan makine-ekipman sayıları belirlenerek yapılması gereken makine-ekipman ilkyatırım tutarları bulunmaktadır. Değişen işletme ekonomik ömrü ve kapasite değerlerine uygun gerekli makine parkı belirlenmektedir. Değişen alternatif işletme yöntemlerinde istenilen kapasiteye



ilk yatırım tutarları üzerindeki etkileri incelenmektedir. Birim maliyet ve net bugünkü değerleri belirlenerek ekonomik değerlendirmeleri yapılmaktadır.

### 7.2.1 Optimum Açık İşletme Üretim Kapasitesi ve Ekonomik Ömrü

Modelde, 5 ile 25 yıl arasında değişen işletme sürelerinde kapasite değişimlerinin makine-ekipman sayısı ve ilk yatırım tutarları bulunmaktadır. Genel şev açısının değişimi ve kapasite değerlerinin değişimi ile makine parkını oluşturan yükleyici, kamyon ve delici makine sayıları belirlenmektedir (Tablo 7.2).

Tablo 7.2 İşletme parametrelerinin değişimi ile makine sayıları ve yatırım değerleri ilişkisi

Genel şev açısı	İşletme ömrü	Üretim Kapasitesi	Örtü-kazı oranı	Dekapaj			Cevher			Makine İlkyatırımı
				Eks	Kmy	Dlc	Eks	kmy	Dlc	
Derece	yıl	ton/gün	m <sup>3</sup> /ton	Eks	Kmy	Dlc	Eks	kmy	Dlc	\$
30 °	5	12345	14.36	42	103	26	7	16	1	349 890 000
	10	6172	14.36	21	52	13	3	8	1	175 930 000
	15	4115	14.36	14	34	9	2	5	1	116 970 000
	20	3086	14.36	10	26	6	2	4	1	86 050 000
	25	2469	14.36	8	21	5	1	3	1	69 130 000
45 °	5	12345	7.32	21	52	13	7	16	1	178 490 000
	10	6172	7.32	11	26	7	3	8	1	92 330 000
	15	4115	7.32	7	17	4	2	5	1	59 570 000
	20	3086	7.32	5	13	3	2	4	1	44 250 000
	25	2469	7.32	4	10	3	1	3	1	35 130 000
60 °	5	12345	4.36	12	31	8	7	16	1	106 290 000
	10	6172	4.36	6	15	4	3	8	1	52 930 000
	15	4115	4.36	4	2	3	2	5	1	35 770 000
	20	3086	4.36	3	8	2	2	4	1	27 850 000
	25	2469	4.36	2	6	2	1	3	1	19 930 000

Genel şev açısı ile yükselen örtü-kazı oranları ve artan kapasite değerleri ile birlikte makine parkını oluşturan yükleyici, kamyon ve delici makine sayıları artmaktadır. Dolayısıyla makine ilk yatırım tutarları da yükselmektedir.

Değişen işletme ekonomik sürelerinde kapasite değişimlerinin makine yatırımları, birim maliyet ve NBD üzerindeki etkileri incelendiğinde, örtü-kazı oranı 14.36 m<sup>3</sup>/ton olan 30 derece genel şev açısında yapılan planlamalarda daha güvenli bir işletme tasarlanırken düşük NBD değerleri sağlamaktadır (Tablo 7.3).

Tablo 7.3 İşletme parametrelerinin değişimi ile makine sayıları ve yatırım değerleri ilişkisi

İşletme ömrü	Kapasite t/gün	Kapasite t/yıl	Makine İlkyatırımı	Birim Maliyet \$/t	NBD \$
5 yıl	12345	4 073 786	349 890 000	12.42	287 137 345
10 yıl	6172	2 036 893	175 930 000	13.53	287 517 088
15 yıl	4115	1 357 929	116 970 000	14.49	230 540 096
20 yıl	3086	1 018 447	86 050 000	15.45	199 107 254
25 yıl	2469	814 757	69 130 000	16.57	160 856 798

Örtü-kazı oranı  $7.32 \text{ m}^3/\text{ton}$  olan  $45^\circ$  'lik genel şev açısında planlanan açık işletme tasarlandığında elde edilen NBD değerleri Tablo 7.4 'de verilmektedir.

Tablo 7.4 İşletme parametrelerinin değişimi ile makine sayıları ve yatırım değerleri ilişkisi

İşletme ömrü	Kapasite t/gün	Kapasite t/yıl	Makine İlkyatırımı	Birim Maliyet \$/t	NBD \$
5 yıl	12345	4 073 786	178 490 000	6.93	596 922 138
10 yıl	6172	2 036 893	92 330 000	8.05	500 064 883
15 yıl	4115	1 357 929	59 570 000	8.87	407 884 800
20 yıl	3086	1 018 447	44 250 000	9.94	338 148 726
25 yıl	2469	814 757	35 130 000	10.94	280 732 994

Genel şev açısı  $60$  derece ve örtü-kazı oranı  $4.36 \text{ m}^3/\text{ton}$  için tasarlanan modelde ise NBD değerleri ve birim üretim maliyetine göre karlılığı çok yüksektir. Fakat bu avantajına rağmen şev kayma riskinin yüksek olabileceği dezavantajını yarattığı için işyeri emniyeti açısından güvenli bir model olarak görünmemektedir (Tablo 7.5).

Tablo 7.5 İşletme parametrelerinin değişimi ile makine ilkyatırım değerleri ve NBD ilişkisi

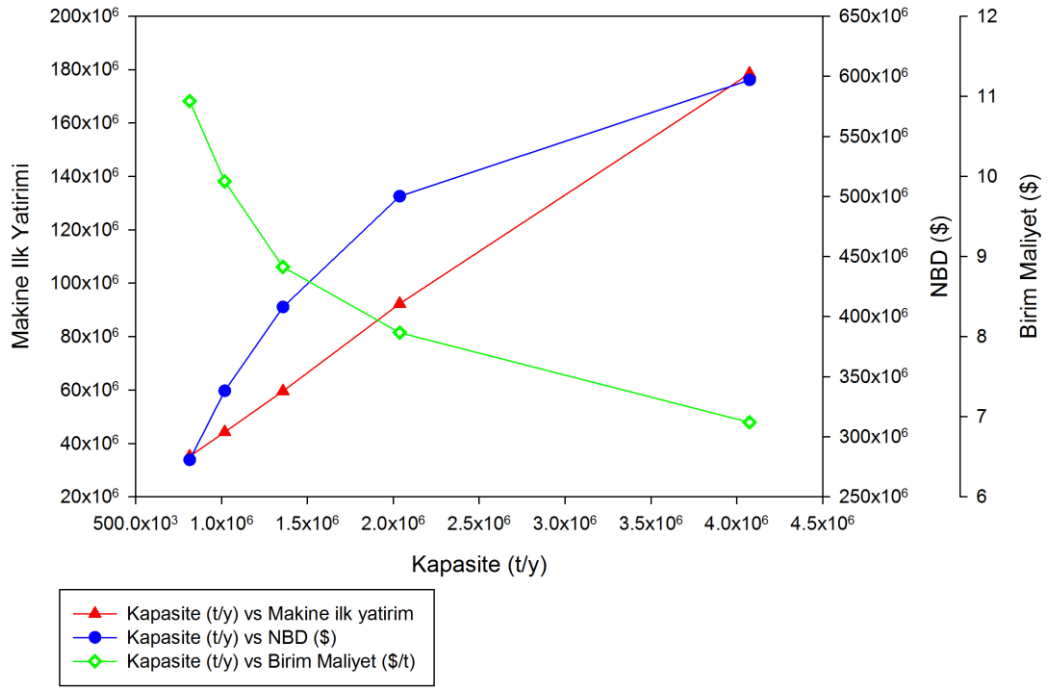
İşletme ömrü	Kapasite t/gün	Kapasite t/yıl	Makine İlkyatırımı	Birim Maliyet \$/t	NBD \$
5 yıl	12345	4 073 786	106 290 000	4.65	726 334 083
10 yıl	6172	2 036 893	52 930 000	5.61	596 588 548
15 yıl	4115	1 357 929	35 770 000	6.68	479 249 590
20 yıl	3086	1 018 447	27 850 000	7.83	392 193 270
25 yıl	2469	814 757	19 930 000	8.65	330 877 867

$45$  derecelik genel şev açısında yapılan açık işletme planlaması, ürettiği NBD değerleri bakımından ve daha güvenli bir model olduğu için optimum işletme modeli olarak görünmektedir.

Tablolar incelendiğinde, artan kapasite değerleri ile birlikte birim üretim maliyetleri düşmekte ve NBD değerleri ise ters orantılı olarak yükselmektedir.

İşletme ömrünün 5 yıl planlanması durumunda en yüksek NBD değerleri elde edilmektedir..

Şekil 7.4 deki grafikte ortalama bir işletme için değişen kapasitelerde oluşması öngörülen NBD' leri, birim üretim maliyetleri ve işletme kapasiteleri arasındaki ilişki görülmektedir.



Şekil 7.4 Değişen kapasitelerde oluşacak NBD ve birim maliyet değerleri grafiği

Yüksek kapasiteli ve dolayısıyla kısa işletme ömürlerinde planlanan açık işletmelerin daha yüksek NBD' leri sağladığı ve artan genel şev açılarında ise daha yüksek NBD ve karlılık ürettikleri görülmektedir. Ancak kısa süreli yüksek üretim kapasiteleri için ilk yatırımların oldukça yoğun olduğu görülmektedir. Yüksek kapasiteli, kısa süreli işletmelerde kullanılan makinaların ekonomik süreleri de gözönünde bulundurulduğunda, optimum kapasitenin yıllık 2 000 000 ton (6172 ton/gün) seviyesinde ve 10 yıl gibi sürede planlamanın yapılması daha rasyoneldir.



### 7.2.2 Optimum Yeraltı İşletme Üretim Kapasitesi ve Ekonomik Ömrü

Model çalışmada, yeraltı işletmeleri için 5 ile 25 yıl arasında değişen işletme ekonomik sürelerinde kapasite değişimlerinin, makine-ekipman sayı ve ilkyatırım tutarları üzerindeki etkileri incelenmektedir(Tablo 7.6). Daha sonra ise birim maliyet ve net bugünkü değerleri belirlenerek ekonomik değerlendirmeleri yapılmaktadır

Tablo 7.6 İşletme parametrelerinin değişimi ile makine sayıları ve yatırım değerleri ilişkisi

İşletme ömrü	Kapasite	Üretim				Hazırlık				Makine İlkyatırımı
		LHD	Kep	Kmy	Dlc	LHD	Kep	Kmy	Dlc	
5 yıl	12345 ton/gün	15	10	6	1	1	1	1	1	26 398 000 \$
10 yıl	6172	8	5	3	1	1	1	1	1	17 758 000
15 yıl	4115	5	4	2	1	1	1	1	1	14 678 000
20 yıl	3086	4	3	2	1	1	1	1	1	13 578 000
25 yıl	2469	3	2	2	1	1	1	1	1	12 478 000

Artan kapasite değerleri ile birlikte ilkyatırımları da yükselmektedir. İşletme ömrünün 5 yıl planlanması durumunda, en yüksek makine ilkyatırım değerleri oluşmaktadır. Yeraltı işletmesi için değişen kapasitelerde oluşması öngörülen NBD sonuçları, birim üretim maliyetleri ve işletme kapasiteleri arasındaki ilişki Tablo 7.7’de görülmektedir. NBD, artan kapasite değerleri ile birlikte paralellik göstermekte olup işletme ömrünün 5 yıl olması durumunda en yüksek değerleri sağlamaktadır.

Tablo 7.7 İşletme parametrelerinin değişimi ile makine ilkyatırımları ve NBD ilişkisi

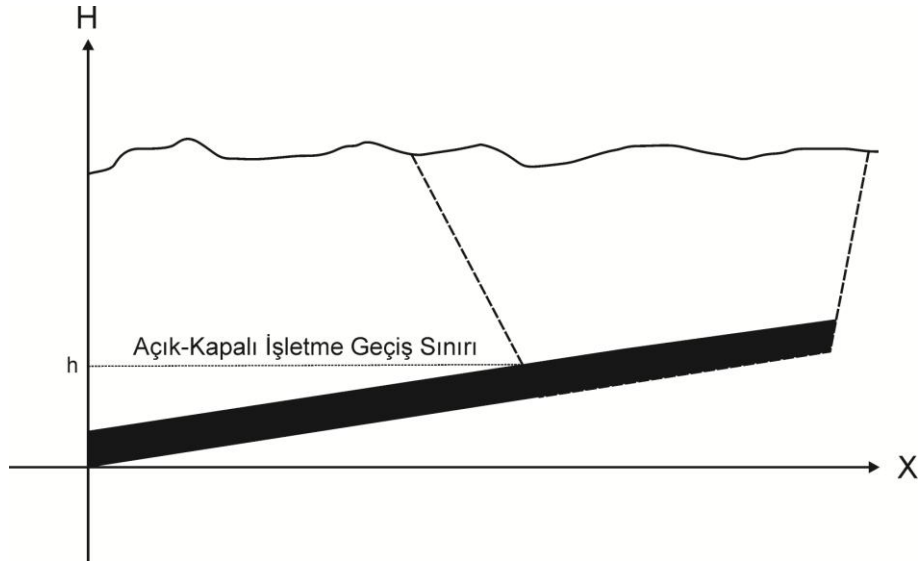
İşletme ömrü	Kapasite t/gün	Üretim t/yıl	Makine İlkyatırımı \$	Birim Maliyet \$/t	NBD \$
5 yıl	12345	4 073 786	26 398 000	11.45	776 325 232
10 yıl	6172	2 036 893	17 758 000	13.99	604 439 025
15 yıl	4115	1 357 929	14 678 000	16.39	476 459 979
20 yıl	3086	1 018 447	13 578 000	19.38	377 011 943
25 yıl	2469	814 757	12 478 000	21.57	307 170 721

Yüksek kapasiteli planlanan yeraltı işletmelerinin ve dolayısıyla kısa işletme ömürlerinde daha yüksek NBD değerleri sağladığı ve düşük birim üretim maliyetleri ile daha yüksek karlılık ürettikleri görülmektedir. Ancak kısa süreli yüksek üretim kapasiteleri için ilk yatırımların fazla olduğu görülmektedir. Kısa süreli yüksek kapasiteli planlanacak yeraltı işletmelerinde her ne kadar makine ilkyatırımı yoğun

olmasına rağmen yüksek değerli karlılık sağlanmaktadır. Öngörülen NBD gözönünde bulundurulduğunda, optimum kapasitenin yıllık 4 000 000 ton (12345 ton/gün) seviyesinde ve 5 yıl gibi kısa bir sürede planlanması daha ekonomik olmaktadır.

### 7.3 Optimum İşletme Geçiş Derinliği ve Zamanı

Derinlere doğru zamanla birlikte değişen açık işletme ve yeraltı maden işletmeciliği dinamiklerinin doğru belirlenmesi gerekmektedir. Bunlara göre kendi özel koşulları için dizayn edilecek uygun işletme planlamaları ile net bugünkü değerlerin öngörülmesi ve değerlendirilmesi planlama başarısını etkilemektedir. İşletmenin tamamen açık işletme yada yeraltı işletmesi olarak planlanmasına karar verilmesi, bazen de asıl olması gereken kombine bir işletme modelini ortadan kaldırmaktadır. Bu nedenle, hangi derinlik ve işletme süresinden sonra işletmelerin değişimi ile kombine edilmesi planlamada karar verme aşamasında temeldir (Şekil 7.5). Karar, alternatiflerin net bugünkü değerleri toplamını maksimize eden işletme modelidir.



Şekil 7.5 Optimal işletme geçiş derinliği

Örtü-kazı oranı  $5.22 \text{ m}^3/\text{ton}$  olan 55 derece genel şev açısında yapılan açık işletme planlamasında sabit işletme kapasitesi (3039 ton/gün) için işletme derinliği değişimlerinin makine ilkyatırımları üzerindeki etkileri incelenmektedir (Tablo 7.8).

Tablo 7.8 Açık işletme yönteminde makine sayıları ve yatırım değerleri

İşletme ömrü	Üretim Kapasitesi	Dekapaj			Cevher			Makine İlkyatırımı
		Ekst	Kmy	Dlc	Ekst	Kmy	Dlc	
yıl	ton/gün							\$
1	3039	4	5	2	2	2	1	29010000
2	3039	4	5	2	2	2	1	29010000
3	3039	4	5	2	2	2	1	29010000
4	3039	4	5	2	2	2	1	29010000
5	3039	4	6	2	2	3	1	30330000
6	3039	4	6	2	2	3	1	30330000
7	3039	4	6	2	2	3	1	30330000
8	3039	4	6	2	2	3	2	30330000
9	3039	4	7	2	2	3	1	31530 000
10	3039	4	7	2	2	3	1	31530 000
11	3039	4	7	2	2	3	1	31530 000
12	3039	4	7	2	2	3	1	31530 000
13	3039	4	7	2	2	3	1	31530 000
14	3039	4	8	2	2	3	1	32730000
15	3039	4	8	2	2	4	1	32850000
16	3039	4	8	2	2	4	1	32850000
17	3039	4	8	2	2	4	1	32850000
18	3039	4	9	2	2	4	1	34050000
19	3039	4	9	2	2	4	1	34050000
20	3039	4	9	2	2	4	1	34050000

Tablo 7.9 Açık işletmede derinlikle değişen ekonomik değerler

İşletme ömrü	İşletme derinliği	Üretim Kapasitesi	Makine İlkyatırımı	Açık İşletme	
				Birim Maliyet \$/t	NBD \$
yıl	m	ton/gün	\$		
1	20	3039	29010000	7.975	4079029
2	40	3039	29010000	7.975	46593562
3	60	3039	29010000	8.035	85122008
4	80	3039	29010000	8.035	120224718
5	100	3039	30330000	8.360	148986579
6	120	3039	30330000	8.360	177724629
7	140	3039	30330000	8.360	196091178
8	160	3039	30330000	8.360	219841633
9	180	3039	31530 000	8.647	236404103
10	200	3039	31530 000	8.647	255126119
11	220	3039	31530 000	8.647	272812114
12	240	3039	31530 000	8.647	288890292
13	260	3039	31530 000	8.647	303506817
14	280	3039	32730000	8.934	313528887
15	300	3039	32850000	8.973	320067288
16	320	3039	32850000	8.973	330943857
17	340	3039	32850000	8.973	340831647
18	360	3039	34050000	9.255	343989923
19	380	3039	34050000	9.255	352087908
20	400	3039	34050000	9.255	359674767

Sabit cevher üretim kapasiteli tasarlanan açık işletmede derinliğe bağlı olarak makine ilkyatırımlarının arttığı ve dolayısıyla birim birim üretim maliyetinin de arttığı görülmektedir. Buna karşın sağlanan NBD'leri de artmaktadır (Tablo 7.9). Yeraltı işletme model planlamasında sabit işletme kapasitesi (3039 ton/gün) için işletme derinliğiyle yeraltı hazırlık yatırımlarının yükseldiği görülmektedir. NBD'ler de derinleştikçe artan rezervle birlikte yükselmektedir (Tablo 7.10).

Tablo 7.10 Değişen işletme derinliği ile yeraltı işletmesi ekonomik değerleri

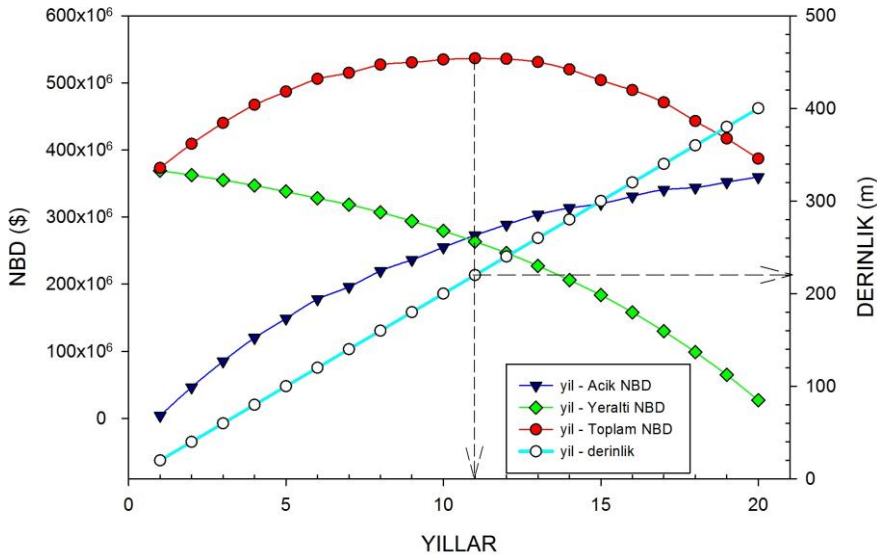
İşletme ömrü yıl	İşletme derinliği m	Kapasite ton/gün	Makine İlkyatırımı \$	Yeraltı Hazırlık İlkyatırımı \$	Ekonomik Değerlendirme			
					Top. Br. mal	Haz. Br mal	Üretim Br. mal	NBD \$
1	20	3039	13 578 000	3 861 064	19.627	4.714	14.913	27 216 511
2	40	3039	13 578 000	5 568 757	19.614	4.711	14.903	64 768 828
3	60	3039	13 578 000	6 891 258	19.64	4.719	14.921	98 914 238
4	80	3039	13 578 000	7 478 045	19.616	4.713	14.903	129 941 259
5	100	3039	13 578 000	9 033 383	19.629	4.717	14.912	158 159 509
6	120	3039	13 578 000	10 977 197	19.642	4.721	14.921	183 813 963
7	140	3039	13 578 000	12 054 303	19.643	4.722	14.921	206 237 322
8	160	3039	13 578 000	12 266 876	19.654	4.723	14.931	227 441 328
9	180	3039	13 578 000	13 342 177	19.658	4.727	14.931	246 710 284
10	200	3039	13 578 000	15 162 715	19.635	4.723	14.912	263 579 661
11	220	3039	13 578 000	15 505 806	19.640	4.,723	14.917	279 518 665
12	240	3039	13 578 000	16 589 911	19.646	4.725	14.921	293 998 427
13	260	3039	13 578 000	17 674 952	19.647	4.726	14.921	307 156 730
14	280	3039	13 578 000	17 874 952	19.661	4.730	14.931	318 671 235
15	300	3039	13 578 000	18 074 952	19.661	4.730	14.931	328 116 886
16	320	3039	13 578 000	18 274 952	19.662	4.731	14.931	338 001 641
17	340	3039	13 578 000	18 474 952	19.663	4.732	14.931	346 987 216
18	360	3039	13 578 000	18 674 952	19.650	4.729	14.921	355 142 890
19	380	3039	13 578 000	18 874 952	19.625	4.722	14.903	362 542 214
20	400	3039	13 578 000	19 074 952	19.626	4.723	14.903	369 053 203

İşletmenin tamamen açık işletme olarak sabit kapasiteli planlanmasına karar verilmesi durumlarında NBD, 359 674 767 değeri elde edilmektedir. Model yeraltı işletmesi olması durumunda ise 20 yıl için NBD, 369 053 203 bulunmaktadır. Kombine işletme modelinde ise açık ve yeraltı işletme alternatiflerinin net bugünkü değerleri toplamını en yüksekleyen değer ideal olması düşünülen modeldir.

Tablo 7.11 Değişen işletme derinlik ve zamanı ile açık/yeraltı işletmesi ekonomik değerleri

Derinlik	Kapasite	Açık İşletme Ekonomik Değerlendirme			Yeraltı İşletme Ekonomik Değerlendirme			Toplam		
		m	ton/gün	yıl	Top. Br. mal	NBD \$	yıl		Top. Br. mal	NBD \$
0		0					20	19.626	369053203	369053203
20	3039	1	7.975	4079029	19	19.625	362542214	366621243		
40	3039	2	7.975	46593562	18	19.650	355142890	401736452		
60	3039	3	8.035	85122008	17	19.663	346987216	432109224		
80	3039	4	8.035	120224718	16	19.662	338001641	458226359		
100	3039	5	8.360	148986579	15	19.661	328116886	477103465		
120	3039	6	8.360	177724629	14	19.661	318671235	496395864		
140	3039	7	8.360	196091178	13	19.647	307156730	503247908		
160	3039	8	8.360	219841633	12	19.646	293998427	513840060		
180	3039	9	8.647	236404103	11	19.640	279518665	515922768		
200	3039	10	8.647	255126119	10	19.635	263579661	518705780		
<b>220</b>	<b>3039</b>	<b>11</b>	<b>8.647</b>	<b>272812114</b>	<b>9</b>	<b>19.658</b>	<b>246710284</b>	<b>519522398</b>		
240	3039	12	8.647	288890292	8	19.654	227441328	516331620		
260	3039	13	8.647	303506817	7	19.643	206237322	509744139		
280	3039	14	8.934	313528887	6	19.642	183813963	497342850		
300	3039	15	8.973	320067288	5	19.629	158159509	478226797		
320	3039	16	8.973	330943857	4	19.616	129941259	460885116		
340	3039	17	8.973	340831647	3	19.640	98914238	439745885		
360	3039	18	9.255	343989923	2	19.614	64768828	408758751		
380	3039	19	9.255	352087908	1	19.627	27216511	379304419		
400	3039	20	9.255	359674767	0					

Tablo 7.11 incelendiğinde, ilk 11 yıllık periyotta açık işletme modeli daha sonra ise kalan rezervin 9 yıl yeraltı işletmesiyle tüketilmesi durumunda toplam maksimum net bugünkü değer 519 522 398 ile sağlanmaktadır. Ayrıca, açık işletme yönteminden yeraltı işletme yöntemine optimal geçiş derinliği olarak 220 m bulunmaktadır (Şekil 7.6).



Şekil 7.6 NBD değerlerine göre işletme geçiş derinliği ve ekonomik ömürleri

## **BÖLÜM SEKİZ**

### **SONUÇ VE ÖNERİLER**

Yenilenemeyen yeraltı kaynaklarının ideal şekilde değerlendirilmesi, ülke ekonomisine daha yüksek oranda katma değer kazandırarak dış ticaret açığını ve dışa bağımlılığı bir ölçüde azaltacağından üretim planlamasının daha uygun ve ekonomik şekilde faydalanılmasını gerektirmektedir. Diğer yandan giderek artan pazar koşulları ve rekabet ortamı, minimum maliyetle üretim gerçekleştirmeyi de zorunlu kılmaktadır. Bu ancak üretim artışı ve büyük yatırımlarla gerçekleştirilebilir. Dolayısıyla madeni işletmeye almadan önce operasyonu maksimum karlı kılacak işletilebilir cevher rezerv bölümlerinin optimal açık işletme nihai derinliğiyle, kapasite ve ekonomik işletme ömürleriyle birlikte ayrıntılı olarak belirlenmesi, işletmenin daha uygun ve gerçekçi planlanıp değerlendirilmesi açısından oldukça önem taşımaktadır.

Yüksek kapasitelerde planlanan açık işletmelerin daha yüksek net bugünkü değerler (NBD) sağladığı ve artan genel şev açılarında ise daha yüksek NBD ve karlılık ürettikleri görülmektedir.

Yüksek kapasiteli planlanan yeraltı işletmelerinin ve dolayısıyla kısa işletme ömürlerinde daha yüksek NBD' ler sağlandığı ve düşük birim üretim maliyetleri ile daha yüksek karlılık ürettikleri görülmektedir. Ancak yeraltı işletmesinde hazırlık planı ve yatırımlarının proje fizibilitesinde önemli etken olduğu görülmektedir.

Ancak kısa süreli yüksek üretim kapasiteleri için işletmelerde kullanılan makine ilkyatırımlarının yüksek olmasına rağmen çok yüksek değerli karlılık ve net bugünkü değerler sağlandığı görülmektedir. Öngörülen net bugünkü değerleri ve makine ömürleri gözönünde bulundurularak yatırım finansmanı ile birlikte optimum kapasitenin planlanmasının daha ideal olacağı öngörülmektedir.

Maden işletmelerinin kendine has özelliklerinden dolayı farklı dinamik yapısı planlamayı karmaşık ve zor hale getirmektedir. Dolayısıyla her işletmenin kendine özel optimum koşullarında planlanmasının yapılması ve değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu planlama, bazen tamamen bir açık işletme yada yeraltı işletmesi olarak bazen de belirli bir derinlik ve süreden sonra işletmelerin değişimi ile kombine edilmiş bir işletme modelinin tercihi şeklinde olabilmektedir. Planlamanın asıl amacı ve başarısı, bu değişim noktasının doğru tanımlanmasına dayanmaktadır.

Optimum koşullarda planlanma ve sonrasında yapılan yatırım analizlerinde karar verme süreci, nitelikli teknik ve ekonomik çalışmaların değerlendirildiği riskli ve karmaşık işlemler olduğundan, günümüzde başlıca yöntem olarak Net Bugünkü Değer tekniğinden faydalanılmaktadır. Statik yöntemlerden farklı olarak paranın zaman değerini de öne çıkarması ve piyasa faiz oranıyla uyumlu dinamik bir yapı sunması nedeniyle proje değerlendirmelerinde popülerdir. Çalışma kapsamında hazırlanan yazılım yardımı ile değişik kapasitelerde ve derinliklerde planlanan işletmelerden elde edilecek net bugünkü değerler ve karlılık değerleri hesaplanmaktadır. Sonuç olarak NBD’i maksimum yapan ideal işletme kapasitesi ve derinlik optimizasyonu ile açık işletme sınırlarının belirlenmesi ve yerüstü tesis yapılarının tasarlanması planlamada en önemli kararlardandır.

Planlama çalışmalarında, belirli bir süre boyunca açık işletme yöntemi ve daha sonra ise kalan rezervin belirli bir süre ve kapasite dahilinde yeraltı işletmesi olarak planlanması durumunda, maksimum toplam net bugünkü değer sağlandığı işletme modelinin diğer açık ve yeraltı işletmesi planlaması yapılarak elde edilen değerlerden daha yüksek net bugünkü değerler sağladığı görülmektedir. Açık işletme yönteminden yeraltı işletme yöntemine optimal geçiş derinliğinin belirlenmesi ile işletmeden daha yüksek gelir ve kar sağlanması planlamaya yeni bir boyut ve bakış açısı kazandırmaktadır. Bu nedenle, her işletmenin karlılığını maksimize edecek optimum işletme kapasitesinin belirlenmesi, açık/yeraltı işletme yöntemlerinin hangi derinlik ve sınıra kadar belirli bir ekonomik sürede planlanması gerektiğinin bilinmesi, maden yataklarının ve maden işletmelerinin optimal değerlendirilip daha rasyonel ve gerçekçi fizibilitelemelerinin yapılması açısından oldukça önemlidir.

**KAYNAKLAR**

- Abdollahisharif, J., Bakhtavar, E. & Shahriar, K. (2008). Open-pit to underground mining where is the optimum transition depth? *Proceedings of 21st WMC & Expo*, London, 189-196.
- Arancibia, E. & Flores, G. (2004). Design for underground mining at Chuquicamata ore body-Scoping engineering stage, *Proceedings of MassMin Conference*, Santiago, Chile, 603-609.
- Askari-Nasab, H., Frimpong, S. & Szymanski, J. (2008). Investigating continuous time open pit dynamics. *Journal of The Southern African Institute of Mining and Metallurgy, SAIMM, vol 108*, 61-71.
- Baffoe, S.B. & Al-Hassan, S. (2005). Open pit mine planning and design – a case study. *Application of Computers and Operations Research in the Mineral Industry*, London, ISBN 04 1537 449 9, 287-290.
- Bakhtavar, E., Shahriar, K. & Oraee, K. (2009). Mining method selection and optimization of transition from open-pit to underground in combined mining. *Archives of Mining Sciences, Vol.54*, No 3, 481-493.
- Bakhtavar, E., Shahriar, K. & Oraee, K. (2008). A model for determining optimal transition depth over from open-pit to underground mining, *Proceedings of 5th International Conference on Mass Mining*, Sweden, 393-400.
- Başçetin, A. (1999). *Açık işletmelerde optimum ekipman seçimi*, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Boshkov, S.H. & Wright, F.D. (1973). Basic and parametric criteria in the selection, design and development of underground mining systems. *SME Mining Engineering Handbook*, SME-AIME, New York.



- Camus, J. P. (1992). Open pit optimization considering an underground alternative. *Proceeding of 23th International APCOM Symposium*, 435-441.
- Ceylanoğlu, A., Karpuz, C. & Paşamehmetoğlu A.G. (1994). Specific digging energy as a measure of diggability. *Third International Symposium on Mine Planning and Equipment Selection*, İstanbul , 489-494.
- Chen, J., Li, J., Luo, Z. & Guo, D. (2001). Development and application of optimum open-pit software for the combined mining of surface and underground. *Proceeding of CAMI Symposium*, 303-306.
- Chen, J., Guo, D. & Li, J. (2003). Optimization principle of combined surface and underground mining and its applications, *Journal of Central South University of Technology*, Volume 10, No 3, 222-225.
- Clayton, C., Pakalnis R., & Meech J. (2002). Aknowledge-based system for selecting a mining method. *IPPM Conference*, Canada.
- Coleou, T. (1989). Technical parameterization of reserves for open pit design and mine planning, *Proceeding of 21th International APCOM Symposium*, 485-494.
- Çebi, Y. (1995). *Computer aided design of open-pits and middle and long term mine planning*, Dokuz Eylul University Graduate School of Natural and Applied Sciences, PhD, June, İzmir.
- Çebi, Y., Köse, H. (1987). Örtü kazı yöntemlerinin ekonomik açıdan değerlendirilmesi, *10. Türkiye Madencilik Bilimsel ve Teknik Kongresi*, Ankara, 65-84.
- Dağdelen, K. ( 2001). Open pit optimization strategies for improving economics of mining projects through mine planning, *17th International Mining Congress and Exhibition of Turkey- IMCET 2001*, 117-121.

- Dowd, P.A. & Onur, A. H. (1992). Optimizing open pit design and sequencing. *Proceeding of 23th International APCOM Symposium*, 411-422.
- Elevli, B. (1995). Open pit mine design and extraction sequencing by use OR and AI concepts. *International Journal of Surface Mining. Reclamation and Environment*, Vol. 9, 149–153.
- Erarslan, K. & Celebi, N. (2001). A simulative model for optimum open pit design. *The Canadian Mining and Metallurgical Bulletin*, Vol. 94, 59–68.
- Erdem, Ö., Güyagüler, T. & Demirel, N. (2012). Uncertainty assessment for the evaluation of net present value: A Mining industry perspective. *Journal of The Southern African Institute of Mining and Metallurgy, SAIMM*, Vol 112, 405-412.
- Eskikaya, Ş., (1986). İş makinalarının verimlilik analizi, *Teknoloji ve Uygulama Geliştirme Projesi*, TKİ Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Flores, G. (2004). Geotechnical challenges of the transition from open pit to underground mining at Chuquicamata Mine. *Proceedings of MassMin Conference*, Santiago, Chile, 591-602.
- Fuentes, S. S. (2004). Going to an underground (UG) mining method, *Proceedings of MassMin Conference*, Santiago, Chile, 633-636.
- Francois-Bongarcon, D. & Guibal, D. (1982). Algorithms for parameterizing reserves under different geometrical constraints. *Proceeding of 17th International APCOM Symposium*, 297-309.
- Gönen, A. (2010). *ETİBAKIR A.Ş. Küre bakır madeni yeraltı üretim yönteminin teknik ve ekonomik açıdan irdelenmesi*, Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.

- Hartman, H. (1992) Underground mining method. *Mining Engineering Handbook*, 2058-2068.
- Hartman, H.L. & Mutmanský, J.M. (2002). Underground mining method; *Introductory Mining Engineering*. John Wiley, New Jersey.
- Hustrulid, W. (2001). Underground mining method engineering fundamentals and International case studies. *Society for Mining, Metallurgy and Exploration*, Littleton, Colorado, USA.
- Hochbaum, D. S. & Chen, A. (2000). Performance analysis and best implementations of old and new algorithms for the open-pit mining problem; *Journal of Operation Research*, Vol. 48, No. 6, 894-914.
- Jalali, S.E., Ataee-pour, M. & Shahriar, K. (2006). Pit Limits optimization using stochastic process. *Canadian Institute of Mining Bulletin*, Vol. 58, 125-134.
- Johnson, T.B. & Sharp, R.W. (1971). Three dimensional dynamic programming method for optimal ultimate pit design; *US Bureau of Mines, Report of Investigation*, No.7553.
- Kahriman, A. (1993). Açık işletme nihai sınır belirleme. *Maden İşletme Projeleri Hazırlama ve Değerlendirme*, Cumhuriyet Üniversitesi Yayınları, Sivas.
- Kırmanlı, C. (2003). *Açık işletmelerde optimum ekipman seçimi*, Doktora Tezi, İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Kırmanlı, C. & Erçelebi, S.G. (2009). An expert system for hydraulic excavator and truck selection in surface mining. *The Journal of Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, Volume 109, 727-738.

- Koenigsberg, E (1982). The optimum contours of an open pit mine: An application of dynamic programming. *Proceeding of 17th International APCOM Symposium*, 201-136.
- Köse, H., Yalçın, E., Şimşir, F., Konak, G., Onargan, T., Karakuş, H. (2001). *Açık İşletme Tekniği* (Düzeltilmiş 2. Baskı), D.E.Ü Mühendislik Fakültesi Yayınları No: 256, İzmir.
- Köse, H., Aksöz, H.İ., Kahraman B. (1997). Net bugünkü değer yöntemi. *Maden İşletme Ekonomisi*, DEU Mühendislik Fakültesi Yayınları No:223, İzmir.
- Lerchs, H. & Grossmann, I.F. (1965). Optimum design of open pit mines. *Canadian Institute of Mining Bulletin*, vol 58, 17-24.
- Lizotte, Y. (1988). Economic and technical relations between open-pit design and equipment selection. *Mine Planning and Equipment Selection*, Singhaj (Ed), Balkema, Rotterdam.
- Mallı, T., Konak, G., Köse, H., Karakuş, D., Gönen, A. (2011). Açık işletmelerde dinamik kamyon atama ve izleme sistemi, 3. *Maden Makinaları Sempozyumu*, Mayıs, 2011, İzmir, 282-293.
- Maitra, S., Rao, P.V. Sengupta, D. & Rao, V.S. (1994). Optimal production scheduling using operations research techniques in a large opencast iron ore mine. *Mine Planning and Equipment Selection 1994*, 87-91.
- Matheron, G. (1975). Parametrage des contours optimaux; Note geostatistique, *Center de Geostatistique et de Morphologie Mathematique, Internal Report N-401*, France.

- Morley, C., Snowden V. & Day D. (1999). Financial impact of resource/reserve uncertainty. *Journal of the South African Institute of Mining and Metallurgy, Vol 99*, 293-301.
- Mukherjee, K. (1991). Optimal production planning of opencast mines: A case from Indian Mining industry. *International Journal of Surface Mining and Reclamation* 5, 39-43.
- Nilsson, D. S. (1997). Optimal final pit depth: Once again. *International Journal of Mining Engineering*, 71-72.
- Onur, A.H. & Dowd, P.A. (1992). Optimal scheduling in open pit mining. *Leeds University Mining Association (LUMA) Journal*, England, 71-80.
- Paşamehmetoğlu, G.N. (1988). Jeoteknik ve performans verilerinin değerlendirilmesi, kazılabilirlik sınıflama sisteminin önerilmesi, *TKİ Final Raporu*, Ankara.
- Runge, I.C. (1998). Mining economic and strategy. *Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, SME*, Littleton, CO, USA, 24-171.
- Saydam, S. (2000). Comparison of ultimate pit limit design methods: A Case Study, *Dokuz Eylül University Graduate School of Natural and Applied Sciences, PhD*, October.
- Sevim, H. & Lei, D.D. (1994). The state of term production planning in open pit mining. *Mine Planning and Equipment Selection*, 69-75.
- Snowden, D.V., Glacken, I. & Noppe, M. (2002). Dealing with demands of technical variability and uncertainty along the mine value chain. *Value Tracking Symposium*. Queensland, Australia.

- Stebbins, S.A. & Schumacher, O.L. (2001). Cost estimating for underground mines. *Underground Mining Methods, SME*, 49-56.
- Wilke, F.L., Mueller, K. & Wright, E. A. (1984). Ultimate and production scheduling optimization. *Proceeding of 18th International APCOM Symposium*, 29-39.
- Whittle, J. (1988). Beyond optimization in open pit design. *Computer Applications in the Mineral Industry*, Balkema, Rotterdam, 331-337.
- Yalçın, E. (1991). Açık işletme dizaynı için üç boyutlu dinamik programlama tekniği, *Madencilik Dergisi, Cilt 30, Sayı 4*, 13-19.
- Yalçın, E. (1991). Dinamik programlama tekniğindeki gelişmeler, *Madencilik Dergisi, Cilt 32*, 40-51.
- Zhao, Y. & Kim, Y.C. (1992). A new graph theory algorithm for optimal ultimate design. *Proceeding of 23th International APCOM Symposium*, 423-434.

# **EK 1**

## **Sondaj Verileri**

Sondaj No	Koordinatlar			Cevhere Giriş	Cevherden Çıkış	Tenör
	X	Y	Z	m	m	%
1	55766,66	39474,98	2316,09	2310,09	2265,19	0,45
2	55925,22	39442,93	2280,15	2266,09	2146,40	0,45
3	55820,85	39421,37	2313,48	2300,98	2160,88	0,45
4	55795,18	39359,49	2345,16	2299,26	2171,66	0,45
5	55963,19	39377,40	2300,05	2270,40	2147,05	0,45
6	55871,51	39464,55	2289,50	2259,12	2172,35	0,45
7	55804,62	39520,44	2295,19	2261,09	2251,79	0,45
8	55898,74	39506,82	2239,68	2185,58	2182,98	0,45
9	55899,60	39392,98	2306,58	2301,13	2156,28	0,45
10	55906,00	39394,00	2311,00	2121,00	2121,00	0,45
11	56070,00	39299,00	2344,00	2123,00	2123,00	0,45
12	56121,00	39304,00	2336,00	2123,00	2083,00	0,45
13	56128,00	39367,00	2300,00	2124,00	2119,00	0,45
14	56158,00	39376,00	2294,00	2124,00	2090,00	0,45
15	56140,00	39435,00	2260,00	2126,00	2124,00	0,45
16	55843,00	39335,00	2350,00	2155,00	2155,00	0,45
17	55811,00	39299,00	2375,00	2150,00	2150,00	0,45
18	55967,00	39339,00	2339,00	2152,00	2129,00	0,45
19	55961,00	39282,00	2379,00	2145,00	2136,00	0,45
20	56046,00	39411,00	2153,00	2153,00	2135,00	0,45
21	56039,00	39376,00	2310,00	2153,00	2137,00	0,45
22	55998,00	39408,00	2152,00	2149,00	2144,00	0,45
23	56116,00	39365,00	2300,00	2145,50	2121,50	0,45
24	55884,00	39330,00	2340,00	2152,00	2150,50	0,45
25	56064,00	39349,00	2310,00	2121,50	2102,00	0,45
26	56062,00	39289,00	2352,00	2124,00	2124,00	0,45
27	55919,00	39273,00	2375,00	2134,40	2133,10	0,45
28	55924,00	39307,00	2355,00	2150,00	2150,00	0,45
29	55928,00	39338,00	2338,00	2151,00	2151,00	0,45
30	55953,00	39449,00	2152,00	2152,00	2152,00	0,45
31	56229,00	39349,00	2321,00	2117,00	2062,00	0,45
32	56097,00	39280,00	2359,00	2109,50	2059,50	0,45
33	56118,00	39206,00	2405,00	2107,00	2080,50	0,45
34	56080,00	39229,00	2395,00	2121,00	2057,50	0,45
35	56062,00	39256,00	2385,00	2122,00	2092,00	0,45
36	56171,00	39286,00	2364,00	2123,00	2056,50	0,45
37	56014,00	39205,00	2422,00	2108,00	2090,00	0,45
38	56082,00	39259,00	2385,00	2123,00	2059,00	0,45
39	55951,00	39179,00	2452,00	2122,00	2100,00	0,45
40	56166,00	39229,00	2391,00	2122,00	2118,70	0,45
41	56169,00	39260,00	2381,00	2123,00	2068,50	0,45



42	56175,00	39320,00	2329,00	2107,50	2052,00	0,45
43	56225,00	39304,00	2358,00	2124,00	2084,00	0,45
44	56246,00	39417,00	2292,00	2123,50	2086,50	0,45
45	55933,00	39402,00	2285,00	2240,00	2240,00	0,45
46	56210,00	39417,00	2279,00	2125,00	2125,00	0,45
47	55906,00	39454,00	2240,00	2230,00	2227,50	0,45
48	55849,00	39208,00	2410,00	2125,00	2125,00	0,45
49	55965,00	39307,00	2362,00	2153,00	2131,00	0,45
50	55992,00	39373,00	2316,00	2152,00	2141,00	0,45
51	55967,00	39326,00	2348,00	2152,00	2132,00	0,45
52	56064,00	39414,00	2275,00	2152,00	2137,00	0,45
53	55786,00	39406,00	2326,00	2295,00	2213,00	0,45
54	55918,00	39515,00	2275,00	2239,00	2190,50	0,45
55	55842,00	39400,00	2307,00	2304,35	2183,50	0,45
56	55822,00	39367,00	2329,00	2303,00	2165,50	0,45
57	55838,00	39484,00	2277,00	2277,00	2201,00	0,45
58	55829,00	39457,00	2296,00	2296,00	2188,00	0,45
59	55809,00	39381,00	2327,00	2248,00	2172,50	0,45
60	55937,00	39467,00	2273,00	2239,00	2171,00	0,45
61	55907,00	39412,00	2285,00	2261,30	2152,50	0,45
62	55872,00	39352,00	2325,00	2281,40	2152,50	0,45
63	55866,00	39331,00	2345,00	2150,00	2141,80	0,45
64	56007,45	39441,70	2270,55	2218,55	2153,55	0,45
65	55981,00	39398,00	2303,00	2228,00	2147,00	0,45
66	55944,00	39353,00	2329,00	2169,50	2156,00	0,45
67	56081,00	39471,00	2283,00	2179,40	2171,50	0,45
68	56035,00	39419,00	2275,00	2227,00	2141,80	0,45
69	56007,00	39388,00	2307,00	2236,00	2140,00	0,45
70	55951,00	39406,00	2280,00	2267,50	2162,00	0,45
71	55984,00	39360,00	2324,00	2222,00	2167,00	0,45
72	55918,00	39359,00	2308,00	2292,50	2147,80	0,45
73	55900,00	39302,00	2316,00	2239,00	2129,00	0,45
74	56137,00	39436,00	2260,00	2138,00	2117,00	0,45
75	56123,00	39385,00	2285,00	2120,00	2120,00	0,45
76	56181,00	39414,00	2275,00	2109,00	2106,00	0,45
77	56180,00	39376,00	2298,00	2105,50	2076,75	0,45
78	56140,00	39326,00	2337,00	2109,00	2072,50	0,45
79	56198,00	39350,00	2315,00	2115,50	2054,00	0,45
80	56195,00	39302,00	2356,00	2120,00	2043,25	0,45
81	56026,61	39504,00	2275,00	2260,00	2260,00	0,45
82	56099,00	39365,00	2310,00	2150,00	2126,00	0,45
83	55911,00	39448,00	2117,00	2117,00	2117,00	0,45
84	56071,50	39315,25	2332,00	2121,00	2121,00	0,45
85	56129,25	39323,50	2324,00	2118,00	2080,50	0,45
86	56129,50	39380,00	2290,00	2121,00	2116,25	0,45
87	56166,70	39386,50	2121,00	2118,00	2104,75	0,45
88	56136,50	39461,00	2255,00	2121,00	2119,50	0,45

# **EK 2**

## **Net Bugünkü Değer Tablosu**

