

AÇIK OCAKLARDA OPTİMUM OCAK SINIRINI  
ETKİLEYEN BAŞLICA FAKTÖRLERİN  
BİLGİSAYAR DESTEKLİ İNCELENMESİ

Ceylan UZUNER

Yüksek Lisans Tezi

Maden Mühendisliği Anabilim Dalı

Aralık 2005

AÇIK OCAKLARDA OPTİMUM OCAK SINIRINI ETKİLEYEN BAŞLICA  
FAKTÖRLERİN BİLGİSAYAR DESTEKLİ İNCELENMESİ

Ceylan UZUNER

Dumlupınar Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca  
Maden Mühendisliği Anabilim Dalında  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
Olarak Hazırlanmıştır.

Danışman: Doç.Dr. Kaan ERASLAN

Aralık – 2005

**KABUL VE ONAY SAYFASI**

Ceylan UZUNER'in YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı AÇIK OCAKLARDA OPTİMUM OCAK SINIRINI ETKİLEYEN BAŞLICA FAKTÖRLERİN BİLGİSAYAR DESTEKLİ İNCELENMESİ başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir

...../...../.....

Üye : .....

Üye : .....

Üye : .....

Fen Bilimleri Enstitüsün Yönetim Kurulu'nun ...../...../..... gün ve ..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

.....  
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

## AÇIK OCAKLARDA OPTİMUM OCAK SINIRINI ETKİLEYEN BAŞLICA FAKTÖRLERİN BİLGİSAYAR DESTEKLİ İNCELENMESİ

Ceylan UZUNER

Maden Mühendisliği, Yüksek Lisans Tezi, 2005

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Kaan ERASLAN

### ÖZET

Bu araştırmada açık ocaklarda optimum ocak sınırını ve ona bağlı kabul edilen üretim planını etkileyen başlıca faktörler, sınır ve üretim optimizasyon programları desteğiyle incelenmiştir. Bu faktörler; jeolojik yapıya bağlı üretim başlangıç koordinatları (cevherin ekonomik açıdan zengin olduğu bölge, en fazla rezerv bulunan bölge kalitece en zengin bölge, yüzeye en yakın olduğu bölge), yıllık üretim miktarı ve sınır tenörüdür. Ayrıca stok sahasında zenginleştirme öncesi ulaşılabilecek olan stok seviyesi, tesisin günlük cevher işletme miktarı ve kalitesi gibi parametrelerin optimum ocak sınırına etkileri simülatif bir yaklaşımla incelenmiştir. 3 boyutlu blok model üzerinde denenmiş olan her parametrenin neticeleri kaydedilip, sonuçlar kıyaslanarak, nihai ocak sınırına olan etkilerinin belirlenmesi ve işletmenin değişik safhalarındaki stok durumunun bilgisayar ortamında gözlemlenmesi de amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda, hipotetik blok modelleri geliştirilerek, her parametre, güncellenen ve ara yüz tasarımı yeniden yapılan simülatif bir optimizasyon yazılımı ile irdelenmiştir.

Ayrıca blok modelde; cevher kalitesi, yoğunluğu, yüzeye yakınlık ve ekonomik durumunu kümülatif değerler halinde sayısal ve görsel olarak sunabilen bir matematik model ve yazılım geliştirilmiştir. Böylelikle, cevherin ekonomik olarak sahanın neresinde yoğunlaştığı, kalitesinin arttığı, yüzeye yakınlığı görülebilmekte ve buna göre optimizasyon denemeleri yapılabilmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Bilgisayar destekli simülasyon, sınır tenörü, ocak sınır parametreleri optimum ocak sınırı,.

## **COMPUTER AIDED EXAMINATION OF THE MAJOR FACTORS AFFECTING OPTIMUM OPEN PIT LIMITS**

Ceylan UZUNER

Mining Engineering, M.S. Thesis, 2005

Thesis Supervisor: Doç. Dr. Kaan ERASLAN

### **SUMMARY**

In this study, the main factors affecting optimum limits and dependently production planning of open pit mines are examined by means of pit limit optimization and production scheduling software. These factors are excavation starting point which is dependent on geological structure (economically richest part of ore body, reserve intense part of ore body, quality rich part of are body and closer to surface part of ore body), annual production rate and cut-off grade. Besides, effect of stockpile accumulation amount before plant activity, daily ore production amount and ore quality desired by plant are also studied by a simulative approach. The results of each parameter are recorded after applications on three dimensional block model. All results are compared to find out their effect on optimum limits and monitor stockpiles' mass flow at any time in computer medium. Regarding the aim, hypothetical there dimensional models are utilized and a previously developed optimization software is upgraded and new interfaces are developed.

Additionally, a mathematical model and software are developed for numerical and graphical cumulative of ore quality, amount, position to surface and economical structure which are derived from three dimensional block model. This information assists in optimization studies to observe rich, high reserve and exposure parts of ore body.

**Key words:** Optimum pit limits, cut-off grade, computer aided simulation, pit limits parameters.

## TEŞEKKÜR

Tez çalışmalarım süresince her türlü imkanı sağlayan, mesleki bilgi ve birikimlerini esirgemeyen danışman hocam Doç. Dr. Kaan ERARSLAN'a katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Çalışmalarım esnasında desteklerini esirgemeyen TCDD Şube 71 Şefliği personeline ve özellikle Şube Şefi Mustafa KURNAZ, Kısım Şefi İsmail TURAN ve Tesisler Kontrolörü Ersan KATIK Beylere teşekkür ederim.

Tahsil hayatım boyunca desteklerini sürdüren ve halen destekçim olan İnşaat Mühendisi Sn: Ali Rıza KIRKIKOĞLU'na ve Sn: Ahmet CANOĞLU'na da ayrıca şükranlarımı sunarım.

Her zaman destekçim olan aileme de sonsuz teşekkürlerimi arz ederim.

## İÇİNDEKİLER

|   |     |
|---|-----|
| ÖZET .....  | iii |
| SUMMARY .....   | iv  |
| TEŞEKKÜR .....  | v   |
| İÇİNDEKİLER .....   | vi  |
| TABLolar DİZİNİ .....   | x   |
| 1. GİRİŞ .....  | 1   |
| 2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI .....  | 3   |
| 2.1. Açık Ocak Sınır Optimizasyonu .....  | 3   |
| 2.2. Sınır Optimizasyonu İçin Genel Değerlendirme .....                         | 4   |
| 2.3. Üretim Planlamasının Optimizasyonu (Blok Çıkarma Sıralaması) .....         | 5   |
| 2.4. Üretim Planlaması Çalışmalarına Genel Bir Değerlendirme .....              | 6   |
| 2.5. İki Optimizasyon Konusunu Birleştirme Çalışmalarının Değerlendirmesi ..... | 6   |
| 2.6. Simülatif Ocak Tasarımı .....  | 7   |
| 3. SİMÜLATİF OPTİMİZASYON MODELİ .....  | 8   |
| 3.1. Optimizasyon Sisteminin Matematik Modeli .....                             | 9   |
| 3.2. Cevher Ortalama Tenör Fonksiyonu .....                                     | 14  |
| 3.3. Cevher rezerv kümülatif fonksiyonu .....                                   | 15  |
| 3.4. Yüzeye yakınlık fonksiyonu .....   | 15  |
| 4. EKONOMİK OCAK SINIR YAZILIMI .....   | 16  |
| 4.1. Ana Menü .....   | 16  |
| 4.2. Blok Model Boyutları .....   | 17  |
| 4.3. Rasgele Sondaj Kuyusu Üretimi .....  | 17  |
| 4.4. Izgara Oluşturma .....   | 18  |
| 4.5. (1-0)Kod Dosyaları Oluşturma .....   | 19  |
| 4.6. Sınır Oluşturma .....  | 19  |

## İÇİNDEKİLER (Devamı)

|        |  |    |
|--------|--|----|
| 4.7.   | Cevher Pasa Oranı Belirleme.....   | 20 |
| 4.8.   | Üretim Bilgileri.....  | 21 |
| 4.9.   | Kazı ve Yollar.....  | 21 |
| 4.10.  | Ekonomik Blok Değer Ataması.....   | 22 |
| 4.11.  | Optimum Ocak Sınırı Belirleme.....   | 23 |
| 4.12.  | Ocak İşletme Takibi.....   | 23 |
| 5.     | OPTİMUM SINIRI ETKİLEYEN FAKTÖRLERİN İNCELENMESİ.....  | 25 |
| 5.1    | Yatık Damar Denemeleri.....  | 26 |
| 5.1.1. | Başlangıç parametrelerinin değiştirilmesiyle elde edilen şimdiki zaman değerlerinin kıyaslanması.....      | 29 |
| 5.1.2. | Ocak hacmi işletme hacminin değiştirilmesiyle elde edilen net şimdiki zaman değerinin kıyaslanması.....    | 33 |
| 5.1.3. | Etki Alanı Yarıçapının Değiştirilmesiyle Elde Edilen Şimdiki Zaman Değerlerinin Kıyaslanması.....          | 36 |
| 5.2.   | Merceksi Damar Denemeleri.....   | 37 |
| 5.2.1. | Sınır tenörün değiştirilmesiyle elde edilen şimdiki zaman değerlerinin kıyaslanması.....                   | 39 |
| 5.2.2. | Merceksi damar şeklinin tesis tenör aralıklarına göre net kârın şimdiki zaman değerinin araştırılması..... | 43 |
| 5.2.3. | Ocak ömrünün değiştirilmesiyle elde edilen şimdiki zaman değerlerinin kıyaslanması.....                    | 46 |
| 5.2.4. | Stok kapasitelerinin değiştirilmesiyle elde edilen stok hareketlerinin kıyaslanması.....                   | 49 |
| 5.3.   | Tek Tarafı Zengin Merceksi Damar Denemeleri.....   | 53 |
| 5.3.1. | Tenörce fakir-zengin bölge denemeleri.....   | 54 |
| 6.     | SONUÇ VE ÖNERİLER.....   | 57 |
|        | KAYNAKLAR DİZİNİ.....  | 59 |
|        | EKLER.....   | 63 |
|        | EK-1 Blok Kodlamaları.....   | 63 |



**İÇİNDEKİLER (Devamı)**

|      |   |    |
|------|---|----|
| EK-2 | Dinamik blok seçimi ve dal yapı modeli..... | 65 |
| EK-3 | İndirgenmiş Değer Modeli.....               | 68 |
| EK-4 | Stok Yönetim Modeli.....                    | 69 |

## ŞEKİLLER DİZİNİ

|  |    |
|--|----|
| Şekil 3. 1: Simülatif optimizasyon sisteminin şeması .....                                       | 9  |
| Şekil 3. 2: Blok Model İndisleri .....   | 11 |
| Şekil 4. 1: Ekonomik Ocak Sınırı Hesabı Ana Menüü.....   | 16 |
| Şekil 4. 2: Blok Model Veri Giriş Penceresi.....   | 17 |
| Şekil 4. 3: Sondaj Kuyusu Üretim Penceresi .....   | 18 |
| Şekil 4. 4: Topoğrafik Izgara Oluşturma Penceresi.....   | 18 |
| Şekil 4. 5: 1-0 Kodlarını Oluşturma Penceresi.....   | 19 |
| Şekil 4. 6: Ocak Sınırı Oluşturma Penceresi.....   | 20 |
| Şekil 4. 7: Cevher-Pasa Belirleme Penceresi .....  | 20 |
| Şekil 4. 8: Üretim Bilgileri Giriş Penceresi .....   | 21 |
| Şekil 4. 9: Kazı ve Yol Belirleme Penceresi.....   | 22 |
| Şekil 4. 10: Bloklara Ekonomik Değer Atama Penceresi .....                                       | 22 |
| Şekil 4. 11: Optimum Ocak Sınırı Belirleme Başlangıç Penceresi.....                              | 23 |
| Şekil 4. 12: Optimum Ocak Sınırı Belirlenirken Görünen İşlem Takip Penceresi .....               | 23 |
| Şekil 5.1: Damar Yapılarına Göre Yapılan Denemeler .....   | 25 |
| Şekil 5.2: Oluşturulan Cevher blok modelinin her kattaki bloklara karşılık gelen değerleri ..... | 27 |
| Şekil 5.3: Yatık Damar Şeklindeki Cevherin Autocad'da Çizilmiş Şekli .....                       | 28 |
| Şekil 5.4: Modelin çalıştırılması için girilen başlangıç noktaları .....                         | 29 |
| Şekil 5.5: Başlangıç İndislerinin Değiştirilmesinin Net Kâra etkisi .....                        | 32 |
| Şekil 5.6: Ocak İşletmesinden sonra Ocağın 3 Boyutlu Görünümü .....                              | 32 |
| Şekil 5.7: Ocak hacminin değiştirilmesinin net kâra etkisi.....                                  | 35 |
| Şekil 5.8: Etki alanı mesafesinin şimdiki zaman değerine etkisi .....                            | 36 |
| Şekil 5.9: Oluşturulan Cevher blok modelinin her kattaki bloklara tekabül eden değerleri.....    | 38 |
| Şekil 5.10: Merceksi Damar Şeklindeki Cevherin Çizilmiş Şekli.....                               | 38 |
| Şekil 5.11: Sınır tenör denemeleri.....  | 42 |
| Şekil 5.12 Tesis Tenör Aralılarının Kıyaslanması .....   | 45 |
| Şekil 5.13: Ocak ömrünün değiştirilmesiyle net kârın şimdiki zamana etkisi .....                 | 48 |
| Şekil 5.14: Stok kapasitelerinin değiştirilmesiyle meydana gelen stok hareketleri .....          | 52 |
| Şekil 5.15: İşletmeye Başlama Noktasının Net Şimdiki Zaman Değerine Etkisi.....                  | 56 |

**TABLULAR DİZİNİ**

|   |    |
|---|----|
| Tablo 5. 1: Üretim planlamasında girilen değerler.....  | 29 |
| Tablo 5. 2: Ocağın ekonomik değeri .....                | 31 |
| Tablo 5. 3: Üretim planlamasında girilen değerler.....  | 33 |
| Tablo 5. 4: Üretim planlamasında girilen değerler.....  | 39 |
| Tablo 5. 5: Cevher - Pasa blok dağılımı .....           | 40 |
| Tablo 5. 6: Cevher- Pasa hacim dağılımı.....            | 41 |
| Tablo 5. 7: Alınabilecek cevherin tenör dağılımı .....  | 41 |
| Tablo 5. 8: Üretim planlamasında girilen değerler.....  | 43 |
| Tablo 5. 9: Ocağın Ekonomik Analizi.....                | 44 |
| Tablo 5. 10: Üretim planlamasında girilen değerler..... | 46 |
| Tablo 5. 11: Ocağın Ekonomik Analizi.....               | 47 |
| Tablo 5. 12: Üretim planlamasında girilen değerler..... | 49 |
| Tablo 5. 13: Ocağın Ekonomik Analizi.....               | 50 |
| Tablo 5. 14: Üretim planlamasında girilen değerler..... | 54 |
| Tablo 5. 15: Ocağın Ekonomik Analizi.....               | 55 |

## 1. GİRİŞ

Optimum ocak sınırını etkileyen pek çok faktör vardır. Jeolojik yapı, rezerv, yıllık üretim miktarı, sınır tenörü, tesis talepleri, bunlardan bazılarıdır. Bu parametrelerin etkilerinin genellikle ne şekilde olacağı, yıllarca sürdürülen mühendislik ve madencilik çalışmalarında belirlenmiş olmakla birlikte, sahadan sahaya değişmesi ve etki derecesinde farklılık göstermesi mümkündür. Klasik proje etüt yöntemleriyle optimum sınırlara ve onunla birlikte düşünülen üretim planına etki eden faktörler ve dereceleri için bir tür duyarlılık analizi hassasiyetinde araştırma yapmak, zaman ve işlem yönünden büyük sıkıntılar taşımaktadır. Her parametre değişimiyle yeni bir maden tasarlanmanın mümkün olduğu bu değişimlere yönelik analizler, ancak bilgisayar desteğiyle geniş kapsamlı ve detaylı olabilmektedir. Bu amaçla kullanılacak yazılımların, simülatif bir optimizasyon yapması gerekmektedir. Diğer bir ifadeyle, madencilik faaliyetlerini kontrol eden birçok ana parametreyi dikkate alan ve optimum sınırları bulurken maden üretimini de simüle eden (benzeten) bir yapıda olması, bahsi geçen amaca hizmet edecek yazılım için bir gereklilik olarak görülmektedir. Dolayısıyla, önce böyle bir yazılım sistemi oluşturmak, daha sonra optimizasyona etki eden, bir tür duyarlılık analizi konumundaki parametrik denemeleri gerçekleştirmek gerekli olacaktır.

Bu çalışmada açık ocaklarda optimum ocak sınırını ve ona bağlı kabul edilen üretim planını etkileyen başlıca faktörler sınır ve üretim optimizasyon programları desteğiyle incelenmiştir. 3 boyutlu hipotetik blok modelleri üzerinde denenen her parametre için neticeler kaydedilmiş, sonuçlar kıyaslanmış ve nihai ocak sınırını etkileyen faktörler ve ne şekilde olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, stok hareketlerini takip özelliği olan yazılımlarla, optimum sınıra ulaşırlarken gerçekleşecek üretim planı dahilinde, işletmenin değişik safhalarındaki stok durumunun grafiksel olarak gözlemlenmesi de amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda hipotetik blok modelleri kullanılmış ve her parametre güncellenen ve ara yüz tasarımı tez kapsamında gerçekleştirilen simülatif bir optimizasyon yazılımı ile irdelenmiştir.

Ayrıca blok modelde; cevher kalitesi, yoğunluğu, yüzeye yakınlık ve ekonomik durumu, kümülatif değerler halinde, sayısal ve görsel olarak sunabilen bir matematik model ve yazılım geliştirilmiştir. Böylelikle, cevherin ekonomik olarak sahanın neresinde kütleli olarak yoğunlaştığı, kalitesinin hangi bölgelerde arttığı, yüzeye yakınlığı görülebilmekte ve buna göre optimizasyon yazılımlarıyla, değişik parametre denemeleri yapılabilmektedir.

Çalışmanın bir avantajlı yanı da üretim ve sınır optimizasyonunu eşzamanlı olarak değerlendirme imkanının olmasıdır. Şimdiye kadar yapılan çalışmaların büyük kısmında üretim

ve sınır optimizasyonunun ayrı değerlendirildiği görülmüştür. Bu çalışmada her iki durum beraber değerlendirilerek deneme yapma imkanı bulunduğundan dolayı, daha gerçekçi sonuçlara ulaşıldığı düşünülmektedir.

Çalışmada merceksi ve yatık olmak üzere iki tip damar modeli hazırlanmıştır. Merceksi damarda cevher, kütle hacmi ve tenörü merkeze doğru artan bir yapıdadır. Damar yapılı cevher modelinde ise, cevherin bir tarafında zenginleşme görülmektedir. Bu model şekillerine göre, uygun olan parametreler denenmiştir. Cevher modellerinde her parametrenin denenmesinden ziyade, sonuçları daha belirgin gözlemlenebileceği düşünülen parametreler denenmiştir.

Yatık damar şeklinde yapılaşma göstermiş cevher modelinde; işletmeye başlangıç koordinatlarının değiştirilmesi, ocak işletme hacminin değiştirilmesi ve etki alanı mesafesinin değiştirilmesiyle elde edilen net şimdiki zaman değerleri kıyaslanmıştır.

Merkezine doğru tenörce zenginlik gösteren merceksi damar yapı şeklinde; sınır tenörü, tesise beslenecek cevherin tenör aralığı, ocak üretim süresi ve zenginleştirme tesisine yapılacak beslemeden önceki stok birikim miktarlarının değiştirilmesiyle elde edilen net şimdiki zaman değerleri kıyaslanmıştır.

Bir tarafında tenörce zenginlik gösteren merceksi damar yapı şeklinde; ocak işletmesine tenörce fakir, tenörce zengin ve zengin-fakir bölgeler arasında kalan kısımdan başlamanın neticesinde elde edilen net şimdiki zaman değerleri kıyaslanmıştır.

Bu denemeler neticesinde elde edilen veriler grafikler yardımıyla yorumlanmıştır.

### *Tez Yapısı*

İkinci konuda daha önce yapılan çalışmalar, literatür taramasıyla sunulmuştur. Üçüncü konuda, güncellenen ve yeni yazılımlar eklenen simülatif optimizasyon yazılımının matematik modeli, dördüncü konuda ise yazılım hakkında bilgiler bulunmaktadır. Beşinci konu, hipotetik blok modelleri üzerinde, parametrik denemeleri ve sonuçlarını içermektedir.

## 2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Ocak sınırlarını belirlemeye etki eden pek çok faktör vardır ve her sahada aynı olmayıp değişiklik gösterir. Ancak temel kabul edilen parametreler; jeoloji, tenör, cevher lokasyonu, şekli, topoğrafya, üretim miktarı, şev açısı, maliyetler, cevher fiyatı, sınır tenör, tesis giderleridir [1]. Bilgisayar destekli sınır optimizasyon çalışmaları, bu kompleks ve zaman alıcı mühendislik çalışmasına 1970'li yıllardan itibaren girmeye başlamıştır. Belli kabuller altında açılan bilgisayarlı bir optimizasyon sistemi, optimum sınırları ve üretim planını etkileyen faktörler üzerinde çalışma imkanı veren önemli bir vasıta da teşkil etmektedir. Bu amaçla günümüze kadar gelen çalışmaların ocak sınır optimizasyonu ve üretim planı optimizasyonu olarak farklılaştığını ve az sayıda araştırmacının, bu iki optimizasyon sahasını birleştirmeye çalıştığını görmek mümkündür.

### 2.1. Açık Ocak Sınır Optimizasyonu

Lerchs ve Grossmann'ın, 1965 yılında geliştirdikleri iki yöntem, bilgisayar destekli açık ocak sınır optimizasyonu konusundaki ilk çalışmalardandır. Dinamik Programlama ve Graph Teorisi yöntemlerinin, ekonomik değerleri atanmış blok modeline uygulanması şeklindedir. Graph teorisi [2], maksimum değeri üreten ocak sınırını matematiksel olarak garantileyen bir yöntem olarak günümüze kadar gerek akademik seviyede gerek ticari seviyede kullanılmıştır [3, 4 ve 5]. Graph teorisine göre daha basit ve bilgisayar ortamında kodlanması daha kolay olan dinamik programlama yönteminin, optimal sınırı tespitinde Graph teorisi kadar başarılı olmadığı görülmektedir. İlk geliştirilen dinamik program algoritması [2], sahayı paralel blok kesitlerine ayırıp optimizasyonu her bir kesit üzerinde yapmaya dayalı olup, kârın maksimize edildiği bu kesit sınırları daha sonra birleştirilerek 3 boyutlu bir modele geçilir. 3. boyuta geçerken kesitler arasında meydana gelen uyumsuzluklar rötuşlarla giderilir. Johnson ve Sharp [6]ve Koenigsberg [7], bu problemi çözmeye yönelik 3 boyutlu dinamik programlama algoritmaları geliştirdilerse de, optimizasyon temelde yine 2 boyutlu kesitlere dayanmaktadır. Wright [8], algoritmayı daha hızlı çalışacak bir tarzda modellemiştir. Dinamik programlama, kolay anlaşılabilirliği ve bilgisayar ortamında kolay kodlanabilirliği nedeniyle, sıklıkla kullanılan ve uygulanan bir yöntem olmuştur.

1965 yılında sınır optimizasyonuna yönelik bir diğer yöntem Pana [9] tarafından geliştirilen Moving (Floating) Cone, hareketli koniler yöntemi olmuştur. Yöntem, ocak şevini tasvir eden bir ters koninin, değerli bloklar üzerinde dolaştırılması ve koni içinde kalan

blokların ekonomik değer toplamını maksimize etmeye dayalıdır. Gerçek optimum sınırı bulmayı garanti etmeyen yöntemin temel problemini, üst üste keşime ve her bir komşu blok kombinasyonunun dikkate alınmaması oluşturmaktadır. Lemieux [10] probleme yönelik bir sezgisel (heuristic) yaklaşım geliştirmiştir. Basit bir yöntem olan hareketli koniler, pek çok araştırmacı tarafından uygulanmıştır [11].

Meyer [12], Linear (Doğrusal) Programlama yöntemini sınır optimizasyonunda kullanmıştır. Sahayı, bloklama veya dikdörtgen prizma şeklinde topuklara ayıran Meyer [12], kendi ifadesiyle, bu tarz yaklaşımın cevherin bazı kısımlarının terkine veya bir gurup gereksiz blok çıkarılmasına sebebiyet verdiğiinden, optimal sonuçtan uzaklaşabilmektedir. Sonradan takip eden bir çalışma çıkmamakla birlikte, yöntem geliştirilebilir bir yapı göstermektedir.

Açık ocak sınır optimizasyonunda en hızlı sonuca gidebilen bir yöntem olarak Maximum Flow (En Fazla Akış) Algoritması görülmektedir. Açık ocaklara, Yegülalp ve Arias [13] tarafından başarıyla uygulanmıştır. Ekonomik blok modelini bir şebeke yapısında gören yöntemde, kaynak (source) ve sonuç (sink) düğümleri arasında en fazla akış (blok değerleri), Ford ve Fulkerson [14] ve Ahuja ve Orlin'in [15] algoritmalarının uyarlanmasıyla sağlanmıştır. Milyonluk blok modellerinin işlenebildiği yöntem, Yegülalp ve ark. tarafından 1993 yılında daha da hızlı çalışacak bir şekle getirilmiştir.

Huttagosol ve Cameron [16], Transportation (nakliye) algoritmasını sınır optimizasyonunda kullanmıştır. Diğerlerine göre daha yavaş olduğu belirtilen yöntemde, oluşturulan nakliye modeli, simpleks yöntemiyle çözümlenmektedir.

## 2.2. Sınır Optimizasyonu İçin Genel Değerlendirme

Açık ocak sınır optimizasyon tekniklerinin kritiğe açık temel noktaları şöyle sıralanabilir;

i- Yöntemlerde blok değerleri sabitlenmiş, blokların çıkarılma zamanları dikkate alınmamış, dolayısıyla paranın zaman değeri göz ardı edilmiştir.

ii- Blok değerlerinin hesaplanmasında, başka ocakların birim maliyet fiyatları kullanılmıştır. Halbuki, bir ocağın birim maliyeti diğeriyle aynı olamayacağı gibi, aynı sahada açılan farklı ocaklar bile değişik birim maliyetlere sebep olmaktadır.

iii- Ocak sınırın belirleyen unsurlar içinde üretim planlaması ve cevher hazırlama tesisinin malzeme şartları da etkili olabilmektedir. Geliştirilen optimizasyon modellerinde üretim sırası dikkate alınmadığından, cevher tesisinin sınıra etkisi de göz ardı edilmiştir. [17]

### 2.3. Üretim Planlamasının Optimizasyonu (Blok Çıkarma Sıralaması)

Optimum sınırları tespit edilen ocaktaki blokların, hangi iş planına ve hangi sıraya göre çıkarılırsa maksimum kârı sağladığı veya cevher tesisinin beslenmesinde aranılan miktar ve kaliteden minimum sapıldığı bu başlık altında yapılan çalışmalarda aranmıştır. Blokların çıkarılış sırası, ekonomik değerlerin zaman değeri taşıması nedeniyle rasgele olamaz. Diğer bir deyişle, blokların çıkış zamanlarının farklı olması, ekonomik bakış açısıyla bir mânâ taşır. Bundan dolayı, blok modeli üzerinde bir kazı zaman cetveli oluşturulmaya çalışılmıştır. Böylelikle net şimdiki zaman değerinin maksimum düzeyde olduğu kazı sırası belirlenmiştir [18,19,20,21 ve 22].

Diğer bir hedef ise tesis ihtiyaçlarının âzami sağlanması, ya da, bu hedeflerden en az derecede uzaklaşmaktır. Cevher tesisinin talep ettiği günlük bazdaki malzeme miktar ve kalitesinin sağlanması, işletmenin ömrü boyunca, hedeflerden sapmanın minimize edilmesi amaçlanmakta ve blok kazı sırasını bu kriter belirlemektedir [23,24,25,26,27 ve 28].

Üretim planlaması konusunda, yöneylem araştırması tekniklerinin ve sezgisel (heuristic) yaklaşımların kullanıldığı görülmektedir. Chanda ve Wilke [21], önce parametrik bir yaklaşımla maksimum metal içeren ocak sınırlarını bulmuş, daha sonra doğrusal programlama tekniğiyle tesis besleme optimizasyonunu sağlamışlardır. Ancak, en fazla metal içeren ocağın optimum sınırları vereceği kesin görülmemelidir. Metal dağılımı, derinliği, dekapaj oranı gibi faktörler göz ardı edilmemelidir. Huang [24], Mann ve Wilke [23 ve 29], Ramazan ve ark. [30] da doğrusal programlama tekniğini optimum blok çıkarma sırasını belirlemede kullanmışlardır. Ortak özellik olarak, bütün çalışmaların önceden belirlenen bir ocak çerçevesi içinde çalışmasıdır.

Youdi ve ark. [25] ve Zhang ve ark. [26], hedef (goal) programlama tekniğiyle kömür madenlerinin üretim optimizasyonu üzerinde çalışmışlardır. Tesis ihtiyaçlarını, belirtilen şartlardan sapmayı minimize ederek, maksimum düzeyde sağlamayı amaçlamaktadırlar. Hedef (goal) programlama tekniğini metal cevher yatakları için Esfandiari ve ark. [31], Chanda ve Dağdelen'in [21] ve fosfat yatakları için Smith ve You'nun [32] kullandığı görülüyor. Ocak sınırlarının, bir ön çalışmayla tasarlanıp hazır olarak verildiği kabulüne dayanan çalışmalarda, diğerlerinde olduğu gibi sınır ve üretim optimizasyonu ayrı düşünülmüştür.

Blok kazı sırasının belirlenmesinde en çok kullanılan yöntemlerden biri de dinamik programlama olmuştur. Bu tekniğin, ardışık kararlar vermeyi gerektiren problemlerde, yapısal



yatkınlık taşıdığı görülmektedir [33]. Onur ve Dowd [18], kâr maksimizasyonunu amaçlayan başarılı bir çalışma yaptığı görülmektedir. İş makinalarının çalışacağı gerekli basamak genişliğinin de dikkate alındığı çalışmada, ocak sınırları önceden belirlenmekte ve sıralama işlemi bu sınırlar içinde olmaktadır. Dowd ve Onur [29], Dowd ve Elvan [28], Tolwinski ve Underwood [19] ve Elevli [20], dinamik programlama tekniğini geliştirerek kullanan diğer araştırmacılarıdır.

#### **2.4. Üretim Planlaması Çalışmalarına Genel Bir Değerlendirme**

Sınır tenörü, blok değeri, ocak sınırı ve üretim planlaması arasında dairesel bir ilişki mevcuttur [34]. Dolayısıyla, genellikle birbirinden bağımsız addedilen sınır ve üretim optimizasyonunun, mümkünse simültane yapılması gerekmektedir. Optimum üretim planlaması konusunda geliştirilen sistemler, belli kabuller altında başarıyla çalışmaktadır. Ancak, en kritize edilebilecek bir kabul olarak, bu sistemlerin optimum olduğu farz edilen, ama, paranın zaman değeri ve tesis ihtiyaçları dikkate alınmadığından gerçek optimum olmayan sınırlar içinde çalışması görülebilir. Özellikle sınır ve sınıra yakın bölgelerde çıkarılan blokların ocağın içinde mi yoksa dışında mı yer alması gerektiği bir bilinmez teşkil etmektedir. Bir diğer önemli nokta ise blok değerlerinin atanmasında ocak sınırlarının ve birim maliyetlerin göz ardı edilmesidir. [17]

#### **2.5. İki Optimizasyon Konusunu Birleştirme Çalışmalarının Değerlendirmesi**

Roman, 1974 yılında bir sezgisel dinamik program ile bahsedilen problemi aşmak istemiştir. Ancak, sistem tabandan bir blok seçimine, sıralamanın tabandan yukarı doğru yapılmasına dayanmaktadır. Blok değerleri ile ocak hacmi arasında bir bağlantı da kurulmamıştır.

Bu konudaki en başarılı çalışmaların genetik algoritmalarıyla Schofield ve Denby [35] ve Denby ve Schofield'e [36] ait olduğunu söylemek mümkündür. Simültane olarak hem blok çıkarılış sırasını hem de ocak sınırlarını optimize edebilmektedirler. Ancak, kurulan sistem, blok değerlerinin ocak sınırıyla ilişkisini dikkate almamaktadır.

## 2.6. Simülatif Ocak Tasarımı

Ocak sınırı ve üretim planı gibi iki hayâti konunun en doğru şekilde belirlenmesinin, ocağın en gerçekçi ve detaylı biçimde simülasyonundan geçtiği fikri ağır basmaktadır. Bu sistem bütün ekonomik değerleri ve işletmede yer alacak faaliyetleri birbiriyle bağlantılı görebilmeli ve âdeta ocağı bilgisayar ortamında işletebilmelidir. Bu çalışmada bu hedefe yönelik bir adım atılmış olmakla birlikte, maden işletmesi gibi büyük ve karmaşık bir sistemin tam bir simülasyonu için daha pek çok çalışmanın yapılması gerektiği görülmüştür. [17]

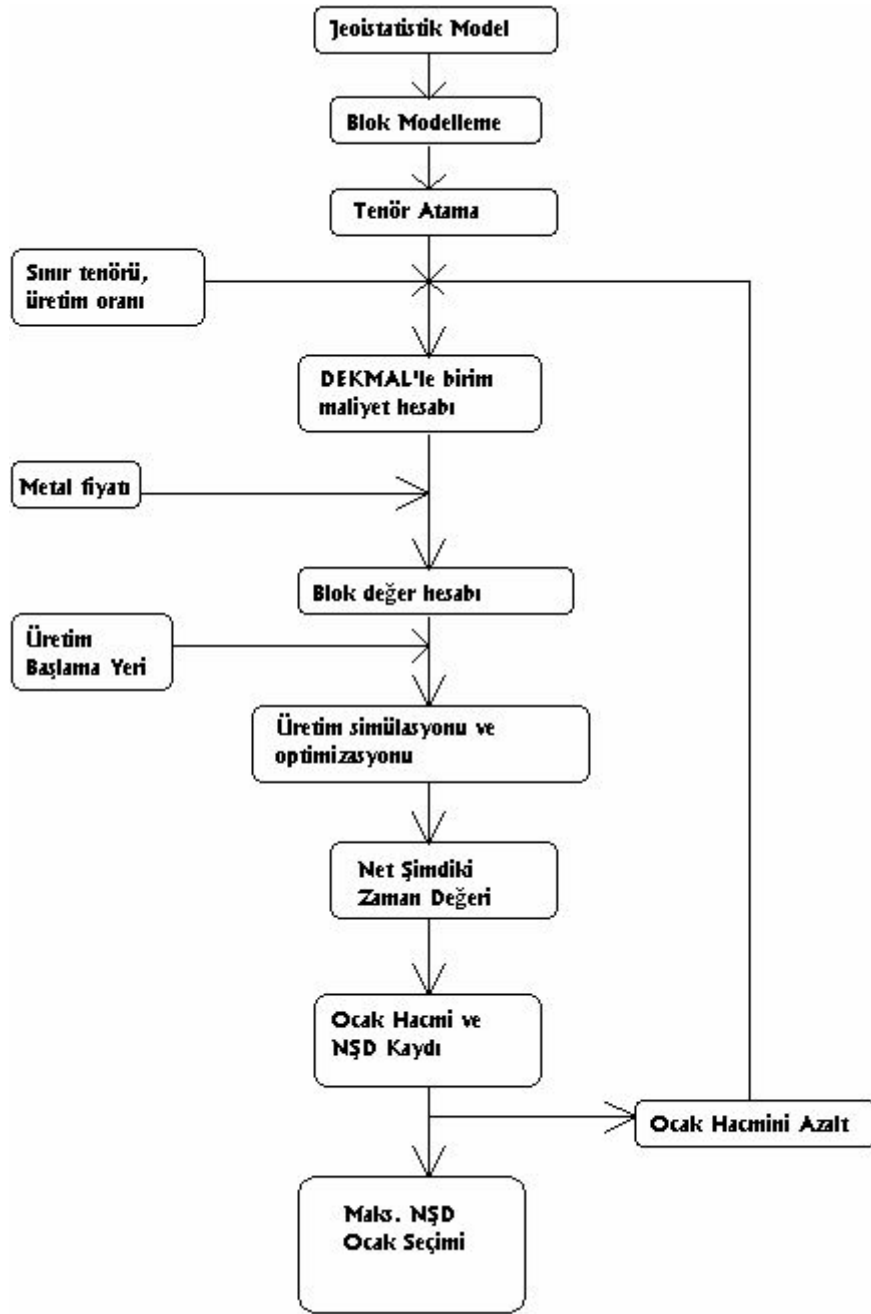
Klasik optimizasyon yöntemlerinde, işletilecek saha bir bütün olarak kabul edilmiş, tüm saha aynı şartlarda ve zaman diliminde işletiliyor gibi hesaplamalar yapılmaktadır. Bu çalışmada kullanılan yöntemde ise paranın şimdiki zaman değerine göre hesaplamalar yapılmaktadır. Yani bir cevher bloğunun alınış sırası nasılsa o bloğun değeri alındığı zamana göre belirlenmekte hesaplamalara öyle dâhil edilmektedir. Bir cevher bloğunun bugün alınmasıyla 1 sene sonra alınması arasında şimdiki zaman değeri bakımından bir fark olduğu temel prensibiyle hesaplamalar yapılmaktadır. Kullanılan program blok değerini alındığı günkü değerinden şimdiki zaman değerine çevirmekte ve her blok alındığında yeni bloğun değeri oluşturulan şimdiki zaman değeri listesine eklenmekte alınabilecek ocak hacminin tamamı bitene kadar bu işlem devam ettirilmektedir. Elde edilen nihai şimdiki zaman değeri ise ocağın tüm kriterleri kullanılarak bunların zaman faktörü içerisinde değerlendirilmesiyle elde edilen kâr olarak ortaya çıkmaktadır. [37,39,40,41,42,43,44 ve 45]

Simülatif optimizasyon yazılımları, sistemi etkileyen bütün parametreleri incelemede rahatlıkla kullanılabilir. Mesela değişik sınır tenörler denemede optimum sınır tenörü bulunabilir. Yine, kazı başlangıç noktaları değiştirilerek, en uygun koordinat belirlenebilir. Yıllık üretim miktarları, tesis beklentileri de yine incelenebilecek parametrelerdir. [46,47 ve 48] Bu araştırmada, bahsi geçen amaca yönelik çalışmalar yapılmıştır.

### 3. SİMÜLATİF OPTİMİZASYON MODELİ

Literatür araştırmalarında irdelenen problemleri çözmek maksadıyla bir kâr maksimizasyon sistemi geliştirilmiştir [17]. Bahsi geçen yazılım bu araştırmayla güncellenmiş, arayüzler ve takviye programlar geliştirilmiştir. Sistem üretim planlamasını dinamik programlama tekniğiyle optimize ederken, saha sınırlarının da optimum şeklini bulacak bir algoritmaya sahiptir. Birim maliyeti ocak hacminin bir fonksiyonu olan sistem, silodaki malzeme stok bilgisini sürekli kayıt altında tutarak, tesisin istediği miktar ve nitelikte besleme de yapabilmektedir. Ekskavatörün kazısını günlük olarak planlayan sistem, basamak açılarını, bir ekskavatörün hareket kabiliyetini dikkate almakta, ocaktan tesise kadar bir madendeki faaliyetleri simüle etmektedir. Geliştirilen sistemin çalışma şeması Şekil 1’de gösterilmiştir.

Amaç en yüksek net şimdiki zaman değerinin elde edildiği üretim planını (blok çıkarılış sırasını) ve bunun elde edildiği ocak sınırını aynı anda bulmaktır. Bu maksatla önce bütün cevherin çıkarılacağı bir ocak sınırı hesaplanır. Sınır içinde kalan hacim aynı zamanda olabilecek en geniş ocak sınırıdır. Bu ocağın birim maliyeti DEKMAL [38] ile hesaplanmıştır. Metal değeri de kullanılarak blokların ekonomik değerleri hesaplanır. Yıllık istenilen üretim miktarı, cevher tesisinin ihtiyaç duyduğu günlük malzeme miktar ve kalitesi, silonun kapasitesi ile ilgili şartlar ve ekskavatörün kazıya başlangıç noktasının sisteme verilmesinden sonra geliştirilen sistem paranın zaman değerini, şev duraylılığı ile ilgili şartları ve cevher tesisinin koşullarını dikkate alarak ocaktaki blokları çıkarmaktadır. Bütün blokların bitmesiyle, bu hacimli, birim maliyetli ve bu koşullarda çalışan bir ocağın net şimdiki zaman değeri kaydedilir. En büyük ocak sınırlarının belli bir oranda küçültülerek yeni bir ocak hacmi, bağlı olarak yeni birim maliyet hesabı yapılır ve ekonomik blok modeli oluşturulmaktadır. Yeni model üzerinde yine optimum blok çıkarılış sırası ile ocağın işletilmesi simüle edilip yeni bir net şimdiki zaman değeri hesaplanır. Benzeri şekilde ocak hacmi küçültülmeye, kazı simülasyonuna ve optimizasyonuna devam edilir. Net şimdiki zaman değerinin maksimum olduğu ocak hacmi aynı zamanda optimum sınırları da vermektedir. Bu sınırlar üretim optimizasyonunun bir fonksiyonu olarak, paranın zaman değeri, birim maliyetlerin ocaktan ocağa geçeceği gerçeği, silo şartları ve cevher tesisinin ihtiyaçları da dikkate alınarak hesaplanmaktadır. Sistem gerekli durumlarda, besleme malzemesini harmanlayarak temin edebilmektedir.



Şekil 3. 1.Simülatif optimizasyon sisteminin şeması. [17]

### 3.1 Optimizasyon Sisteminin Matematik Modeli

Net şimdiki zaman değerinin maksimizasyonunu amaçlayan model, dinamik programlama yöntemiyle tasarlanmış bir üretim plan (blok çıkarılış sırası) algoritmasına sahiptir. Sistemin amacı aşağıdaki şekilde ifade edilmiştir: [17 ve 39]

$$PW(\psi) = \max_{\psi \in S_\psi} \left( NPV(\psi, \xi_{i,j,k}, g_c, g_n, \alpha, d_r, a^o, a^e, s_c) \right) \quad (\text{Eşitlik 3.1})$$

burada,

$PW(\Psi) = \Psi$  hacmindeki maksimum net şimdiki zaman değeri (TL)

$S_\psi$  = hacim seti ( $m^3$ )

$\xi_{i,j,k}$  =  $(i,j,k)$  blok indisli kazı başlangıç noktası

$G_c$  = sınırlı tenörü, (%)

$G_p$  = tesisin istediği tenör, (%)

$\alpha$  = şev açısı, ( $^\circ$ )

$D_r$  = iskonto oranı, (%)

$A^o$  = yıllık üretim miktarı, ( $m^3$ )

$A^e$  = yıllık toplam kazı (üretim+dekapaj), ( $m^3$ )

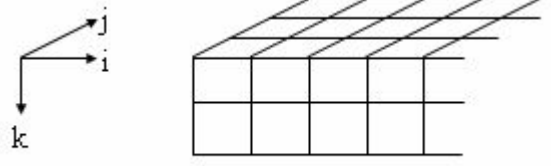
$S_c$  = silo şartları fonksiyonu,  $s_c = f(r_s, msg_{ijk})$

$r_s$  = silodaki riskli miktarlar

$msg_{ijk}$  =  $(i,j,k)$  bloğunun, çıkış zamanı ile ilgili stok durumuna ait mesaj

$NPV(\Psi, \xi_{i,j,k}, g_c, g_p, \alpha, d_r, a^o, a^e, s_c)$ ,  $\Psi$  hacmi için net şimdiki zaman değeridir ve pek çok parametre tarafından kontrol edilmektedir. NPV değeri, dinamik programlama yöntemiyle çıkarılan bloklar tarafından belirlenmektedir.

Blokların çıkarılması optimal bir sıra takip etmektedir. Dinamik programlama kuralları gereği, blok modelde  $n$  tane blok,  $n$  basamağı (stage) oluşturacaktır.  $S(x_{i,j,k})^n$ , o basamaktaki çözüm (immediate solution) ve  $x_{i,j,k}$ 'ler ise karşılaşılan durumlardır (immediate state). Blok indis değerleri Şekil 3.2.'de gösterilen yönlerde verilmiştir.



Şekil 3. 2. Blok Model İndisleri [17]

Her safhada (stage) bir blok seçilecektir ve her safhada karşılaşılan durumlar (state), seçimine karar verilecek bloklar listesine kaydedilir. Bu bloklar (durumlar) daha sonra şev duraylılığı, tesis ihtiyaçları, net şimdiki zaman değeri gibi testlere tabi tutulacaktır. Ekskavatörün ilk durum kaydı, kazı başlangıç noktasıdır  $\delta_{i,j,k}=x_{i,j,k}$ . Safhadan safhaya geçerken, aralarında bir bilgi transferi olmalıdır. Bu bilgi bloğun daha önce o noktaya gelene kadar getirdiği parasal değerdir. Bu bilgi transfer işlemi, dinamik programlamada, *eklenebilir tip tekrar fonksiyonu* (additive type recursive function) olarak adlandırılan fonksiyonla yapmak mümkündür.

$$f_n(\delta_{i,j,k}) = \max_{p \in S} (P_n(\delta_{i,j,k}, p) + f_{n-1}(R(n, \delta_{i,j,k}, p))) \quad (\text{Eşitlik 3.2})$$

burada,

$f_n(\delta_{i,j,k})$  = n basamağında (stage) toplam değer (TL)

$\delta_{i,j,k}$  = ekskavatörün pozisyonu, (i,j,k)

n basamağındaki karar olan  $p$ 'yi fonksiyonel olarak

gösterirsek;

$$p = f(g_c, g_p, \alpha, d_r, a^o, a^e, s_c, \xi_{i,j,k}) \quad (\text{Eşitlik 3.3})$$

$P_n(\delta_{i,j,k}, p(g_c, g_p, \alpha, d_r, a^o, a^e, s_c))$ ,  $p$  kararıyla elde edilecek kârı,  $R(n, (\delta_{i,j,k}, p(g_c, g_p, \alpha, d_r, a^o, a^e, s_c)))$ ,  $n-1$ . basamaktan  $n$ . basamağa aktarılan  $p$  kararını,  $p(g_c, g_p, \alpha, d_r, a^o, a^e, s_c)$  ifadesi,  $(g_c, g_p, \alpha, d_r, a^o, a^e, s_c)$  şartı için verilen kararı göstermektedir.

Ekskavatörün ilk hareket koordinatı olan  $(x_{ijk})$  aynı zamanda hem başlangıç noktası<sup>12</sup> ( $\xi_{ijk}=x_{ijk}$ ), hem de ilk durumdur ( $\delta_{ijk}=x_{ijk}$ ).  $\delta_{ijk}$  ifadesi işlem ünitesinin (ekskavatörün) hangi blokta olduğunu göstermektedir.

Her bir blok ya boş (hava bloğu), ya dolu (henüz çıkarılmamış) ya da çıkarılmıştır. Bu ihtimaller, aşağıdaki blok durum fonksiyonu ile takip edilir;

$$\partial_{(i,j,k)} = \begin{cases} 0 \\ 1 \\ -1 \end{cases}$$

0 kodu, boş (hava) bloğunu, 1 kodu dolu (henüz çıkarılmamış) bloğu ve  $-1$  kodu çıkarılmış bloğu temsil etmektedir. Ekskavatörün etrafındaki bloklar öncelikle, komşu blok listesinin yer aldığı  $N_{ijk}$  fonksiyonuna kaydedilir. Bu bloklar mutlaka 1 kodu taşımalıdır.

$$N_{i,j,k} = f(x_{(i+\lambda, j+\lambda, k+\varepsilon)}, \partial_{(i+\lambda, j+\lambda, k+\varepsilon)})$$

$$\lambda = -1, 0, 1 \text{ ve } \varepsilon = -1, 0, 1 \text{ için}$$

(Eşitlik 3.4) (bakınız EK-1)

Burada  $\lambda$  ve  $\varepsilon$  aynı kat ve bir alt ve üst kattaki blokların kontrol değişkenidirler. Listeye giren her bloğun, şev şartlarından dolayı kazısı mümkün olmayabilir. Kazılabilir nitelikteki bloklar, şev açısına uygunluk testinden sonra aşağıdaki fonksiyonda yer alırlar;

$$m_{(i+\lambda, j+\lambda, k+\varepsilon)} = f(N_{i,j,k}, \partial_{(i+\lambda, j+\lambda, k+\varepsilon)})$$

$$\lambda = -1, 0, 1 \text{ ve } \varepsilon = -1, 0, 1 \text{ için}$$

(Eşitlik 3.5)

Bu liste, ekskavatörün bulunduğu  $\delta_{ijk}$  noktasından gidebileceği blokların yer aldığı ilk daldır. Dinamik programlama tekniği gereği, bu dallardaki her bir blok için de, takip edecek benzeri bir dal yapısı oluşacaktır. Oluşacak dal yapıları  $B_n$  fonksiyonları içinde gösterilmektedir.

$$B_n = f(x_{i,j,k}, b_{i,j,k}, \varphi)$$

(Eşitlik 3.6)

$n$ . durumda oluşacak dalda yer alan blokların listesini içeren  $B_n$  listeleri, daha sonraki13 işlem basamağında, blok çıkarılış sıralarının yer alacağı patikaların oluşturulmasında kullanılacaktır. (bakınız EK-2)  $B_n$  listelerinden çıkarılan patikalar  $a_{i,j,k}^\theta$  ve patikalardaki blokların net şimdiki zaman değerleri  $v_{i,j,k}^\theta$  fonksiyonunda belirlenmektedir;

$$a_{i,j,k}^\theta = f(b_{i,j,k}, B_n) \quad (\text{Eşitlik 3.7})$$

$$v_{i,j,k}^\theta = \sum b_{i,j,k} (1 + d_r)^{-\omega/\gamma} \quad (\text{Eşitlik 3.8})$$

$b_{i,j,k}$ , bloğun taşıdığı değer olup,  $d_r$ , yıllık iskonto oranıdır. (bakınız EK-3)

Dinamik programlamada karşılaşılan en büyük problem, birbirini takip eden dalların, kısa bir sürede milyarları, hatta  $10^{100}$ 'leri bulabilmesidir. Bu nedenle, dal katlarının nereye kadar gideceğine karar vererek, dinamik dal oluşumuna bir sınır getirmek gerekmektedir. *Sonlanma kuralı* (termination rule) olarak adlandırılan bu sınırlama, oluşturulan sistemde, sahanın jeostatistik yapısının incelenmesi neticesinde bulunan, etki mesafesi ve buna tekâbül eden blok sayısı ( $M$ ) olarak alınmıştır. Dolayısıyla sahanın kazı işlemi,  $M$  sayısından oluşan blok gruplarının tamamlanmasıyla son bulacaktır. Her  $M$  sayısına ulaştıkça, patikalar ve bunların ürettiği değerler incelenip en yüksek kârlı patika seçilecektir.

$$V_{\max}^n = \max_{n \rightarrow M} \{v_{i,j,k}^\theta(a_{i,j,k}^\theta)\} \quad (\text{Eşitlik 3.9})$$

$$NPV(\psi, \xi_{i,j,k}, g_c, g_p, \alpha, d_r, a^o, a^e, s_c) = \sum_{n=1}^N \max_{n \rightarrow M} \{v_{i,j,k}^\theta(a_{i,j,k}^\theta)\} \quad (\text{Eşitlik 3.10})$$

dolayısıyla,



$$NPV(\psi, \xi_{i,j,k}, g_c, g_p, \alpha, d_r, a^o, a^e, s_c) = \sum_{n=1}^N V_{\max}^n \quad (\text{Eşitlik 3.11})$$

olacaktır.

Cevher hazırlama tesisinin istediği miktar ve kalitede malzeme, bir silonun aracılığıyla (regülatör görevi) sağlanmaktadır. Silo, gelen malzemenin; 1- tesisin tenör şartlarına uygun ( $g_p$ ), 2- tenör aralığından daha fazla ( $g_{ap}$ ) ve 3- sınır tenörüyle tesisin istediği tenör aralığında olmasına ( $g_{ap}$ ) göre üç bölge olarak tasarlanmıştır. Sistem, gelen malzemenin bilgisi sürekli olarak kaydederek, silodaki malzeme giriş-çıkışını da simüle etmekte, gerektiği durumlarda malzeme harmanlaması yoluna gitmekte, gerektiğinde maden sahasındaki blok çıkarılışına  $msg_{ijk}$  ve  $s_c$  değişkenleriyle müdahale edebilmektedir. (bakınız Ek-4)

Sistem, tâyin edilen ocak sınırına ulaşana kadar, blokları çıkarma işlemine devam edecektir. Kazı işleminin sonunda net şimdiki zaman değeri kaydedilir ve daha küçük hacimli ocak için aynı işlemler tekrarlanır. En yüksek kârı sağlayan ocak aynı zamanda optimum sınırlara ve optimum üretim planına (blok çıkarma sırası) sahip ocak olarak belirlenir. [17 ve 40]

Bu çalışma, optimum sınır ve üretim planına etki eden çeşitli parametreleri inceleyebilecek bir araç teşkil etmektedir ve bilgisayarın hızını bu amaca sunmaktadır. Çalışma kapsamında mevcut modele kümülatif değer hesabı yapan fonksiyonlar da eklenmiştir.

Cevhere ait 3 boyutlu model içinde çalışıp, iki boyuta kümülatif değerler taşıyan yazılımların amacı, plan görüntüsü üzerinde cevherin kalite, miktar ve yüzeye yakınlığını gözlemleyebilmek ve optimizasyon çalışmalarında bu bilgileri de kullanabilmektir.

### 3.2 Cevher Ortalama Tenör Fonksiyonu

Bu çalışma kapsamında geliştirilen ve matematik modele eklenen, cevherin i, j hücresi için ortalama tenörü hesaplayan fonksiyondur;

$$K_{ij} = \left( \sum_{L=1}^K g_{ijk} \right) / n_c \quad (\text{Eşitlik 3.12})$$

$K_{ij}$  : Her bir i ve j için toplam tenör

L : Toplam kat sayısı

$g_{ijk}$  :i, j, k indisli bloğun tenörü

$n_c$  :cevher blok sayısı

### 3.3 Cevher rezerv kümülatif fonksiyonu

Cevherin i ve j hücresi için toplam miktarını bulan ve tez çalışmasında geliştirilen bir fonksiyondur. Her i,j için, yüzeyden aşağıya doğru toplam cevher rezervini hesaplar.

$$Q_{ij} = \sum_{L=1}^K g_{ijk} f_{ijk} \cdot V \quad (\text{Eşitlik 3.13})$$

$Q_{ij}$  :i ve j için toplam cevher miktarı

$f_{ijk}$  :i, j ve k indisli bloğun tenör faktörü

V :Blok hacmi

### 3.4 Yüzeye yakınlık fonksiyonu

Matematik modele eklenen, cevherin yüzeye yakınlığı için geliştirilen fonksiyondur. Yüzeyden i,j hücresi için aşağı doğru iner ve ilk cevher bloğunu kaydeder.

$$N_{ij} = L_{ij} (g_{ijk} \geq g_c) \quad (\text{Eşitlik 3.14})$$

$N_{ij}$  :i ve j için cevhere giriş kat fonksiyonu.

$g_{ijk} \geq g_c$  :i,j, k indisli blok tenörüsünür tenörüne eşit veya büyükse

$L_{ij}$  :i ve j için cevhere giriş katı.

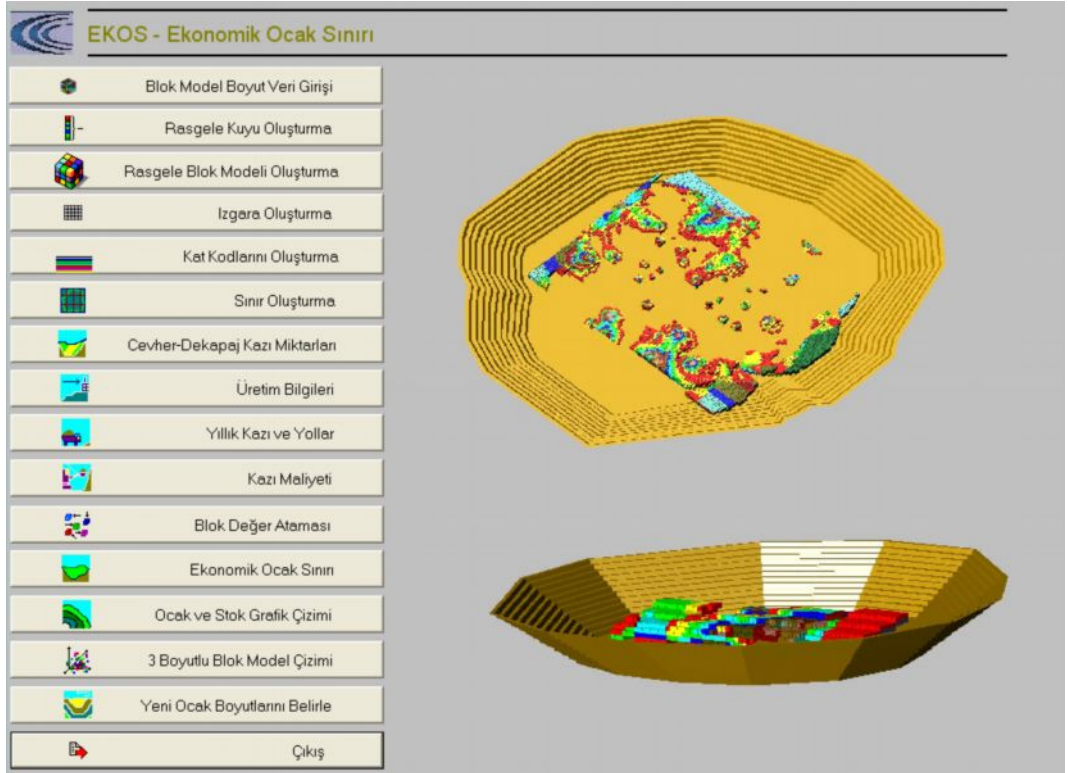
Daha önce geliştirilen, üzerine ilaveler yapılan matematik model, tez kapsamındaki çalışmalarla standart C ortamından C++ ortamına aktarılarak bilgisayar kodlaması yapılmıştır.

#### 4. EKONOMİK OCAK SINIR YAZILIMI

EPDS adıyla geliştirilen C yazılımı [17], bu çalışmada ele alınarak güncellenmiştir. C++ ortamına alınan yazılıma ara yüzler tasarlanmış, ayrıca matematik model eklenerek fonksiyonlar da kodlanmıştır. Bu bölümde “Ekonomik ocak sınırı”nı tespit edebilmek için kullanılan yazılım ara yüzleriyle verilerle tanıtılacak ve her menünün yaptığı işlemde kısaca bahsedilecektir. (Menülerin matematik modelleri ve çalışma mantığı Bölüm 3, Ek 1, Ek 2, Ek 3, Ek 4’te ayrıntılı olarak verilmiştir.)

##### 4.1. Ana Menü

“Ekonomik ocak sınırı”nı tespit edebilmek için kullanılan ana menü Şekil 4.1’de görünmektedir. Tez kapsamında 1996 yılında geliştirilen yazılım [17] güncellenmiş arayüz tasarımı yeniden yapılmıştır. Ocağa ait bilgi ve parametrelerin girilebilmesi için bu ana menüde bulunan alt menüler kullanılır. Menüler, model oluşturmaktan optimizasyona kadar takip edilecek iş sırasını da gösterdiğinden alt menülere sırasıyla girilmesi gereklidir.

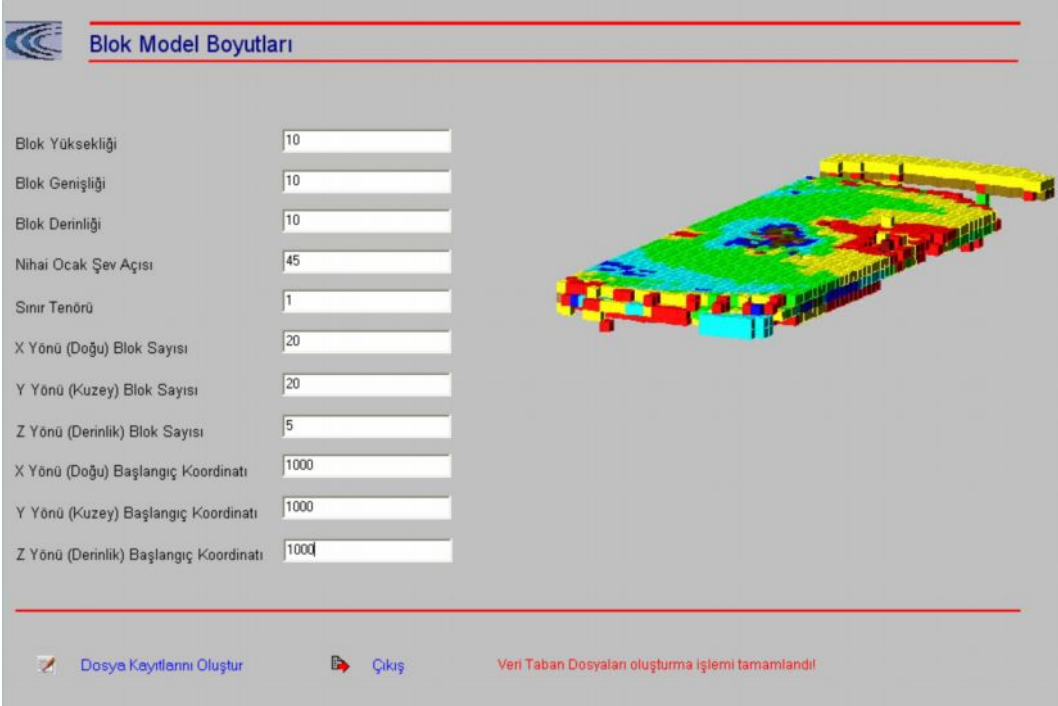


Şekil 4. 1. Ekonomik Ocak Sınırı Hesabı Ana Menüsü

## 4.2. Blok Model Boyutları

17

“Blok Model Boyut Veri Giriş” için seçilen alt menüyle Şekil 4.2’de görünen “Blok Model Boyutları” penceresi açılır. Bu pencerede blok boyutları, ocak şev açısı, sınır tenörü, ocağın kaç bloktan meydana geldiği ve ocağın koordinatları gibi bilgiler girilir. Programın çalıştırılmasıyla veri tabanına ait gerekli dosyalar üretilir. Programın bundan sonra oluşturulan tüm dosyaları bu ana veri tabanını kullanır ve hesaplamalar bu verilere dayanarak yapılır. Bu menüde yer alan verilerin değiştirilmesiyle bir sınama yapılacaksa bu menüye dönüp veriler değiştirilerek sırasıyla işleme devam edilir. Fakat bu menüden daha sonra gelen bir pencereye ait verdilerde değişiklik yapılacaksa o pencereden devam edilir. Tekrar bu menüye dönmeye gerek yoktur.



The screenshot shows the 'Blok Model Boyutları' window with the following input fields:

| Parameter                              | Value |
|--|-------|
| Blok Yüksekliği                        | 10    |
| Blok Genişliği                         | 10    |
| Blok Derinliği                         | 10    |
| Nihai Ocak Şev Açısı                   | 45    |
| Sınır Tenörü                           | 1     |
| X Yönü (Doğu) Blok Sayısı              | 20    |
| Y Yönü (Kuzey) Blok Sayısı             | 20    |
| Z Yönü (Derinlik) Blok Sayısı          | 5     |
| X Yönü (Doğu) Başlangıç Koordinatı     | 1000  |
| Y Yönü (Kuzey) Başlangıç Koordinatı    | 1000  |
| Z Yönü (Derinlik) Başlangıç Koordinatı | 1000  |

The 3D model on the right shows a rectangular block structure with a central hole, colored in a gradient from blue to yellow. The status bar at the bottom indicates 'Dosya Kayıtlarını Oluştur' (Create File Records), 'Çıkış' (Exit), and 'Veri Taban Dosyaları oluşturma işlemi tamamlandı!' (Data Base File Creation process completed!).

Şekil 4. 2. Blok Model Veri Giriş Penceresi

## 4.3. Rasgele Sondaj Kuyusu Üretimi

Bir diğer pencere “Rasgele Sondaj Kuyusu Üretimi”ne ait Şekil 4.3’te görünen penceredir. Bu pencerede oluşturulacak sondaj kuyusu dosyasının adı ve kuyu sayısı belirlenir. Menünün çalıştırılmasıyla oluşturulan blok düzeni içerisinde kullanıcı tarafından girilen miktar

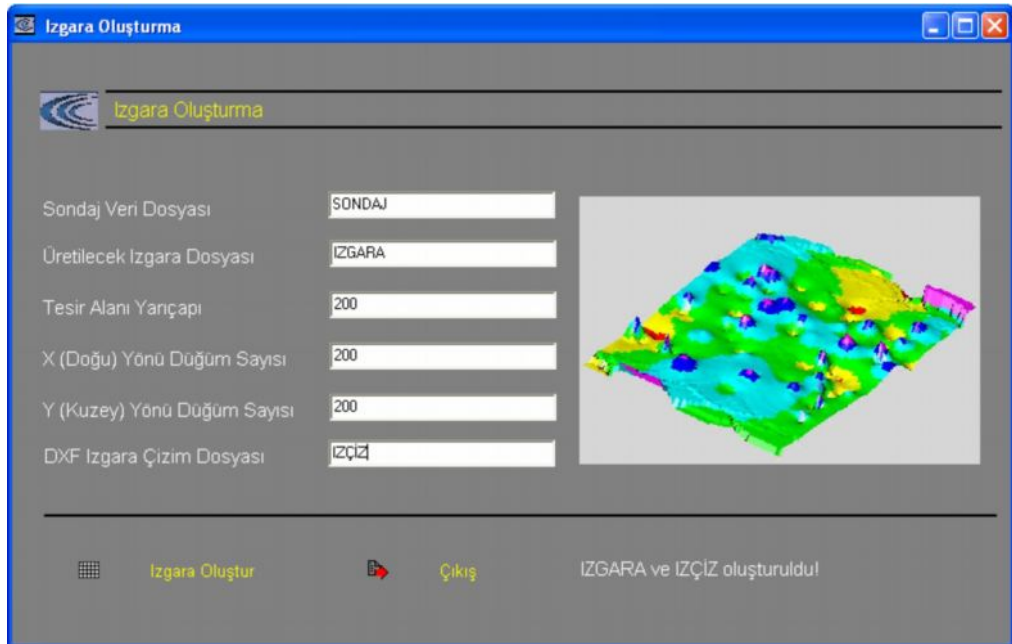
kadar rasgele sondaj kuyusu açılmış olur. Bu yazılım kullanıcının gerçek bir veri tabanı olmaması durumunda, deneme amaçlı suni veri oluşturularak kullanım için hazırlanmıştır.



Şekil 4. 3. Sondaj Kuyusu Üretim Penceresi

#### 4.4. Izgara Oluşturma

Şekil 4.4'te verilen menüde ise, oluşturulan sondaj kuyularındaki veriler kullanılarak programın jeostatistiksel fonksiyonları işletilir ve blok modele bir yüzey ızgarası ağı ve bu ızgaranın çizim dosyası oluşturulur. Oluşturulan ızgara başta AutoCAD programı olmak üzere, DXF formatını tanıyan bütün çizim paketlerinde görüntülenebilir.



Şekil 4. 4. Topoğrafik Izgara Oluşturma Penceresi

#### 4.5. (1-0)Kod Dosyaları Oluşturma

19

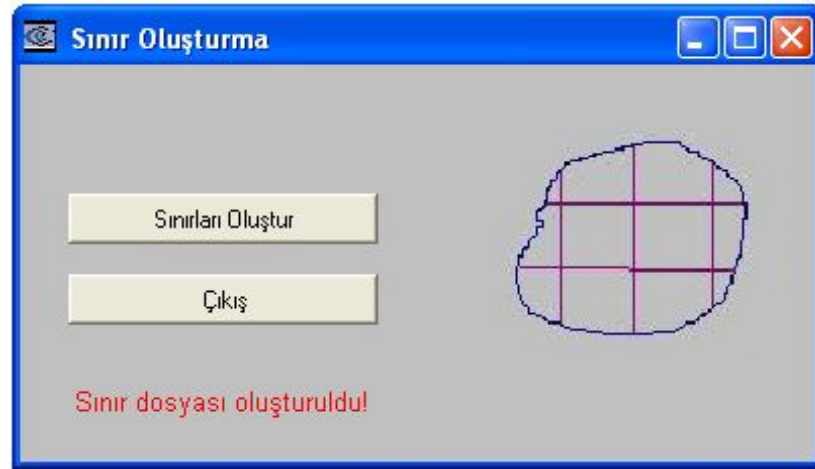
Şekil 4.5'te 1-0 kodlarını oluşturabilmek için kullanılan menü gözükmektedir. Bu menünün çalıştırılmasıyla verilen blok model bilgileri değerlendirilerek hangi bloğun cevher, hangisinin pasa, hangisinin hava olduğu tespit edilir. Oluşturulan kodlarda henüz çıkarılmamış olan bloklara 1 kodu, çıkarılmış bloğa -1 kodu ve hava boşluğuna denk gelen blok kesimine ise 0 kodu verilmektedir. Bu yöntemle oluşturulan hipotetik veri dosyalarındaki tüm bloklar 1, 0 ve -1 kodlarıyla temsil edilmektedir. Program çalıştırılmaya başlandığında 1 koduyla temsil edilen bloklar çıkarıldıkça -1 koduna donştrlr.



Şekil 4. 5. 1-0 Kodlarını Oluşturma Penceresi

#### 4.6. Sınır Oluşturma

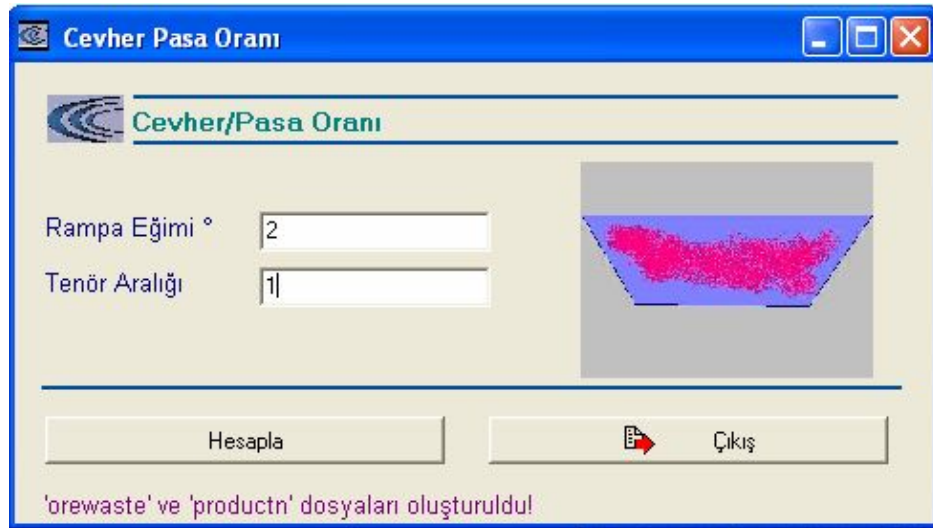
Ocağın işletme sınırlarını belirlemek için Şekil 4.6'da verilen menü kullanılır. Menünün çalıştırılmasıyla blok model içerisindeki bloklardan hangilerinin alınacağı belirlenmiş olur. bu menünün ilk çalıştırılmasıyla verilen blok modelin alınabilecek maksimum sınırı belirlenmiş olmaktadır. Program çalıştırıldığında bu menüyle oluşturulan sınırlara göre blokları alır. Bu safhadaki sınır oluşurmada daha önce kullanıcı tarafından girilmiş olan Şev açısı asıl kriterdir.



Şekil 4. 6. Ocak Sınırı Oluşturma Penceresi

#### 4.7. Cevher Pasa Oranı Belirleme

Şekil 4.7’de verilen menüyle, alınabilecek ocak hacmi içerisinde ne kadar cevher, ne kadar pasa bulunduğu, istenilen tenör aralığında blokların tenör dağılımı ve alınabilecek cevher bloklarının ortalama tenörü belirlenmiş olur. Burada oluşturulan dosyalara bakılarak ocağın genel ekonomik değeri hakkında bilgi edinilmiş olmaktadır.



Şekil 4. 7. Cevher-Pasa Belirleme Penceresi

#### 4.8. Üretim Bilgileri

21

Üretime ait bilgiler, Şekil 4.8’de verilen “Üretim Bilgileri” penceresiyle girilir. Bu bilgiler girilirken Şekil 4.7’de verilen menü tarafından oluşturulan “orewaste” dosyasındaki bilgiler dikkate alınır.

Şekil 4. 8. Üretim Bilgileri Giriş Penceresi

Üretim bilgileri; kazı başlangıç koordinatları, yıllık üretim miktarı, gün sayısı, tesisin istediği tenör aralıkları stok bilgileri, yıllık faiz oranı, yıllık kazı miktarı, ocak hacmi, sınır tenörü olarak girildikten sonra program bütün bu bilgileri optimizasyonda kullanmaktadır. Dolayısıyla komplike ve detaylı bir bilgi alt yapısıyla similasyon yapılmaktadır.

#### 4.9. Kazı ve Yollar

Kazı yapıldıktan sonra cevherin ve pasanın nakledileceği uzaklık yine yazılım tarafından dikkate alınmaktadır. Ocak işletmesi boyunca her kata ait taşıma profillerinin belirlenebilmesi için Şekil 4.9’da verilen kazı ve yollar penceresi kullanılır.

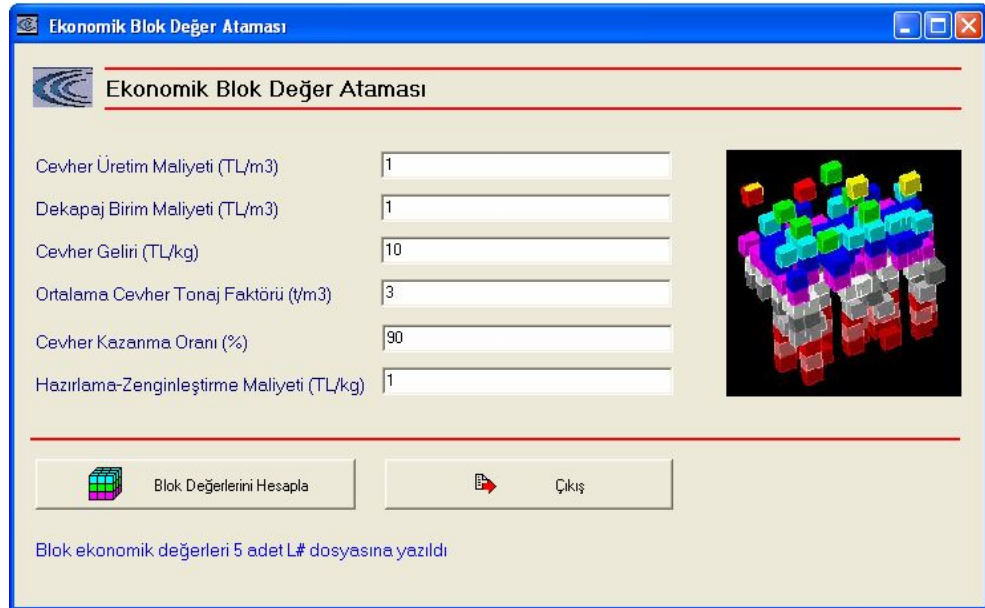




Şekil 4. 9. Kazı ve Yol Belirleme Penceresi

#### 4.10. Ekonomik Blok Değer Ataması

Her bloğun alacağı ekonomik değeri belirlemek için Şekil 4.10’da verilen “Ekonomik Blok Değer Ataması” penceresi kullanılır. Bu menünün çalıştırılmasıyla modeldeki her bloğun ekonomik değerinin belirlenmiş olduğu dosyalar üretilir. Dolayısıyla jeolojik blok model, ekonomik blok modele dönüştürülmüştür. Blok çıkarımı esnasında çıkarılan blok burada belirlenen ekonomik değeriyle listeye dahil edilir.



Şekil 4. 10. Bloklara Ekonomik Değer Atama Penceresi

#### 4.11. Optimum Ocak Sınırı Belirleme

23

Yukarıda hazırlanan tüm verileri kullanarak optimum ocak sınırını belirleyen menü Şekil 4.11’de verilmiştir. Bu pencerenin çalıştırılmasıyla daha önceki pencereler vasıtasıyla oluşturulan tüm veri dosyaları kullanılarak optimum ocak sınırı tespit edilir.



Şekil 4. 11. Optimum Ocak Sınırı Belirleme Başlangıç Penceresi

#### 4.12. Ocak İşletme Takibi

Programın çalıştırılmasıyla alınan blok sayısı ve bundan elde edilen net şimdiki zaman değeri programla eşzamanlı olarak Şekil 4.12’de verilen pencereyle takip edilebilmektedir. Bu pencere vasıtasıyla o andaki alınan blok sayısı ve kâr-zarar durumu takip edilebilmektedir.



Şekil 4. 12. Optimum Ocak Sınırı Belirlenirken Görünen İşlem Takip Penceresi

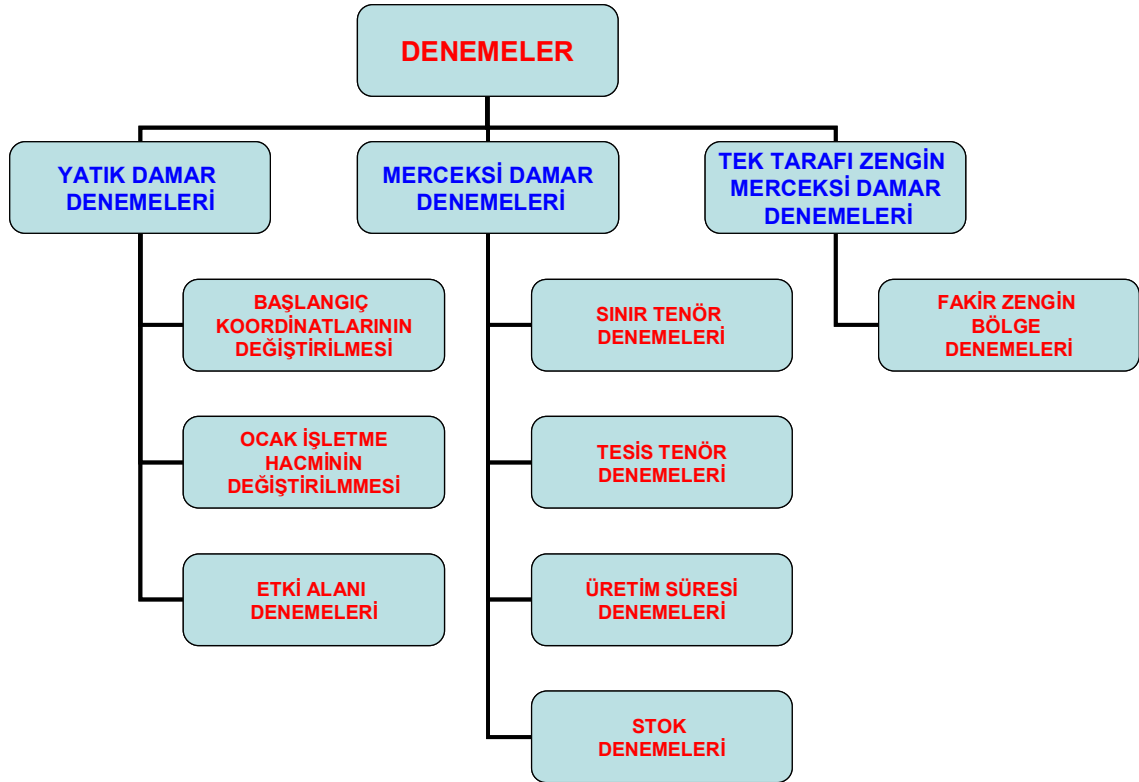
Programın alışması tamamlandıktan sonra optimum ocak sınırını belirleyecek tm24 veriler elde edilmiş olunur. Paket yazılım, sayısal, grafik ve görsel çıktılardan oluşan geniş bir rapor sunabilmektedir.

Programın alışması AMD Athlon(tm) XP 3000+ 2.17 GHz, 512 MB RAM donanıma sahip bir bilgisayarla 30 dakika ile 45 dakika arasında değişmektedir.

## 5. OPTİMUM SINIRI ETKİLEYEN FAKTÖRLERİN İNCELENMESİ

25

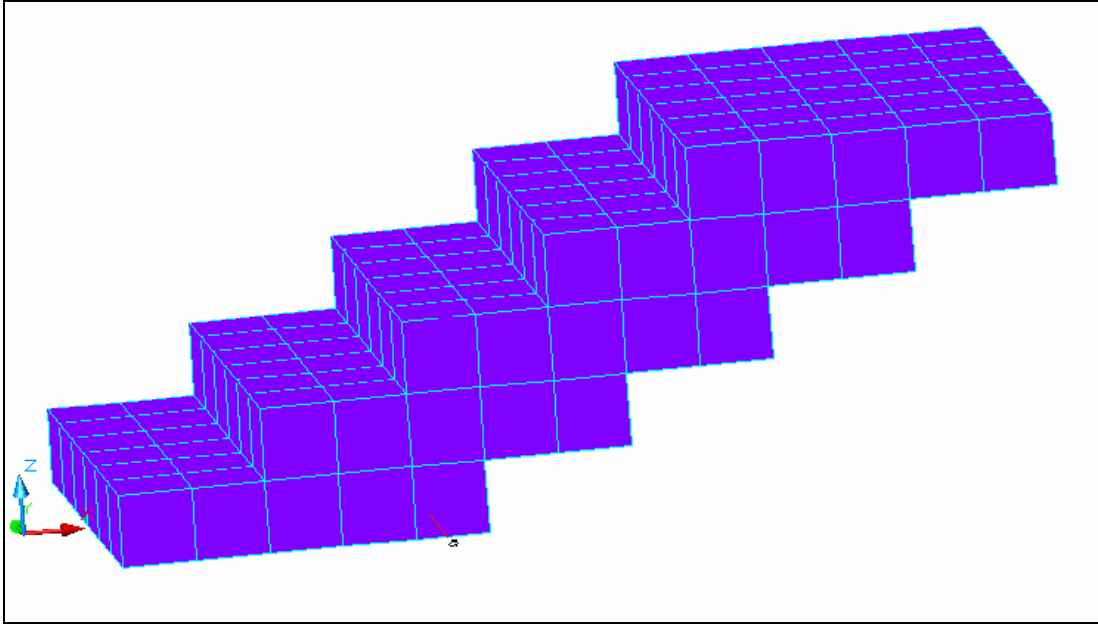
Bu çalışmada; değişik cevher modelleri için, ocak işletmesine başlangıç koordinatlarının, ocak işletme hacminin, etki alanı mesafesinin, sınır tenörünün, tesisin istediği tenör aralığının, ocağın işletme ömrünün, tesis öncesi stok miktarlarının, değiştirilmesi ve cevherin tenörce zengin veya fakir bölgesinden başlanması halinde net kârın şimdiki zaman değerinin nasıl değişeceği EPDS yazılımı ile denendi ve sonuçlar yorumlandı. Hangi damar şeklinde hangi parametrenin denendiği Şekil 5.1.'de verilmiştir.



Şekil 5.1. Damar Yapılarına Göre Yapılan Denemeler



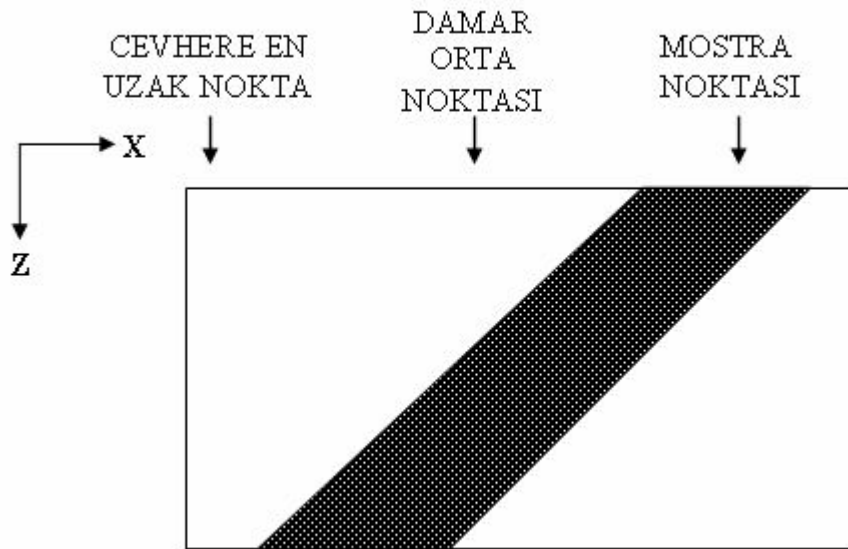




Şekil 5.3. Yatık Damar Şeklindeki Cevherin Autocad'da Çizilmiş Şekli

### 5.1.1. Başlangıç parametrelerinin değiştirilmesiyle elde edilen şimdiki zaman değerlerinin kıyaslanması

Bu incelemede, Şekil 5.2'deki gibi hazırlanan bir cevher blok modelinde, işletmeye başlangıç parametrelerinin değiştirilmesiyle elde edilecek sonuçlar irdelendi. 3 defa sınamaya yapıldı ve her sınamada bütün parametreler sabit tutulurken üretim başlangıç noktası; üretim başlangıç bloğu indisleri değiştirildi. Girilen indis değerleri; cevhere en uzak nokta, damarın düşey olarak orta noktası ve mostra noktası olacak şekilde belirlendi. (Şekil 5.4)



Şekil 5.4. Modelin çalıştırılması için girilen başlangıç noktaları

Üretim planlaması sırasında girilen değerler Tablo 5.1.'de toplu olarak verilmiştir.

Tablo 5. 1. Üretim planlamasında girilen değerler

| Blok Çıkarımında Başlangıç İndislerinin Değiştirilmesi | Cevhere En Uzak Nokta | Damarın Orta NOKtası | Mostra Noktası |
|--|-----------------------|----------------------|----------------|
| <b><i>Blok Model Boyut Veri Girişi</i></b>             |                       |                      |                |
| Blok Yüksekliği  | 10                    | 10                   | 10             |
| Blok Genişliği   | 10                    | 10                   | 10             |
| Blok Derinliği   | 10                    | 10                   | 10             |
| Nihai Ocak Şev Açısı                                   | 45                    | 45                   | 45             |
| Sınır Tenörü   | 1                     | 1                    | 1              |
| X Yönü (Doğu) Blok Sayısı                              | 20                    | 20                   | 20             |
| Y Yönü (Kuzey) Blok Sayısı                             | 20                    | 20                   | 20             |
| Z Yönü (Derinlik) Blok Sayısı                          | 7                     | 7                    | 7              |
| X Yönü (Doğu) Başlangıç Koordinatı                     | 1.000                 | 1.000                | 1.000          |



|  |       |       |       |
|--|-------|-------|-------|
| Y Yönü (Kuzey) Başlangıç Koordinatı    | 1.000 | 1.000 | 1.000 |
| Z Yönü (Derinlik) Başlangıç Koordinatı | 1.000 | 1.000 | 1.000 |

| <b>İZGARA OLUŞTURMA</b>     |        |        |        |
|-----------------------------|--------|--------|--------|
| Sondaj Veri Dosyası         | sondaj | sondaj | sondaj |
| Üretilecek Izgara Dosyası   | ızgara | ızgara | ızgara |
| Tesir Alanı Yarıçapı        | 200    | 200    | 200    |
| X Yönü (Doğu) Düşüm Sayısı  | 200    | 200    | 200    |
| Y Yönü (Kuzey) Düşüm Sayısı | 200    | 200    | 200    |
| <b>Rampa Eğimi</b>          | 3      | 3      | 3      |
| <b>Tenör Aralığı</b>        | 1      | 1      | 1      |

| <b>Üretim Bilgileri</b>                |           |           |           |
|--|-----------|-----------|-----------|
| Blok Çıkarımında Başlangıç İndeksleri  |           |           |           |
|  | <b>X</b>  | <b>1</b>  | <b>6</b>  |
|  | <b>Y</b>  | <b>1</b>  | <b>11</b> |
|  | <b>Z</b>  | <b>1</b>  | <b>1</b>  |
| Etki Alan Yarıçapı                     | 6         | 6         | 6         |
| <b>Üretim Bilgileri</b>                |           |           |           |
| Yıllık Cevher Üretimi (m3/yıl)         | 100.000   | 100.000   | 100.000   |
| Yıllık Çalışılan Gün Sayısı            | 300       | 300       | 300       |
| <b>Tesis Bilgileri</b>                 |           |           |           |
| Minimum Cevher Tenörü (%)              | 1         | 1         | 1         |
| Maksimum Cevher Tenörü (%)             | 2         | 2         | 2         |
| <b>Cevher Stok Bilgileri</b>           |           |           |           |
| Minimum Stok Riski (m3)                | 20.000    | 20.000    | 20.000    |
| Stok Kapasitesi (m3)                   | 50.000    | 50.000    | 50.000    |
| Tesis Öncesi Minimum Stok Miktarı (m3) | 30.000    | 30.000    | 30.000    |
| Yıllık Faiz Oranı (%)                  | 10        | 10        | 10        |
| <b>Kazı Bilgileri</b>                  |           |           |           |
| Yıllık Toplam Kazı Miktarı (m3)        | 600.000   | 600.000   | 600.000   |
| Rampa Eğimi (%)                        | 2         | 2         | 2         |
| Ocak Hacmi (cevher+pasa) (m3)          | 1.120.000 | 1.120.000 | 1.120.000 |
| Sınır Tenörü (%)                       | 1         | 1         | 1         |

| <b>Yıllık Kazı ve Yollar</b>    |       |       |       |
|---------------------------------|-------|-------|-------|
| Ocak Dışı Yol Uzunluğu (m)      | 1.000 | 1.000 | 1.000 |
| Dış Yolların Ortalama Eğimi (%) | 0     | 0     | 0     |

| <b>Blok Değer Ataması</b>                  |    |    |    |
|--|----|----|----|
| Cevher Üretim Maliyeti (YTL/m3)            | 1  | 1  | 1  |
| Dekapaj Birim Maliyeti (YTL/m3)            | 1  | 1  | 1  |
| Cevher Geliri (YTL/kg)                     | 10 | 10 | 10 |
| Ortalama Cevher Tonaj Faktörü (t/m3)       | 3  | 3  | 3  |
| Cevher Kazanma Oranı (%)                   | 90 | 90 | 90 |
| Hazırlama-Zenginleştirme Maliyeti (YTL/kg) | 1  | 1  | 1  |

Oluşturulan model içindeki cevherin tenörü tamamı %1 olduğundan, ocağın ortalama tenörü %1 olarak belirlendi. Girilen değerlere göre alınabilecek maksimum ocak sınırı

içinde kalan blok sayısı 1120'dir. Bu bloklardan 189 tanesi cevher bloğu, 931 tanesi de31 pasadır. Cevher bloğunun tamamının tenörü %1'dir. (Tablo 5.2.)

**Tablo 5. 2.** Ocağın ekonomik değeri

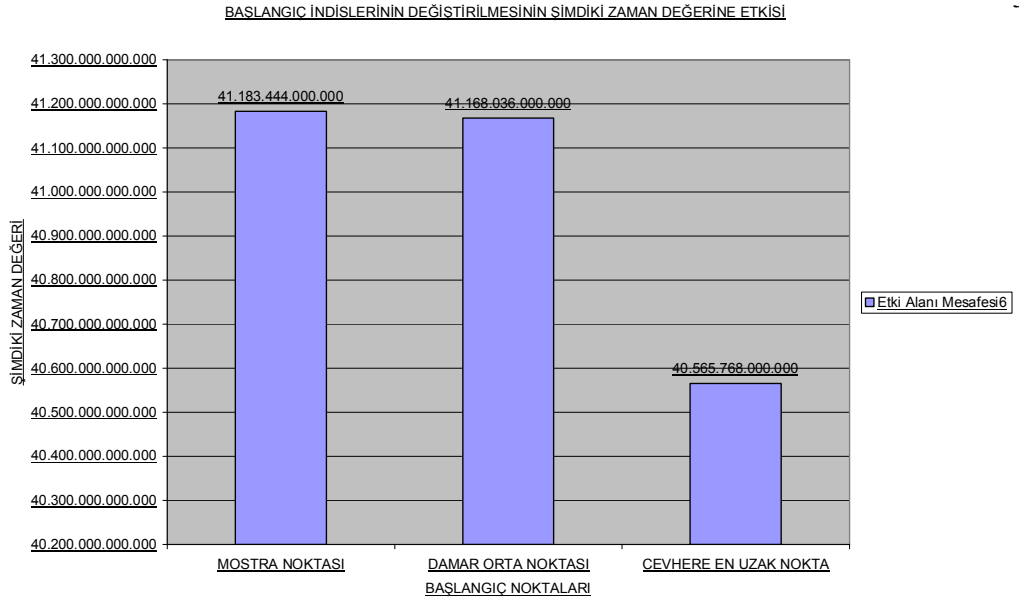
| Alınabilecek Blokların Dağılımı |                    |
|---------------------------------|--------------------|
| <b>Toplam Cevher Bloğu</b>      | <b>189.000000</b>  |
| <b>Toplam Pasa Bloğu</b>        | <b>931.000000</b>  |
| <b>Alınabilecek Toplam Blok</b> | <b>1120.000000</b> |

| Cevher Pasa ve Alınacak Ocak Hacmi          |                       |
|---|-----------------------|
| <b>1 Bloğun Boyutu (m<sup>3</sup>)</b>      | <b>1000.000000</b>    |
| <b>Toplam Cevher Boyutu (m<sup>3</sup>)</b> | <b>189000.000000</b>  |
| <b>Toplam Pasa Boyutu (m<sup>3</sup>)</b>   | <b>931000.000000</b>  |
| <b>Alınaca Toplam Hacim (m<sup>3</sup>)</b> | <b>1120000.000000</b> |

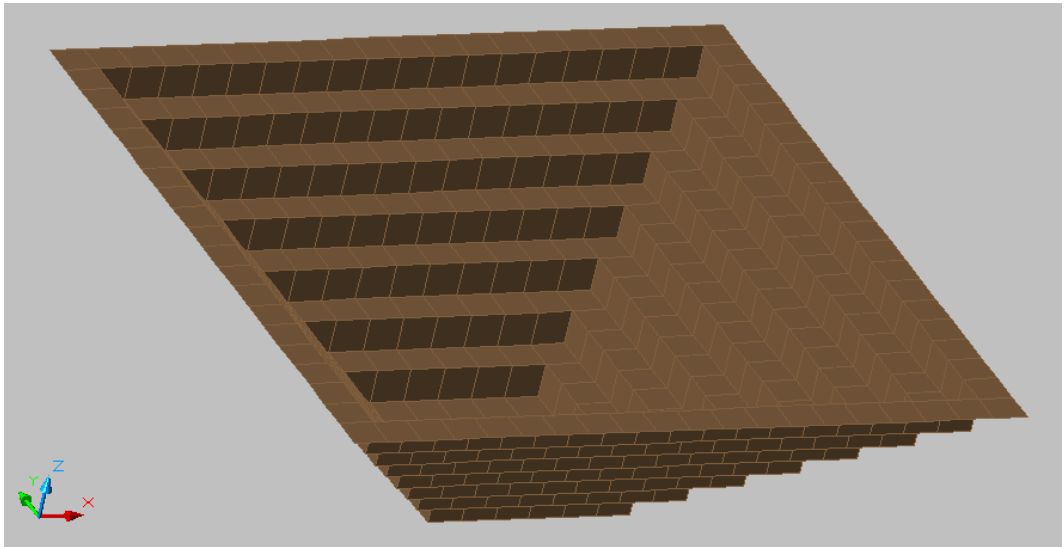
| Alınabilecek Cevherin Tenör Dağılımı |                    |
|--------------------------------------|--------------------|
| <b>Tenör Aralığı</b>                 | <b>Blok Sayısı</b> |
| <b>1.000000 - 2.000000</b>           | <b>189.000000</b>  |
| <b>2.000000 - 3.000000</b>           | <b>0.000000</b>    |
| <b>3.000000 - 4.000000</b>           | <b>0.000000</b>    |
| <b>4.000000 - 5.000000</b>           | <b>0.000000</b>    |
| <b>5.000000 - 6.000000</b>           | <b>0.000000</b>    |
| <b>6.000000 - 7.000000</b>           | <b>0.000000</b>    |
| <b>7.000000 - 8.000000</b>           | <b>0.000000</b>    |
| <b>8.000000 -</b>                    | <b>0.000000</b>    |
| <b>Ortalama Tenör</b>                | <b>1.000000</b>    |

### **Eldedilen sonuçların kıyaslanması**

Eldedilen değerlere bakıldığında bu cevher modeli için en uygun işletmeye başlangıç koordinatının mostra noktası olduğu belirlenmiştir. Çünkü en yüksek paranın şimdiki zaman değeri, mostra noktasından başlanması halinde elde edilmiştir. (Şekil 5.5) bu model için oluşturulan ocak sınırları Şekil 5.6'da verilmiştir.



**Şekil 5.5.** Başlangıç İndislerinin Değiştirilmesinin Net Kâra etkisi



**Şekil 5.6.** Ocak İşletmesinden sonra Ocağın 3 Boyutlu Görünümü

### 5.1.2. Ocak hacmi işletme hacminin değiştirilmesiyle elde edilen net şimdiki zaman değerinin kıyaslanması

Bu incelemede yukarıdaki Şekil 5.2’de görülen cevher blok modelinde toplam alınacak olan ocak hacminin değiştirilmesiyle elde edilecek sonuçlar incelendi. 3 defa sına yapıldı ve her sınamada alınacak olan ocak hacmi %10 azaltılarak program çalıştırıldı. (Tablo 5.3.)

Tablo 5. 3. Üretim planlamasında girilen değerler

| <b>OCAK HACMİNİN AZALTILMASIYLA YAPILAN DENEME</b> | <b>100%</b> | <b>90%</b> | <b>80%</b> |
|--|-------------|------------|------------|
| <b><i>Blok Model Boyut Veri Girişi</i></b>         |             |            |            |
| Blok Yüksekliği                                    | 10          | 10         | 10         |
| Blok Genişliği                                     | 10          | 10         | 10         |
| Blok Derinliği                                     | 10          | 10         | 10         |
| Nihai Ocak Şev Açısı                               | 45          | 45         | 45         |
| Sınır Tenörü                                       | 1           | 1          | 1          |
| X Yönü (Doğu) Blok Sayısı                          | 20          | 20         | 20         |
| Y Yönü (Kuzey) Blok Sayısı                         | 20          | 20         | 20         |
| Z Yönü (Derinlik) Blok Sayısı                      | 7           | 7          | 7          |
| X Yönü (Doğu) Başlangıç Koordinatı                 | 1.000       | 1.000      | 1.000      |
| Y Yönü (Kuzey) Başlangıç Koordinatı                | 1.000       | 1.000      | 1.000      |
| Z Yönü (Derinlik) Başlangıç Koordinatı             | 1.000       | 1.000      | 1.000      |
| <b><i>IZGARA OLUŞTURMA</i></b>                     |             |            |            |
| Sondaj Veri Dosyası                                | sondaj      | sondaj     | sondaj     |
| Üretilecek Izgara Dosyası                          | izgara      | izgara     | izgara     |
| Tesir Alanı Yarıçapı                               | 200         | 200        | 200        |
| X Yönü (Doğu) Düğüm Sayısı                         | 200         | 200        | 200        |
| Y Yönü (Kuzey) Düğüm Sayısı                        | 200         | 200        | 200        |
| DXF Izgara Çizim Dosyası                           | izçiz       | izçiz      | izçiz      |
| <b><i>Cevher Dekapaj Kazı Miktarları</i></b>       |             |            |            |
| <b><i>Cevher paşa Oranı</i></b>                    |             |            |            |
| <b><i>Rampa Eğimi</i></b>                          | 3           | 3          | 3          |
| <b><i>Tenör Aralığı</i></b>                        | 1,2         | 1,2        | 1,2        |
| <b><i>Üretim Bilgileri</i></b>                     |             |            |            |
| Blok Çıkarımında Başlangıç İndeksleri              |             |            |            |
| X  | 1           | 1          | 1          |
| Y  | 1           | 1          | 1          |
| Z  | 1           | 1          | 1          |
| Etki Alan Yarıçapı                                 | 2           | 2          | 2          |

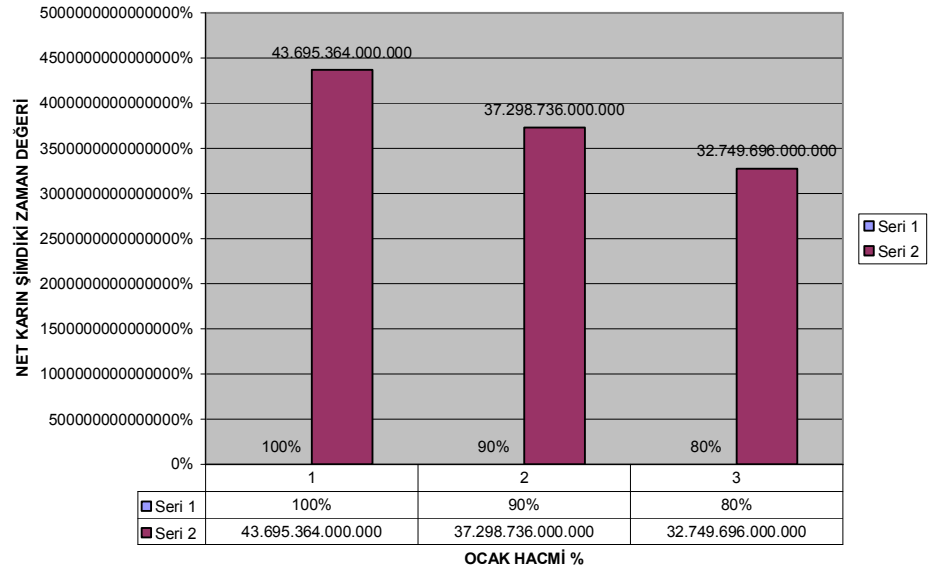
| Üretim Bilgileri                       |           |           |         |
|--|-----------|-----------|---------|
| Yıllık Cevher Üretimi (m3/yıl)         | 150.000   | 150.000   | 150.000 |
| Yıllık Çalışılan Gün Sayısı            | 300       | 300       | 300     |
| Tesis Bilgileri                        |           |           |         |
| Minimum Cevher Tenörü (%)              | 1         | 1         | 1       |
| Maksimum Cevher Tenörü (%)             | 2         | 2         | 2       |
| Cevher Stok Bilgileri                  |           |           |         |
| Minimum Stok Riski (m3)                | 20.000    | 20.000    | 20.000  |
| Stok Kapasitesi (m3)                   | 50.000    | 50.000    | 50.000  |
| Tesis Öncesi Minimum Stok Miktarı (m3) | 30.000    | 30.000    | 30.000  |
| Yıllık Faiz Oranı (%)                  | 5         | 5         | 5       |
| Kazı Bilgileri                         |           |           |         |
| Yıllık Toplam Kazı Miktarı (m3)        | 1.120.000 | 1.008.000 | 896.000 |
| Rampa Eğimi (%)                        | 2         | 2         | 2       |
| Ocak Hacmi (cevher+pasa) (m3)          | 1.120.000 | 1.008.000 | 896.000 |
| Sınır Tenörü (%)                       | 1         | 1         | 1       |

| Yıllık Kazı ve Yollar           |       |       |       |
|---------------------------------|-------|-------|-------|
| Ocak Dışı Yol Uzunluğu (m)      | 1.000 | 1.000 | 1.000 |
| Dış Yolların Ortalama Eğimi (%) | 0     | 0     | 0     |

| Blok Değer Ataması                         |    |    |    |
|--|----|----|----|
| Cevher Üretim Maliyeti (YTL/m3)            | 1  | 1  | 1  |
| Dekapaj Birim Maliyeti (YTL/m3)            | 1  | 1  | 1  |
| Cevher Geliri (YTL/kg)                     | 10 | 10 | 10 |
| Ortalama Cevher Tonaj Faktörü (t/m3)       | 3  | 3  | 3  |
| Cevher Kazanma Oranı (%)                   | 90 | 90 | 90 |
| Hazırlama-Zenginleştirme Maliyeti (YTL/kg) | 1  | 1  | 1  |

### Elde edilen sonuçların kıyaslanması

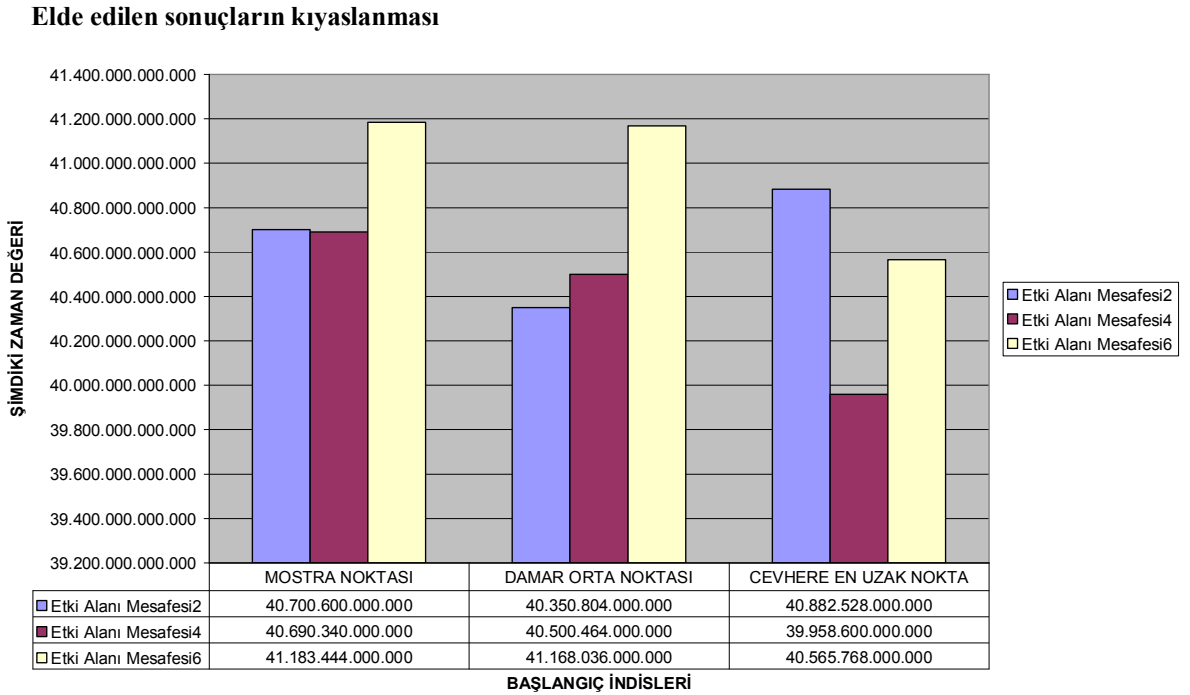
Şekil 5.7'de de görüldüğü üzere, bu cevher modelinde işletilecek olan ocak hacminin azaltılmasıyla net şimdiki zaman değeri düşmektedir. Bunun sebebi işletilmeyen kısımda kalan blokların kâra etkisinin pozitif olmasıdır. Bir diğer ifadeyle, her ocak hacminin azaltılmasıyla işletilmeyen kısımda kalan bloklardan cevher bulunduranların ekonomik değeri, bu kısmın alınmasıyla ortaya çıkacak olan maliyet değerinden daha fazladır. Dolayısıyla bu blok modeli için ocak hacminin tamamının alınması daha kârlıdır.



**Şekil 5.7.** Ocak hacminin değiştirilmesinin net kâra etkisi

### 5.1.3. Etki Alanı Yarıçapının Değiştirilmesiyle Elde Edilen Şimdiki Zaman Değerlerinin Kıyaslanması

Şekil 5.2’de görülen ocak şeklinde, “etki alanı yarıçapı” değişiminin, net şimdiki zaman değerine etkisi incelendi. Burada etki alanı ile kastedilen, dinamik programlama uygulamasında bir satırda kaç alt dala ulaşılacağı, dolayısıyla kombinasyon sayısının kaç alt dala kadar sınırlandırılacağıdır. Bunun için etki alanı yarıçapı 2,4 ve 6 olacak şekilde, (i)cevhere en uzak nokta, (ii)damarın düşey olarak orta noktası ve (iii)mostra noktası için ayrı ayrı 9 defa deneme yapıldı.



**Şekil 5.8.** Etki alanı mesafesinin şimdiki zaman değerine etkisi

Grafiğe genel olarak bakıldığında, bu cevher modeli için en yüksek şimdiki zaman değerinin, etki alanı mesafesinin 6 blok olduğu durumda elde edildiği gözlenmektedir. Başlangıç parametrelerinde ise, mostra noktasından başlamanın en yüksek kâr verdiği görülmektedir.







### 5.2.1. Sınır tenörün değiştirilmesiyle elde edilen şimdiki zaman değerlerinin kıyaslanması

Bu denemede, Şekil 5.9'da tenör değerleri ve Şekil 5.10'da şekli verilen merceksi damar şekli için, sınır tenörünün değiştirilmesinin net şimdiki zamana etkisi gözlemlendi. Tablo 5.4.'te görüldüğü üzere giriş verilerinden tamamı sabit tutulup sadece sınır tenörü değiştirilerek elde edilen sonuçlar değerlendirildi.

**Tablo 5. 4.** Üretim planlamasında girilen değerler

| MERCEKSİ YAPI SINIR TENÖR DENEMELERİ         | 1      | 2      | 3      |
|--|--------|--------|--------|
| <b><u>Blok Model Boyut Veri Girişi</u></b>   |        |        |        |
| Blok Yüksekliği                              | 10     | 10     | 10     |
| Blok Genişliği                               | 10     | 10     | 10     |
| Blok Derinliği                               | 10     | 10     | 10     |
| Nihai Ocak Şev Açısı                         | 45     | 45     | 45     |
| Sınır Tenörü                                 | 1      | 2      | 3      |
| X Yönü (Doğu) Blok Sayısı                    | 20     | 20     | 20     |
| Y Yönü (Kuzey) Blok Sayısı                   | 20     | 20     | 20     |
| Z Yönü (Derinlik) Blok Sayısı                | 5      | 5      | 5      |
| X Yönü (Doğu) Başlangıç Koordinatı           | 1.000  | 1.000  | 1.000  |
| Y Yönü (Kuzey) Başlangıç Koordinatı          | 1.000  | 1.000  | 1.000  |
| Z Yönü (Derinlik) Başlangıç Koordinatı       | 1.000  | 1.000  | 1.000  |
| <b><u>IZGARA OLUŞTURMA</u></b>               |        |        |        |
| Sondaj Veri Dosyası                          | sondaj | sondaj | sondaj |
| Üretilecek Izgara Dosyası                    | ızgara | ızgara | ızgara |
| Tesir Alanı Yarıçapı                         | 200    | 200    | 200    |
| X Yönü (Doğu) Düğüm Sayısı                   | 200    | 200    | 200    |
| Y Yönü (Kuzey) Düğüm Sayısı                  | 200    | 200    | 200    |
| DXF Izgara Çizim Dosyası                     | ızçiz  | ızçiz  | ızçiz  |
| <b><u>Cevher Dekapaj Kazı Miktarları</u></b> |        |        |        |
| <b><u>Cevher pasa Oranı</u></b>              |        |        |        |
| <b><u>Rampa Eğimi</u></b>                    | 2      | 2      | 2      |
| <b><u>Tenör Aralığı</u></b>                  | 1      | 1      | 1      |
| <b><u>Üretim Bilgileri</u></b>               |        |        |        |
| Blok Çıkarımında Başlangıç İndeksleri        |        |        |        |
| X  | 11     | 11     | 11     |
| Y  | 11     | 11     | 11     |
| Z  | 1      | 1      | 1      |
| Etki Alan Yarıçapı                           | 2      | 2      | 2      |
| Üretim Bilgileri                             |        |        |        |

|  |           |           |           |
|--|-----------|-----------|-----------|
| Yıllık Cevher Üretimi (m3/yıl)         | 100.000   | 100.000   | 100.000   |
| Yıllık Çalışılan Gün Sayısı            | 300       | 300       | 300       |
| <b>Tesis Bilgileri</b>                 |           |           |           |
| Minimum Cevher Tenörü (%)              | <b>3</b>  | <b>3</b>  | <b>3</b>  |
| Maksimum Cevher Tenörü (%)             | <b>4</b>  | <b>4</b>  | <b>4</b>  |
| <b>Cevher Stok Bilgileri</b>           |           |           |           |
| Minimum Stok Riski (m3)                | 20.000    | 20.000    | 20.000    |
| Stok Kapasitesi (m3)                   | 50.000    | 50.000    | 50.000    |
| Tesis Öncesi Minimum Stok Miktarı (m3) | 30.000    | 30.000    | 30.000    |
| Yıllık Faiz Oranı (%)                  | 10        | 10        | 10        |
| <b>Kazı Bilgileri</b>                  |           |           |           |
| Yıllık Toplam Kazı Miktarı (m3)        | 300.000   | 300.000   | 300.000   |
| Rampa Eğimi (%)                        | 2         | 2         | 2         |
| Ocak Hacmi (cevher+pasa) (m3)          | 1.020.000 | 1.020.000 | 1.020.000 |
| Sınır Tenörü (%)                       | <b>1</b>  | <b>2</b>  | <b>3</b>  |

|                                 |       |       |       |
|---------------------------------|-------|-------|-------|
| <b>Yıllık Kazı ve Yollar</b>    |       |       |       |
| Ocak Dışı Yol Uzunluğu (m)      | 1.000 | 1.000 | 1.000 |
| Dış Yolların Ortalama Eğimi (%) | 0     | 0     | 0     |

|  |    |    |    |
|--|----|----|----|
| <b>Blok Değer Ataması</b>                  |    |    |    |
| Cevher Üretim Maliyeti (YTL/m3)            | 1  | 1  | 1  |
| Dekapaj Birim Maliyeti (YTL/m3)            | 1  | 1  | 1  |
| Cevher Geliri (YTL/kg)                     | 10 | 10 | 10 |
| Ortalama Cevher Tonaj Faktörü (t/m3)       | 3  | 3  | 3  |
| Cevher Kazanma Oranı (%)                   | 90 | 90 | 90 |
| Hazırlama-Zenginleştirme Maliyeti (YTL/kg) | 1  | 1  | 1  |

### Elde edilen sonuçların kıyaslanması

Programın sınır tenör %1,%2 ve %3'e göre çalıştırılmasıyla alınabilecek blok miktarlarının kıyaslanması Tablo 5.5.'te verilmiştir. Buna göre sınır tenörü yükseltildikçe cevher olarak kabul edilen blok sayısı azalmakta, dolayısıyla pasa olarak kabul edilen blok sayısı artmaktadır.

**Tablo 5. 5.** Cevher - Pasa blok dağılımı

| Alınabilecek Blokların Dağılımı | SINIR TENÖR 1 | SINIR TENÖR 2 | SINIR TENÖR 3 |
|---------------------------------|---------------|---------------|---------------|
| Toplam Cevher Bloğu             | 654           | 576           | 495           |
| Toplam Pasa Bloğu               | 366           | 444           | 525           |
| Alınabilecek Toplam Blok        | 1020          | 1020          | 1020          |

Tablo 5.6.'da ise, çıkarılabilecek cevher ve pasa miktarları hacimsel olarak41 görülmektedir.

**Tablo 5. 6.** Cevher- Pasa hacim dağılımı

| <b>Cevher Pasa ve Alınacak Ocak Hacmi</b> | <b>SINIR TENÖR 1</b> | <b>SINIR TENÖR 2</b> | <b>SINIR TENÖR 3</b> |
|---|----------------------|----------------------|----------------------|
| 1 Bloğun Boyutu (m <sup>3</sup> )         | 1.000                | 1.000                | 1.000                |
| Toplam Cevher Boyutu (m <sup>3</sup> )    | 654.000              | 576.000              | 495.000              |
| Toplam Pasa Boyutu (m <sup>3</sup> )      | 366.000              | 444.000              | 525.000              |
| Alınaca Toplam Hacim (m <sup>3</sup> )    | 1.020.000            | 1.020.000            | 1.020.000            |

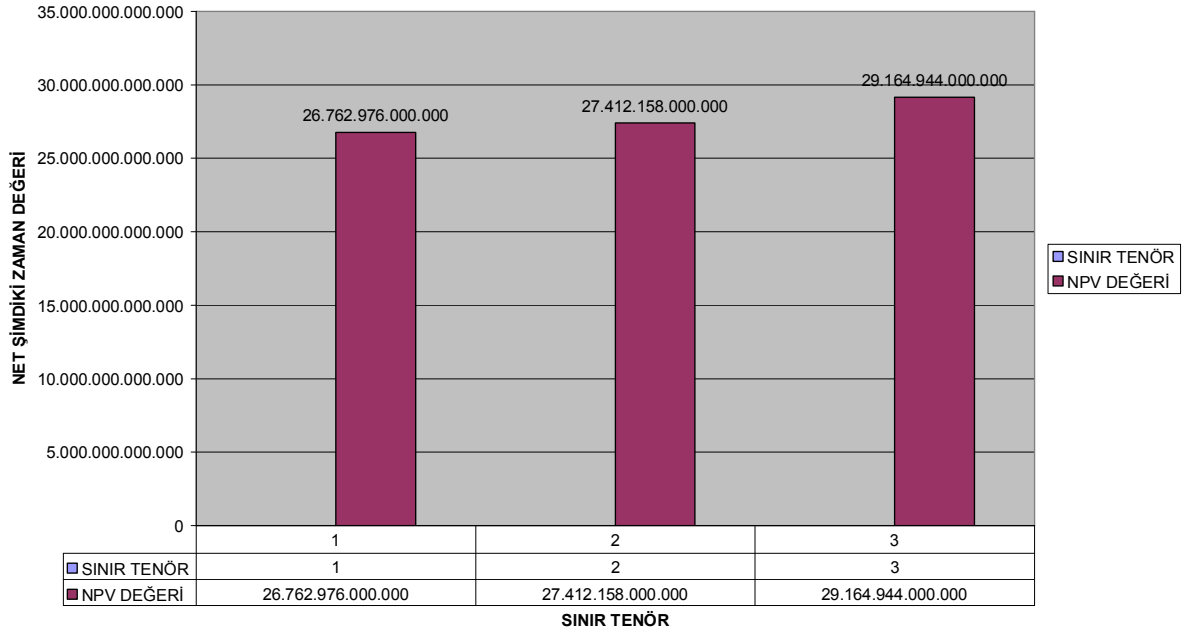
Tablo 5.7.'de, her sınır tenör denemesi için çıkarılabilecek cevherin tenör dağılımı elde edilmiştir. Görüldüğü gibi sınır tenör arttırıldıkça her sınır tenörünün altındaki bloklar pasa olarak kabul edilir. Fakat sınır tenörünün üstündeki tenör aralıklarının blok sayılarında, herhangi bir değişiklik olmamaktadır. Neticede çıkarılacak cevherin ortalama tenörü yükselmektedir.

**Tablo 5. 7.** Alınabilecek cevherin tenör dağılımı

| <b>Alınabilecek Cevherin Tenör Dağılımı</b> | <b>SINIR TENÖR 1</b> | <b>SINIR TENÖR 2</b> | <b>SINIR TENÖR 3</b> |
|---|----------------------|----------------------|----------------------|
| Tenör Aralığı                               | Blok Sayısı          | Blok Sayısı          | Blok Sayısı          |
| 1.000000 - 2.000000                         | 78                   | 0                    | 0                    |
| 2.000000 - 3.000000                         | 81                   | 81                   | 0                    |
| 3.000000 - 4.000000                         | 157                  | 157                  | 157                  |
| 4.000000 - 5.000000                         | 78                   | 78                   | 78                   |
| 5.000000 - 6.000000                         | 0                    | 0                    | 0                    |
| 6.000000 - 7.000000                         | 220                  | 220                  | 220                  |
| 7.000000 - 8.000000                         | 40                   | 40                   | 40                   |
| 8.000000 -                                  |                      |                      |                      |
| <b>Ortalama Tenör</b>                       | 4.010.704            | 4.418.403            | 4.814.141            |

Şekil 5.11'de görüldüğü üzere sınır tenör %1 seçildiği zaman en düşük net şimdiki zaman değeri elde edilmiştir. Sınır tenör %2'de net şimdiki zaman değeri biraz daha yükselmiş ve sınır tenör %3'te net şimdiki zaman değeri en yüksek noktasına ulaşmıştır. Bunun sebebi, sınır tenör %1 ve %2'de cevher olarak kabul edilen blokların üretim ve zenginleştirme maliyetinin, bloğun değerinden fazla olmasıdır.

## SINIR TENÖR DENEMELERİ



Şekil 5.11. Sınır tenör denemeleri

### 5.2.2. Merceksi damar şeklinin tesis tenör aralıklarına göre net kârın şimdiki zaman değerinin araştırılması

Bu denemede tüm üretim kıstasları sabit tutulup cevherin beslendiği tesisin istediği tenör aralıkları değiştirilerek deneme yapıldı. Girilen değerler Tablo 5.8.'de ayrıntılı olarak görülmektedir.

**Tablo 5. 8.** Üretim planlamasında girilen değerler

| MERCEKSİ YAPI TESİS TENÖR                           | 2-3<br>ARASI | 3-4<br>ARASI | 4-5<br>ARASI |
|---|--------------|--------------|--------------|
| <b><u>Blok Model Boyut Veri Girişi</u></b>          |              |              |              |
| Blok Yüksekliği                                     | 10           | 10           | 10           |
| Blok Genişliği                                      | 10           | 10           | 10           |
| Blok Derinliği                                      | 10           | 10           | 10           |
| Nihai Ocak Şev Açısı                                | 45           | 45           | 45           |
| Sınır Tenörü  | 1            | 1            | 1            |
| X Yönü (Doğu) Blok Sayısı                           | 20           | 20           | 20           |
| Y Yönü (Kuzey) Blok Sayısı                          | 20           | 20           | 20           |
| Z Yönü (Derinlik) Blok Sayısı                       | 5            | 5            | 5            |
| X Yönü (Doğu) Başlangıç Koordinatı                  | 1.000        | 1.000        | 1.000        |
| Y Yönü (Kuzey) Başlangıç Koordinatı                 | 1.000        | 1.000        | 1.000        |
| Z Yönü (Derinlik) Başlangıç Koordinatı              | 1.000        | 1.000        | 1.000        |
| <b><u>IZGARA OLUŞTURMA</u></b>                      |              |              |              |
| Sondaj Veri Dosyası                                 | sondaj       | sondaj       | sondaj       |
| Üretilecek Izgara Dosyası                           | ızgara       | ızgara       | ızgara       |
| Tesir Alanı Yarıçapı                                | 200          | 200          | 200          |
| X Yönü (Doğu) Düğüm Sayısı                          | 200          | 200          | 200          |
| Y Yönü (Kuzey) Düğüm Sayısı                         | 200          | 200          | 200          |
| DXF Izgara Çizim Dosyası                            | ızçiz        | ızçiz        | ızçiz        |
| <b><u>Cevher Dekapaj Kazı Miktarları</u></b>        |              |              |              |
| <b><u>Cevher paşa Oranı</u></b>                     |              |              |              |
| <b><u>Rampa Eğimi</u></b>                           | 2            | 2            | 2            |
| <b><u>Tenör Aralığı</u></b>                         | 1            | 1            | 1            |
| <b><u>Üretim Bilgileri</u></b>                      |              |              |              |
| <b><u>Blok Çıkarımında Başlangıç İndeksleri</u></b> |              |              |              |
| <b>X</b>  | 11           | 11           | 11           |
| <b>Y</b>  | 11           | 11           | 11           |
| <b>Z</b>  | 1            | 1            | 1            |
| Etki Alan Yarıçapı                                  | 2            | 2            | 2            |
| <b><u>Üretim Bilgileri</u></b>                      |              |              |              |
| Yıllık Cevher Üretimi (m3/yıl)                      | 100.000      | 100.000      | 100.000      |
| Yıllık Çalışılan Gün Sayısı                         | 300          | 300          | 300          |
| <b><u>Tesis Bilgileri</u></b>                       |              |              |              |

|  |           |           |           |
|--|-----------|-----------|-----------|
| Minimum Cevher Tenörü (%)              | 2         | 3         | 4         |
| Maksimum Cevher Tenörü (%)             | 3         | 4         | 5         |
| <b>Cevher Stok Bilgileri</b>           |           |           |           |
| Minimum Stok Riski (m3)                | 20.000    | 20.000    | 20.000    |
| Stok Kapasitesi (m3)                   | 50.000    | 50.000    | 50.000    |
| Tesis Öncesi Minimum Stok Miktarı (m3) | 30.000    | 30.000    | 30.000    |
| Yıllık Faiz Oranı (%)                  | 10        | 10        | 10        |
| <b>Kazı Bilgileri</b>                  |           |           |           |
| Yıllık Toplam Kazı Miktarı (m3)        | 300.000   | 300.000   | 300.000   |
| Rampa Eğimi (%)                        | 2         | 2         | 2         |
| Ocak Hacmi (cevher+pasa) (m3)          | 1.020.000 | 1.020.000 | 1.020.000 |
| Sınır Tenörü (%)                       | 1         | 1         | 1         |

|                                 |       |       |       |
|---------------------------------|-------|-------|-------|
| <b>Yıllık Kazı ve Yollar</b>    |       |       |       |
| Ocak Dışı Yol Uzunluğu (m)      | 1.000 | 1.000 | 1.000 |
| Dış Yolların Ortalama Eğimi (%) | 0     | 0     | 0     |

|  |    |    |    |
|--|----|----|----|
| <b>Blok Değer Ataması</b>                  |    |    |    |
| Cevher Üretim Maliyeti (YTL/m3)            | 1  | 1  | 1  |
| Dekapaj Birim Maliyeti (YTL/m3)            | 1  | 1  | 1  |
| Cevher Geliri (YTL/kg)                     | 10 | 10 | 10 |
| Ortalama Cevher Tonaj Faktörü (t/m3)       | 3  | 3  | 3  |
| Cevher Kazanma Oranı (%)                   | 90 | 90 | 90 |
| Hazırlama-Zenginleştirme Maliyeti (YTL/kg) | 1  | 1  | 1  |

### Ocağa ait elde edilen değerler

Oluşturulan cevher modelinden alınabilecek bloklardan, cevher olarak kabul edilen blok sayısı 654, pasa blok sayısı 366, toplam blok sayısı 1020 ve cevher bloklarının ortalama tenörü %4,01 olacak şekilde optimum ocak sınırlarının belirlendiği görülmektedir. (Tablo 5.9.)

**Tablo 5. 9.** Ocağın Ekonomik Analizi

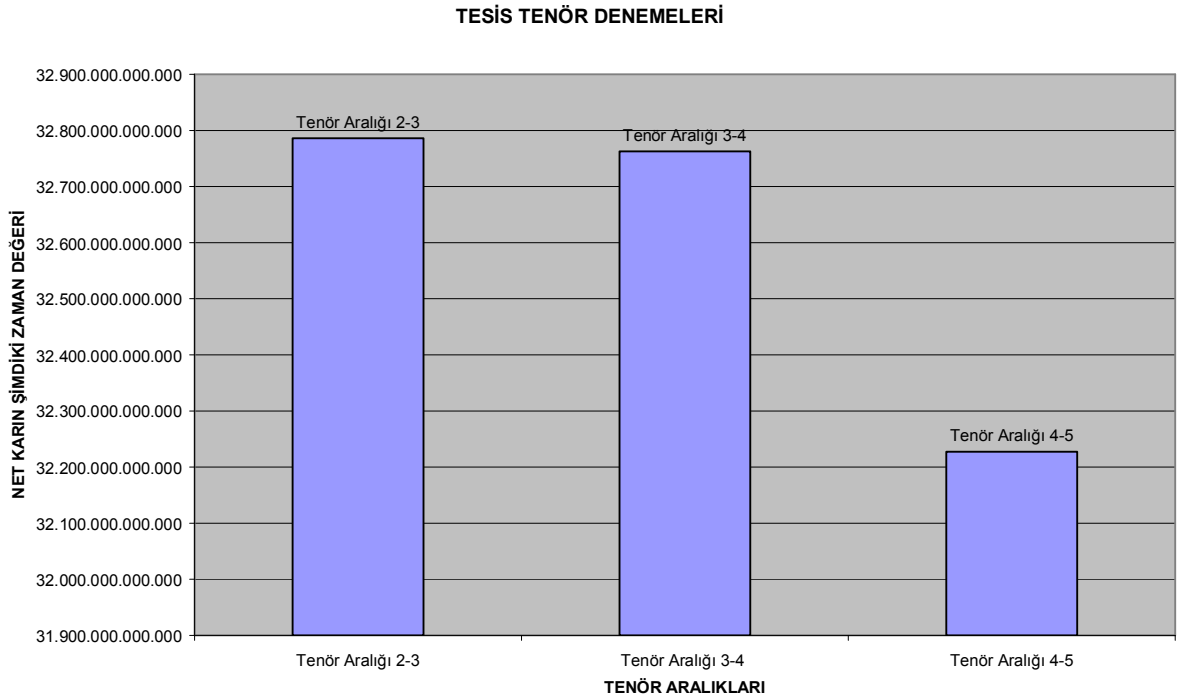
| Alınabilecek Blokların Dağılımı |                    |
|---------------------------------|--------------------|
| <b>Toplam Cevher Bloğu</b>      | <b>654.000000</b>  |
| <b>Toplam Pasa Bloğu</b>        | <b>366.000000</b>  |
| <b>Alınabilecek Toplam Blok</b> | <b>1020.000000</b> |

| Cevher Pasa ve Alınacak Ocak Hacmi           |                       |
|--|-----------------------|
| <b>1 Bloğun Boyutu (m<sup>3</sup>)</b>       | <b>1000.000000</b>    |
| <b>Toplam Cevher Boyutu (m<sup>3</sup>)</b>  | <b>654000.000000</b>  |
| <b>Toplam Pasa Boyutu (m<sup>3</sup>)</b>    | <b>366000.000000</b>  |
| <b>Alınacak Toplam Hacim (m<sup>3</sup>)</b> | <b>1020000.000000</b> |

| Alınabilecek Cevherin Tenör Dağılımı |             |
|--------------------------------------|-------------|
| Tenör Aralığı                        | Blok Sayısı |
| 1.000000 - 2.000000                  | 78.000000   |
| 2.000000 - 3.000000                  | 81.000000   |
| 3.000000 - 4.000000                  | 157.000000  |
| 4.000000 - 5.000000                  | 78.000000   |
| 5.000000 - 6.000000                  | 0.000000    |
| 6.000000 - 7.000000                  | 220.000000  |
| 7.000000 - 8.000000                  | 40.000000   |
| 8.000000 -                           | 0.000000    |
| Ortalama Tenör                       | 4.010704    |

### Sonuçların kıyaslanması

Şekil 5.12'de görüldüğü üzere bu cevher modeli için girilen değerler doğrultusunda Net Şimdiki Zaman Değerinin en yüksek olduğu tenör aralığı %2–%3 tenör aralığıdır. Çünkü tesisin istediği tenör aralığı yükseldikçe, tesise beslenen cevher azalacağından, cevherin bir kısmı değerlendirilemeyecektir.



Şekil 5.12. Tesis Tenör Aralıklarının Kıyaslanması



### 5.2.3. Ocak ömrünün değiştirilmesiyle elde edilen şimdiki zaman değerlerinin kıyaslanması

Bu incelemede Şekil 5.9'da verilen cevher blok modeli için toplam ocak ömrünün değiştirilmesiyle elde edilen net şimdiki zaman değerleri kıyaslandı. Ocak ömrünün değişimi, yıllık üretim miktarını da doğrudan etkilemektedir. Ayrıca net şimdiki zaman değeri ve paranın zaman değeri de daha belirgin hale gelmektedir. Tablo 5.10.'da görüldüğü gibi ocak ömrünü değiştirebilmek için yıllık üretim miktarları değiştirilip, diğer değerler sabit tutuldu.

**Tablo 5. 10.** Üretim planlamasında girilen değerler

| MERCEKSİ YAPI                                       | 1 YIL  | 2 YIL  | 7 YIL  |
|---|--------|--------|--------|
| <b><i>Blok Model Boyut Veri Girişi</i></b>          |        |        |        |
| Blok Yüksekliği                                     | 10     | 10     | 10     |
| Blok Genişliği                                      | 10     | 10     | 10     |
| Blok Derinliği                                      | 10     | 10     | 10     |
| Nihai Ocak Şev Açısı                                | 45     | 45     | 45     |
| Sınır Tenörü  | 1      | 1      | 1      |
| X Yönü (Doğu) Blok Sayısı                           | 20     | 20     | 20     |
| Y Yönü (Kuzey) Blok Sayısı                          | 20     | 20     | 20     |
| Z Yönü (Derinlik) Blok Sayısı                       | 5      | 5      | 5      |
| X Yönü (Doğu) Başlangıç Koordinatı                  | 1.000  | 1.000  | 1.000  |
| Y Yönü (Kuzey) Başlangıç Koordinatı                 | 1.000  | 1.000  | 1.000  |
| Z Yönü (Derinlik) Başlangıç Koordinatı              | 1.000  | 1.000  | 1.000  |
| <b><i>IZGARA OLUŞTURMA</i></b>                      |        |        |        |
| Sondaj Veri Dosyası                                 | sondaj | sondaj | sondaj |
| Üretilecek Izgara Dosyası                           | ızgara | ızgara | ızgara |
| Tesir Alanı Yarıçapı                                | 200    | 200    | 200    |
| X Yönü (Doğu) Düğüm Sayısı                          | 200    | 200    | 200    |
| Y Yönü (Kuzey) Düğüm Sayısı                         | 200    | 200    | 200    |
| DXF Izgara Çizim Dosyası                            | ızçiz  | ızçiz  | ızçiz  |
| <b><i>Cevher Dekapaj Kazı Miktarları</i></b>        |        |        |        |
| <b><i>Cevher pasa Oranı</i></b>                     |        |        |        |
| <b><i>Rampa Eğimi</i></b>                           | 2      | 2      | 2      |
| <b><i>Tenör Aralığı</i></b>                         | 1      | 1      | 1      |
| <b><i>Üretim Bilgileri</i></b>                      |        |        |        |
| <b><i>Blok Çıkarımında Başlangıç İndeksleri</i></b> |        |        |        |
| <b><i>X</i></b>                                     | 11     | 11     | 11     |
| <b><i>Y</i></b>                                     | 11     | 11     | 11     |
| <b><i>Z</i></b>                                     | 1      | 1      | 1      |

|  |                  |                |                |
|--|------------------|----------------|----------------|
| Etki Alan Yarıçapı                     | 2                | 2              | 2              |
| <b>Üretim Bilgileri</b>                |                  |                |                |
| Yıllık Cevher Üretimi (m3/yıl)         | 654.000          | 300.000        | 100.000        |
| Yıllık Çalışılan Gün Sayısı            | 300              | 300            | 300            |
| <b>Tesis Bilgileri</b>                 |                  |                |                |
| Minimum Cevher Tenörü (%)              | 4                | 4              | 4              |
| Maksimum Cevher Tenörü (%)             | 5                | 5              | 5              |
| <b>Cevher Stok Bilgileri</b>           |                  |                |                |
| Minimum Stok Riski (m3)                | 20.000           | 20.000         | 20.000         |
| Stok Kapasitesi (m3)                   | 50.000           | 50.000         | 50.000         |
| Tesis Öncesi Minimum Stok Miktarı (m3) | 30.000           | 30.000         | 30.000         |
| Yıllık Faiz Oranı (%)                  | 10               | 10             | 10             |
| <b>Kazı Bilgileri</b>                  |                  |                |                |
| Yıllık Toplam Kazı Miktarı (m3)        | <b>1.020.000</b> | <b>500.000</b> | <b>150.000</b> |
| Rampa Eğimi (%)                        | 2                | 2              | 2              |
| Ocak Hacmi (cevher+pasa) (m3)          | 1.020.000        | 1.020.000      | 1.020.000      |
| Sınır Tenörü (%)                       | 1                | 1              | 1              |

|                                 |       |       |       |
|---------------------------------|-------|-------|-------|
| <b>Yıllık Kazı ve Yollar</b>    |       |       |       |
| Ocak Dışı Yol Uzunluğu (m)      | 1.000 | 1.000 | 1.000 |
| Dış Yolların Ortalama Eğimi (%) | 0     | 0     | 0     |

|  |    |    |    |
|--|----|----|----|
| <b>Blok Değer Ataması</b>                  |    |    |    |
| Cevher Üretim Maliyeti (YTL/m3)            | 1  | 1  | 1  |
| Dekapaj Birim Maliyeti (YTL/m3)            | 1  | 1  | 1  |
| Cevher Geliri (YTL/kg)                     | 10 | 10 | 10 |
| Ortalama Cevher Tonaj Faktörü (t/m3)       | 3  | 3  | 3  |
| Cevher Kazanma Oranı (%)                   | 90 | 90 | 90 |
| Hazırlama-Zenginleştirme Maliyeti (YTL/kg) | 1  | 1  | 1  |

### Ocağa ait Elde edilen Değerler

Oluşturulan cevher modelinden alınabilecek bloklardan, cevher olarak kabul edilen blok sayısı 654, pasa blok sayısı 366, toplam blok sayısı 1020 ve cevher bloklarının ortalama tenörü %4,01 olacak şekilde optimum ocak sınırlarının belirlendiği gözükmektedir. (Tablo 5.11.)

**Tablo 5. 11.** Ocağın Ekonomik Analizi

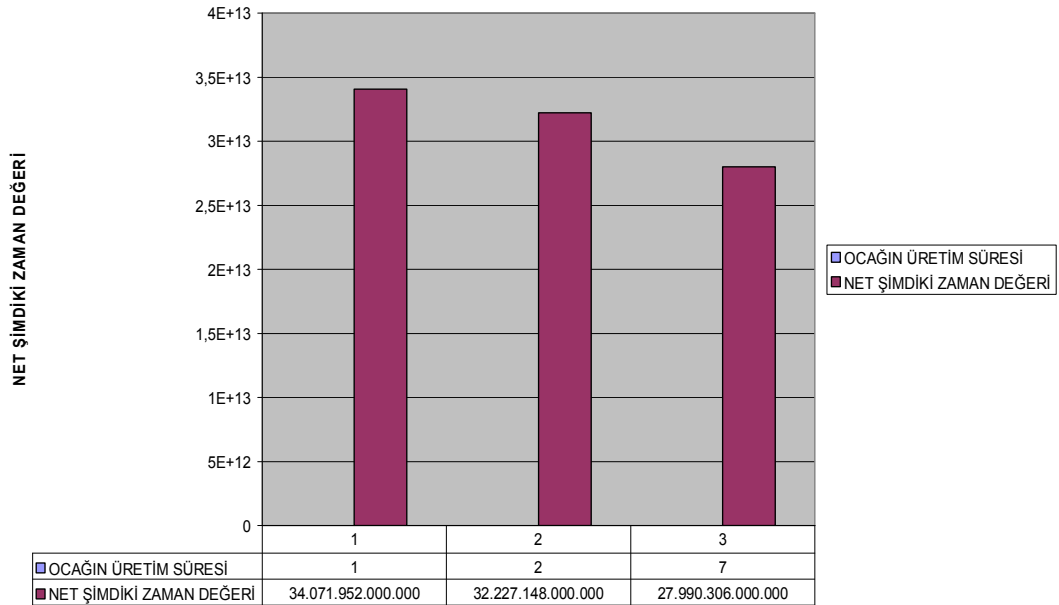
| Alınabilecek Blokların Dağılımı |                    |
|---------------------------------|--------------------|
| <b>Toplam Cevher Bloğu</b>      | <b>654.000000</b>  |
| <b>Toplam Pasa Bloğu</b>        | <b>366.000000</b>  |
| <b>Alınabilecek Toplam Blok</b> | <b>1020.000000</b> |

| Cevher Pasa ve Alınacak Ocak Hacmi          |                       |
|---|-----------------------|
| <b>1 Bloğun Boyutu (m<sup>3</sup>)</b>      | <b>1000.000000</b>    |
| <b>Toplam Cevher Boyutu (m<sup>3</sup>)</b> | <b>654000.000000</b>  |
| <b>Toplam Pasa Boyutu (m<sup>3</sup>)</b>   | <b>366000.000000</b>  |
| <b>Alınaca Toplam Hacim (m<sup>3</sup>)</b> | <b>1020000.000000</b> |

| Alınabilecek Cevherin Tenör Dağılımı |                   |
|--------------------------------------|-------------------|
| Tenör Aralığı                        | Blok Sayısı       |
| <b>1.000000 - 2.000000</b>           | <b>78.000000</b>  |
| <b>2.000000 - 3.000000</b>           | <b>81.000000</b>  |
| <b>3.000000 - 4.000000</b>           | <b>157.000000</b> |
| <b>4.000000 - 5.000000</b>           | <b>78.000000</b>  |
| <b>5.000000 - 6.000000</b>           | <b>0.000000</b>   |
| <b>6.000000 - 7.000000</b>           | <b>220.000000</b> |
| <b>7.000000 - 8.000000</b>           | <b>40.000000</b>  |
| <b>8.000000 -</b>                    | <b>0.000000</b>   |
| Ortalama Tenör                       | 4.010704          |

#### Elde edilen sonuçların kıyaslanması

Şekil 5.13'te görüldüğü gibi ocağın üretim süresi uzadıkça, net şimdiki zaman değeri düşmektedir. Bunun sebebi; ocağın daha uzun zamanda işletilmesi demek cevher bloklarının da daha uzun vadede paraya dönüşmesi demektir.



Şekil 5.13. Ocak ömrünün değiştirilmesiyle net kârın şimdiki zamana etkisi

#### 5.2.4. Stok kapasitelerinin değiştirilmesiyle elde edilen stok hareketlerinin kıyaslanması

Bu incelemede, Şekil 5.9’da yer alan cevher blok modelinde, stok kapasitelerinin değiştirilmesiyle elde edilecek sonuçlar incelendi. 3 defa sınaama yapıldı ve her sınaamada stok kapasitesi ve tesis öncesi minimum stok riski miktarları değiştirildi (Tablo 5.12.). Stok kapasitesinin ve tesis çalışmaya başladığında stoklarda biriken miktarın, tesisçe istenen miktar ve kaliteyi temindeki rolü gözlemlendi.

**Tablo 5. 12.** Üretim planlamasında girilen değerler

| MERCEKSİ YAPI STOK                           | 1      | 2      | 3      |
|--|--------|--------|--------|
| <b><i>Blok Model Boyut Veri Girişi</i></b>   |        |        |        |
| Blok Yüksekliği                              | 10     | 10     | 10     |
| Blok Genişliği                               | 10     | 10     | 10     |
| Blok Derinliği                               | 10     | 10     | 10     |
| Nihai Ocak Şev Açısı                         | 45     | 45     | 45     |
| Sınır Tenörü                                 | 1      | 1      | 1      |
| X Yönü (Doğu) Blok Sayısı                    | 20     | 20     | 20     |
| Y Yönü (Kuzey) Blok Sayısı                   | 20     | 20     | 20     |
| Z Yönü (Derinlik) Blok Sayısı                | 5      | 5      | 5      |
| X Yönü (Doğu) Başlangıç Koordinatı           | 1.000  | 1.000  | 1.000  |
| Y Yönü (Kuzey) Başlangıç Koordinatı          | 1.000  | 1.000  | 1.000  |
| Z Yönü (Derinlik) Başlangıç Koordinatı       | 1.000  | 1.000  | 1.000  |
| <b><i>IZGARA OLUSTURMA</i></b>               |        |        |        |
| Sondaj Veri Dosyası                          | sondaj | sondaj | sondaj |
| Üretilecek Izgara Dosyası                    | izgara | izgara | izgara |
| Tesir Alanı Yarıçapı                         | 200    | 200    | 200    |
| X Yönü (Doğu) Düğüm Sayısı                   | 200    | 200    | 200    |
| Y Yönü (Kuzey) Düğüm Sayısı                  | 200    | 200    | 200    |
| DXF Izgara Çizim Dosyası                     | izçiz  | izçiz  | izçiz  |
| <b><i>Cevher Dekapaj Kazı Miktarları</i></b> |        |        |        |
| <b><i>Cevher pasa Oranı</i></b>              |        |        |        |
| <b><i>Rampa Eğimi</i></b>                    | 2      | 2      | 2      |
| <b><i>Tenör Aralığı</i></b>                  | 1      | 1      | 1      |
| <b><i>Üretim Bilgileri</i></b>               |        |        |        |
| Blok Çıkarımında Başlangıç İndeksleri        |        |        |        |
| X  | 11     | 11     | 11     |
| Y  | 11     | 11     | 11     |

|  |           |           |           |
|--|-----------|-----------|-----------|
| <b>Z</b>                               | 1         | 1         | 1         |
| Etki Alan Yarıçapı                     | 2         | 2         | 2         |
| <b>Üretim Bilgileri</b>                |           |           |           |
| Yıllık Cevher Üretimi (m3/yıl)         | 300.000   | 300.000   | 300.000   |
| Yıllık Çalışılan Gün Sayısı            | 300       | 300       | 300       |
| <b>Tesis Bilgileri</b>                 |           |           |           |
| Minimum Cevher Tenörü (%)              | 4         | 4         | 4         |
| Maksimum Cevher Tenörü (%)             | 5         | 5         | 5         |
| <b>Cevher Stok Bilgileri</b>           |           |           |           |
| Minimum Stok Riski (m3)                | 20.000    | 20.000    | 20.000    |
| Stok Kapasitesi (m3)                   | 50.000    | 100.000   | 150.000   |
| Tesis Öncesi Minimum Stok Miktarı (m3) | 30.000    | 50.000    | 100.000   |
| Yıllık Faiz Oranı (%)                  | 10        | 10        | 10        |
| <b>Kazı Bilgileri</b>                  |           |           |           |
| Yıllık Toplam Kazı Miktarı (m3)        | 600.000   | 600.000   | 600.000   |
| Rampa Eğimi (%)                        | 2         | 2         | 2         |
| Ocak Hacmi (cevher+pasa) (m3)          | 1.020.000 | 1.020.000 | 1.020.000 |
| Sınır Tenörü (%)                       | 1         | 1         | 1         |

|                                 |       |       |       |
|---------------------------------|-------|-------|-------|
| <b>Yıllık Kazı ve Yollar</b>    |       |       |       |
| Ocak Dışı Yol Uzunluğu (m)      | 1.000 | 1.000 | 1.000 |
| Dış Yolların Ortalama Eğimi (%) | 0     | 0     | 0     |

|  |    |    |    |
|--|----|----|----|
| <b>Blok Değer Ataması</b>                  |    |    |    |
| Cevher Üretim Maliyeti (YTL/m3)            | 1  | 1  | 1  |
| Dekapaj Birim Maliyeti (YTL/m3)            | 1  | 1  | 1  |
| Cevher Geliri (YTL/kg)                     | 10 | 10 | 10 |
| Ortalama Cevher Tonaj Faktörü (t/m3)       | 3  | 3  | 3  |
| Cevher Kazanma Oranı (%)                   | 90 | 90 | 90 |
| Hazırlama-Zenginleştirme Maliyeti (YTL/kg) | 1  | 1  | 1  |

### Ocağa ait Elde edilen Değerler

Oluşturulan cevher modelinden alınabilecek bloklardan, cevher olarak kabul edilen blok sayısı 654, pasa blok sayısı 366, toplam blok sayısı 1020 ve cevher bloklarının ortalama tenörü %4,01 olacak şekilde optimum ocak sınırlarının belirlendiği görülmektedir. (Tablo 5.13.)

**Tablo 5. 13.** Ocağın Ekonomik Analizi

| Alınabilecek Blokların Dağılımı |                    |
|---------------------------------|--------------------|
| <b>Toplam Cevher Bloğu</b>      | <b>654.000000</b>  |
| <b>Toplam Pasa Bloğu</b>        | <b>366.000000</b>  |
| <b>Alınabilecek Toplam Blok</b> | <b>1020.000000</b> |

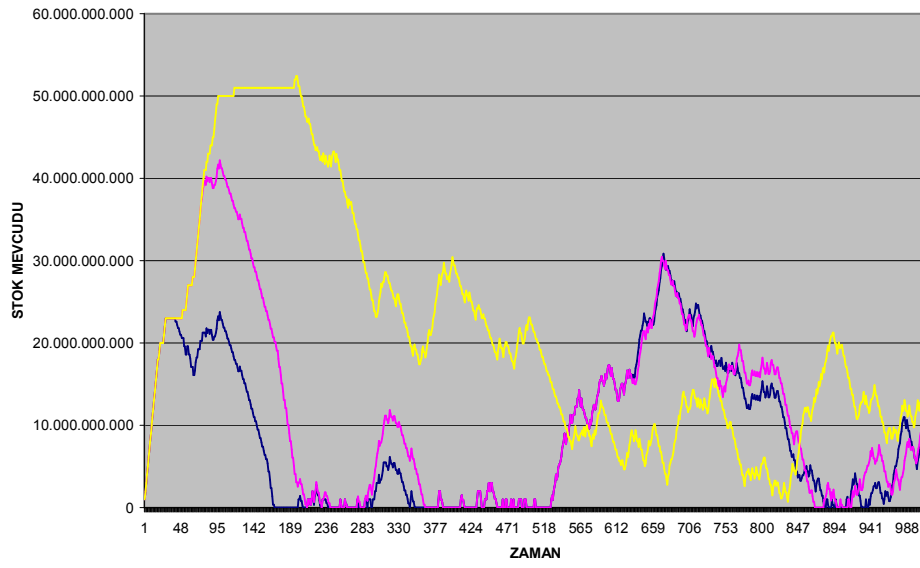
| Cevher Pasa ve Alınacak Ocak Hacmi          |                       |
|---|-----------------------|
| <b>1 Bloğun Boyutu (m<sup>3</sup>)</b>      | <b>1000.000000</b>    |
| <b>Toplam Cevher Boyutu (m<sup>3</sup>)</b> | <b>654000.000000</b>  |
| <b>Toplam Pasa Boyutu (m<sup>3</sup>)</b>   | <b>366000.000000</b>  |
| <b>Alınaca Toplam Hacim (m<sup>3</sup>)</b> | <b>1020000.000000</b> |

| Alınabilecek Cevherin Tenör Dağılımı |                    |
|--------------------------------------|--------------------|
| <b>Tenör Aralığı</b>                 | <b>Blok Sayısı</b> |
| <b>1.000000 - 2.000000</b>           | <b>78.000000</b>   |
| <b>2.000000 - 3.000000</b>           | <b>81.000000</b>   |
| <b>3.000000 - 4.000000</b>           | <b>157.000000</b>  |
| <b>4.000000 - 5.000000</b>           | <b>78.000000</b>   |
| <b>5.000000 - 6.000000</b>           | <b>0.000000</b>    |
| <b>6.000000 - 7.000000</b>           | <b>220.000000</b>  |
| <b>7.000000 - 8.000000</b>           | <b>40.000000</b>   |
| <b>8.000000 -</b>                    | <b>0.000000</b>    |
| Ortalama Tenör                       | 4.010704           |

#### Elde edilen sonuçların kıyaslanması

Şekil 5.14'te, elde edilen sonuçların grafik gösterimi verilmiştir. Buna göre tesis öncesi minimum stok riski 30.000 m<sup>3</sup>, stok kapasitesi 50.000 m<sup>3</sup> olan denemede (mavi çizgi) kısa bir süre sonra stok miktarı sıfırlanmaktadır. İkinci denemede tesis öncesi minimum stok riski 50.000 m<sup>3</sup>, stok kapasitesi 100.000 m<sup>3</sup> (mor çizgi) olan denemede ise işletmeye besleme devam ettiği esnada stok miktarının bir noktadan sonra gene sıfırlandığı görülmektedir. Üçüncü denemede ise tesis öncesi minimum stok riski 100.000 m<sup>3</sup>, stok kapasitesi ise 150.000 m<sup>3</sup>'e çıkarılmıştır. Bu denemede ise, stok miktarı tesise beslemenin devam ettiği esnada hiçbir noktada sıfırlanmamaktadır. Dolayısıyla tesis çalışmaya başladığında kesintisiz olarak cevher bitene kadar besleme yapılabilecektir.

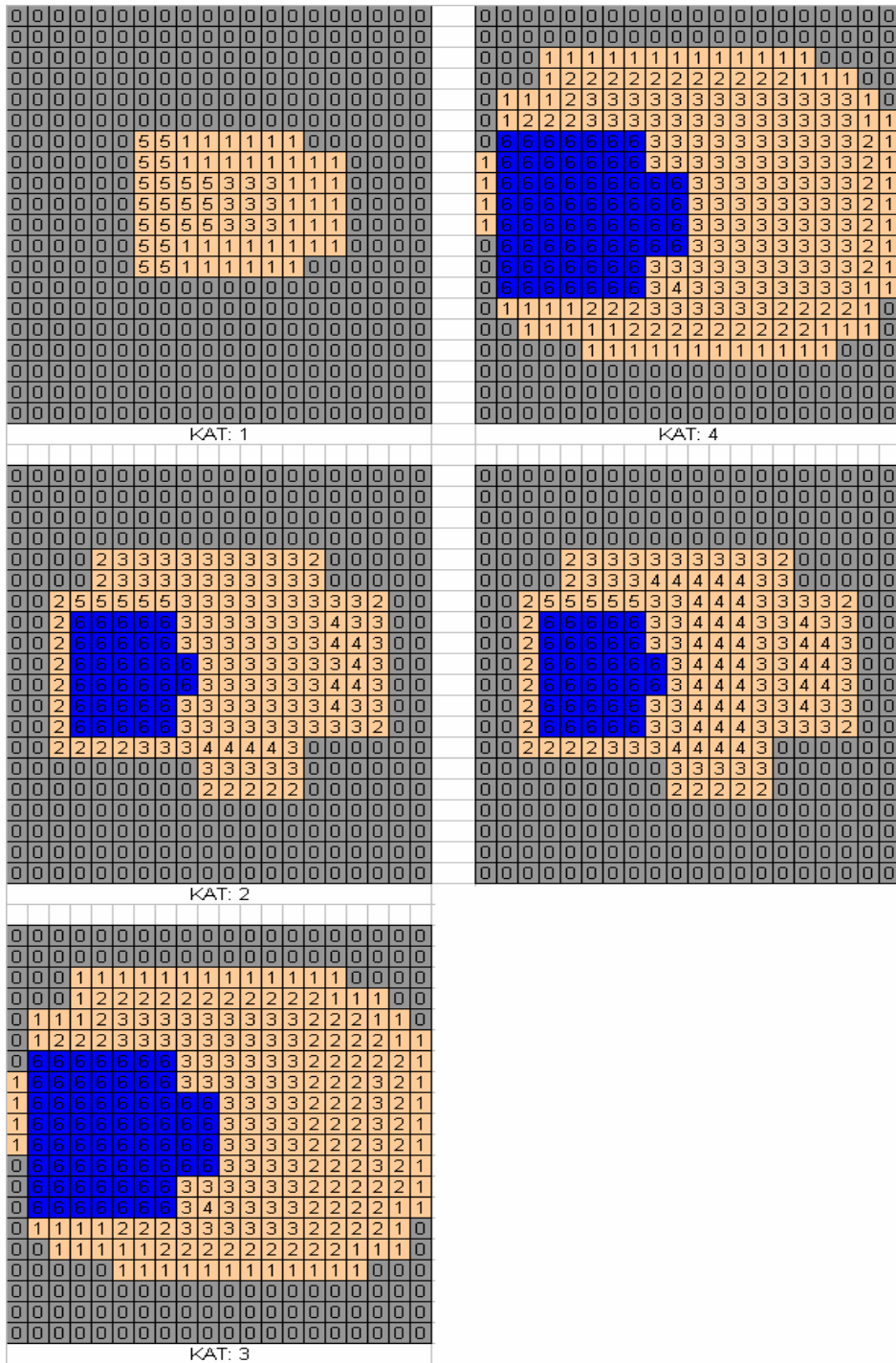
Sonuç olarak; incelenen cevher modeli için stok kapasitesi ve tesis öncesi minimum stok doluluğu artırıldığında daha ideal bir işletme yapılmış olunacaktır.



Şekil 5.14. Stok kapasitelerinin değiştirilmesiyle meydana gelen stok hareketleri

### 5.3. Tek Tarafı Zengin Merceksi Damar Denemeleri

Bu denemede merceksi bir damar şekli oluşturulmuştur. Cevherin tenörce zengin olan kısmı damarın bir tarafında yoğunluk göstermiştir. Oluşturulan cevher blok modelinin her kata denk gelen tenör değerleri Şekil 5.15'te verilmiştir.



Şekil 5. 15. Tek tarafı zengin merceksi damar blok tenörleri



### 5.3.1. Tenörce fakir-zengin bölge denemeleri

54

Bu denemede Şekil 5.15'te görülen damar şeklinde optimum işletmeye başlangıç koordinatını tespit edebilmek için bir deneme yapılacaktır. Tablo 5.14.'te görüldüğü gibi sadece başlangıç koordinatları değiştirilip diğer parametreler sabit bırakılmıştır.

**Tablo 5. 14.** Üretim planlamasında girilen değerler

| Tenörce en fakir ocak ortası en zengin bölge denemeleri | En Fakir Bölge | Orta Bölge | En Zengin Bölge |
|---|----------------|------------|-----------------|
| <b><i>Blok Model Boyut Veri Girişi</i></b>              |                |            |                 |
| Blok Yüksekliği   | 10             | 10         | 10              |
| Blok Genişliği  | 10             | 10         | 10              |
| Blok Derinliği  | 10             | 10         | 10              |
| Nihai Ocak Şev Açısı                                    | 45             | 45         | 45              |
| Sınır Tenörü  | 2              | 2          | 2               |
| X Yönü (Doğu) Blok Sayısı                               | 20             | 20         | 20              |
| Y Yönü (Kuzey) Blok Sayısı                              | 20             | 20         | 20              |
| Z Yönü (Derinlik) Blok Sayısı                           | 5              | 5          | 5               |
| X Yönü (Doğu) Başlangıç Koordinatı                      | 1.000          | 1.000      | 1.000           |
| Y Yönü (Kuzey) Başlangıç Koordinatı                     | 1.000          | 1.000      | 1.000           |
| Z Yönü (Derinlik) Başlangıç Koordinatı                  | 1.000          | 1.000      | 1.000           |

|                                |        |        |        |
|--------------------------------|--------|--------|--------|
| <b><i>IZGARA OLUŞTURMA</i></b> |        |        |        |
| Sondaj Veri Dosyası            | sondaj | sondaj | sondaj |
| Üretilecek Izgara Dosyası      | izgara | izgara | izgara |
| Tesir Alanı Yarıçapı           | 200    | 200    | 200    |
| X Yönü (Doğu) Düğüm Sayısı     | 200    | 200    | 200    |
| Y Yönü (Kuzey) Düğüm Sayısı    | 200    | 200    | 200    |
| DXF Izgara Çizim Dosyası       | izçiz  | izçiz  | izçiz  |

|  |   |   |   |
|--|---|---|---|
| <b><i>Cevher Dekapaj Kazı Miktarları</i></b> |   |   |   |
| <b><i>Cevher paşa Oranı</i></b>              |   |   |   |
| <b><i>Rampa Eğimi</i></b>                    | 2 | 2 | 2 |
| <b><i>Tenör Aralığı</i></b>                  | 1 | 1 | 1 |

|                                       |         |         |         |
|---------------------------------------|---------|---------|---------|
| <b><i>Üretim Bilgileri</i></b>        |         |         |         |
| Blok Çıkarımında Başlangıç İndeksleri |         |         |         |
| X                                     | 20      | 10      | 6       |
| Y                                     | 20      | 10      | 11      |
| Z                                     | 1       | 1       | 1       |
| Etki Alan Yarıçapı                    | 2       | 2       | 2       |
| <b><i>Üretim Bilgileri</i></b>        |         |         |         |
| Yıllık Cevher Üretimi (m3/yıl)        | 590.000 | 590.000 | 590.000 |
| Yıllık Çalışılan Gün Sayısı           | 300     | 300     | 300     |
| <b><i>Tesis Bilgileri</i></b>         |         |         |         |
| Minimum Cevher Tenörü (%)             | 2       | 2       | 2       |

|  |           |           |           |
|--|-----------|-----------|-----------|
| Maksimum Cevher Tenörü (%)             | 3         | 3         | 3         |
| <b>Cevher Stok Bilgileri</b>           |           |           |           |
| Minimum Stok Riski (m3)                | 20.000    | 20.000    | 20.000    |
| Stok Kapasitesi (m3)                   | 100.000   | 100.000   | 100.000   |
| Tesis Öncesi Minimum Stok Miktarı (m3) | 50.000    | 50.000    | 50.000    |
| Yıllık Faiz Oranı (%)                  | 5         | 5         | 5         |
| <b>Kazı Bilgileri</b>                  |           |           |           |
| Yıllık Toplam Kazı Miktarı (m3)        | 1.020.000 | 1.020.000 | 1.020.000 |
| Rampa Eğimi (%)                        | 2         | 2         | 2         |
| Ocak Hacmi (cevher+pasa) (m3)          | 1.020.000 | 1.020.000 | 1.020.000 |
| Sınır Tenörü (%)                       | 2         | 2         | 2         |

|                                 |       |       |       |
|---------------------------------|-------|-------|-------|
| <b>Yıllık Kazı ve Yollar</b>    |       |       |       |
| Ocak Dışı Yol Uzunluğu (m)      | 1.000 | 1.000 | 1.000 |
| Dış Yolların Ortalama Eğimi (%) | 0     | 0     | 0     |

|  |    |    |    |
|--|----|----|----|
| <b>Blok Değer Ataması</b>                  |    |    |    |
| Cevher Üretim Maliyeti (YTL/m3)            | 1  | 1  | 1  |
| Dekapaj Birim Maliyeti (YTL/m3)            | 1  | 1  | 1  |
| Cevher Geliri (YTL/kg)                     | 10 | 10 | 10 |
| Ortalama Cevher Tonaj Faktörü (t/m3)       | 3  | 3  | 3  |
| Cevher Kazanma Oranı (%)                   | 90 | 90 | 90 |
| Hazırlama-Zenginleştirme Maliyeti (YTL/kg) | 1  | 1  | 1  |

### Ocağa ait Elde edilen Değerler

Oluşturulan cevher modelinden alınabilecek bloklardan, cevher olarak kabul edilen blok sayısı 912, pasa blok sayısı 108, toplam blok sayısı 1020 ve cevher bloklarının ortalama tenörü %3,23 olacak şekilde optimum ocak sınırlarının belirlendiği gözükmektedir. (Tablo 5.15.)

**Tablo 5. 15.** Ocağın Ekonomik Analizi

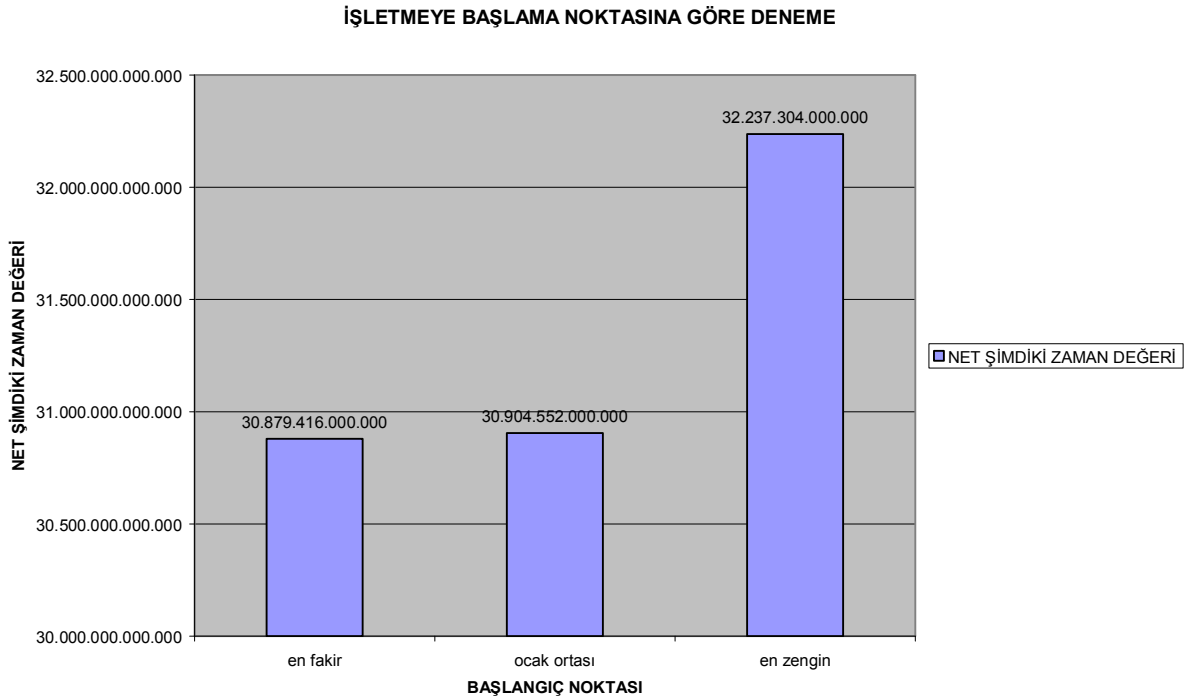
| Alınabilecek Blokların Dağılımı |             |
|---------------------------------|-------------|
| <b>Toplam Cevher Bloğu</b>      | <b>912</b>  |
| <b>Toplam Pasa Bloğu</b>        | <b>108</b>  |
| <b>Alınabilecek Toplam Blok</b> | <b>1020</b> |

| Cevher Pasa ve Alınacak Ocak Hacmi           |                  |
|--|------------------|
| <b>1 Bloğun Boyutu (m<sup>3</sup>)</b>       | <b>1.000</b>     |
| <b>Toplam Cevher Boyutu (m<sup>3</sup>)</b>  | <b>912.000</b>   |
| <b>Toplam Pasa Boyutu (m<sup>3</sup>)</b>    | <b>108.000</b>   |
| <b>Alınacak Toplam Hacim (m<sup>3</sup>)</b> | <b>1.020.000</b> |

| Alınabilecek Cevherin Tenör Dağılımı |             |
|--------------------------------------|-------------|
| Tenör Aralığı                        | Blok Sayısı |
| 1.000000 - 2.000000                  | 162         |
| 2.000000 - 3.000000                  | 152         |
| 3.000000 - 4.000000                  | 326         |
| 4.000000 - 5.000000                  | 50          |
| 5.000000 - 6.000000                  | 30          |
| 6.000000 - 7.000000                  | 192         |
| 7.000000 - 8.000000                  | 0           |
| 8.000000 -                           | 0           |
| Ortalama Tenör                       | 3,2302632   |

### Elde edilen sonuçların kıyaslanması

Şekil 5.15'te de görüleceği üzere bu cevher modelinde işletmeye cevher bloğunun en zengin bölgesinden başlanması net karın şimdiki zaman değerini en yüksek olarak elde etmeye vesile olmaktadır. Çünkü tenörce zengin olan blokların en evvel alınması net kârın şimdiki zaman değerini pozitif etkilemektedir.



**Şekil 5.15.** İşletmeye Başlama Noktasının Net Şimdiki Zaman Değerine Etkisi

- i. Bu çalışmada, daha önce geliştirilen EPDS [17] paket programı güncellenerek, çeşitli kümülatif değer hesapları yapabilecek yazılımlar eklendi. Kullanıcının rahat giriş yapabilmesi için C++ ortamında ara yüzler geliştirildi. Kodları standart C'den, C++'a taşımının hafıza yönetiminde hızlanma ve görsellik avantajları getirdiği gözlemlendi.
- ii. 3 boyutlu hipotetik blok modelleri geliştirildi. Bunlar 2800 blok (20\*20\*7) ve 2000 blok (20\*20\*5) olacak şekilde hazırlandı. Bu çalışmada, yatık ve merceksi damar şeklinde cevherleşme gösteren blok modelleri kullanıldı.
- iii. Hipotetik veri tabanında yapılan denemelerde, değişik başlangıç noktaları göz önüne alındı ve en uygun başlama noktasının mostra noktası olduğu görüldü.
- iv. Örnek olarak geliştirilen yatık damar şeklindeki mostra vermiş bir cevher damarı için yapılan denemeler sonucunda, değişik ocak hacimleri ve ürettikleri sonuçlar kıyaslandı. Buna göre örnek veri tabanı için, alınabilecek bütün blokların çıkarılması daha kârlı olacağı görüldü.
- v. Örnek veri tabanı için dinamik programlamayı etkileyen etki alanı mesafeleri incelendi. Etki alanı mesafesinin yüksek tutulduğu durumlarda yapılan blok alım sıralamasının daha kârlı olduğu görüldü. Bunun anlamı bir seferde bilgisayar tarafından sıraya dizilecek blok sayısının artması, ekonomik değere de doğrudan yansımaktadır.
- vi. Merceksi bir damar şeklinde hazırlanmış örnek modelde, sınır tenörün %3 olduğu durumda en yüksek kâra ulaşılmıştır. Böylece sistemin değişik sınır tenörler için sınama yapabildiği ve mantıklı bir sonuç ürettiği görüldü.
- vii. Merceksi bir damar şeklinde hazırlanmış örnek modelde, tesise beslenecek tenör aralığının %2-%3 olduğu durumda yapılan işletme en kârlı sonucu vermiştir. Sistemin, tesislere ait parametreleri kullanarak optimum sonucu test etme imkanı sınanmış oldu.
- viii. Merceksi bir damar şeklinde hazırlanmış örnek modelde, ocak işletme ömrünün kısa tutulduğu denemede en yüksek kâr elde edildi. Böylelikle, sistemin ocak işletme ömrü gibi bir parametreyi, dolaylı olarak yıllık üretim miktarını bir optimizasyon parametresi olarak değerlendirebildiği de gözlemlendi.
- ix. Stokların, bir ocağın bütünüyle çalışmasına olan etkisi, geliştirilen sistemle denenmiştir. Ayrıca, ocak-tesis entegre sisteminin en sorunsuz şekilde çalışabileceği stok değeri belirlenmiştir. Merceksi bir damar şeklinde hazırlanmış örnek modelde, stok kapasitesi ve tesis öncesi minimum stok riski artırıldığında daha kârlı bir ve kesintisiz bir işletme yapılmış olacaktır.

- x. Sistem, jeolojik yapıyı gözleme imkanı sağladığından, cevher yapılaşmasının<sup>58</sup> zengin ve fakir olduğu bölgeler gözlemlenebilmiştir. Bazı başlangıç noktaları da bu sayede test edilmiştir. İki boyutlu bir düzlem üzerinden bakıldığında bir tarafta cevher zenginleşmesinin fazla olduğu bir damar şeklinde, işletmeye zengin taraftan başlanmasının daha kârlı olduğu görüldü.
- xi. Program hazır şekliyle daha değişik cevher modelleri için en uygun işletme şeklinin ne olacağını verebilecektir. Çünkü onlarca değişik parametreyi kontrol etmek mümkündür.
- xii. Yazılım daha da geliştirilerek işlem takip penceresinden elde edilen veriler blok modelinin 3 boyutlu görüntüsü üzerine eşzamanlı olarak yansıtılabilir. Dolayısıyla bloklar alındığı esnada ocak durumu görüntülenebilir.
- xiii. Simülatif sistemlerin en büyük yararı, risksiz bir şekilde, çeşitli senaryoları, parametreleri ve etkilerini sanal bir ortamda test edebilmektir. Madencilik gibi büyük yatırımlar gerektiren bir endüstriyel dalda, gerçek maden ortamı ne kadar simüle edilebilirse, proje etüt çalışmaları da o kadar başarılı ve isabetli olacaktır. Ancak, bu tür sistemlerin kodlanması zaman istemekte ve çok güçlü bilgisayarlara ihtiyaç duyulmaktadır.
- xiv. Gelecek çalışmalarda, optimum saha sınırlarına etki eden bütün parametrelerin, bütün jeolojik şartlarda denenmesi zaman istemektedir. Ve gelecek çalışmalarda yapılabilecektir.
- xv. Parametrelerin teker teker değiştirilmesi yoluyla yapılan bu çalışmaya ilaveten, değişik parametre kombinasyonları için çalışmalar gelecekte yapılabilecektir.
- xvi. Büyük hacimli gerçek sahalara ait veriler için çok uzun zamana ihtiyaç vardır. Bun tip çalışmaların da gelecekte yapılmasında fayda vardır.

- [ 1 ] Armstrong,B., 1990. Planning and Design of Surface Mines, Surface Mining, 2<sup>nd</sup> Edt, Editör; Kennedy, AIME, Colorado,pp. 459.
- [ 2 ] Ahuja,R.K. ve Orlin,J.B., 1989., A Fast and Simple Algorithm for the Maximum Flow Problem, Operations Research, Cilt 37, No. 5 : 748-759.
- [ 3 ] Bastante, F.G., Taboada, J. ve Ordonez, C., 2004. Design and Planning for slate mining using optimization algorithms. Engineering Geology, 73, 93-103.
- [ 4 ] Dohm, G.C., 1979. Circular Analysis-Open Pit Optimization, Open Pit Mine Planning and Design, AIME, NewYork: 282-310.
- [ 5 ] Chanda, E.K. ve Dağdelen, K., 1995. Optimal Blending of Mine Production Using Goal Programming and Interactive Graphics System, Int. J. of Surface Mining and Reclamation, Balkema: 203-208.
- [ 6 ] Chanda, E.K. ve Wilke, F.L., 1992. An EPD Model of Open Pit Short Term Production Scheduling Optimization for Stratiform Ore Bodies, 23. APCOM, SME, Colorado: 759-768.
- [ 7 ] Dağ, A. ve Özer, Ü., 1995. Optimum Open Pit Limit of Hekimhan-Deveci Iron Mine: Determination by the Moving Cone Optimising Technique, Mine Planning and Equipment Selection, Singhal et.al. eds., Balkema, Rotterdam: 45-48.
- [ 8 ] Denby, B. ve Schofield, D., 1994. Open-pit Design and Scheduling by Use of Genetic Algorithms, IMM, Cilt 103: A21-A26.
- [ 9 ] Dijilani, M.C. ve Dowd, P.A., 1994. Optimal Production Scheduling in Open Pit Mines, Leeds University Mining Association Journal: 133-141.
- [ 10 ] Dohm, G.C, 1979. Circular Analysis-Open Pit Optimization, Open Pit Mine Planning and Design, Crawford and Hustrulid ed., AIME, New York: 284-310.
- [ 11 ] Dowd, P.A. ve Elvan, 1987. Dynamic Programming Applied to Grade Control in Sub-level Open Stopping, IMM, Cilt 96: A171-A178.
- [ 12 ] Dowd, P.A. ve Onur, A.H., 1992. Optimising Open Pit Design and Sequencing, 23. APCOM, SME, Colorado: 411-422.
- [ 13 ] Eleveli, B., 1992. Open Pit Mine Production Scheduling Using Operations Research and Artificial Intelligence, PhD Dissertation, Colorado School of Mines: 189 s.

- [ 14 ] Eleveli, B., 1995. Open Pit Mine Design and Extraction Sequencing by Use of OP and AI, Int. J. of Surface Mining, Reclamation and Environment, Balkema: 149-153.
- [ 15 ] Erarslan, K., 1996. Development of a Model for Open Pit Limits Integrated with a Sequencing System, PhD Dissertation, Middle East Technical University: 163 s.
- [ 16 ] Erarslan, K., Çelebi, N., 2001. A Simulative Model For Optimum Open Pit Design, CIM Bulletin, No:94, No:1055, 59-68.
- [ 17 ] Esfandiari, B., Aryanezhad, M.B and Abrishamifa, S.A., 2004. Open pit optimization including ore dressing criteria using 0-1 non-linear goal programming, Mining Technology, TIMM-Section A, 113, A3-A16.
- [ 18 ] Ford, C.R. ve Fulkerson, D.R., 1956. Maximal Flow Through a Network, Canadian J. Math., Cilt 8: 399-404.
- [ 19 ] Hillier, F. ve Lieberman, G. 1995. Dynamic Programming, Introduction to Operations Research, Chapter 11, McGraw Hill Pub. Co.
- [ 20 ] Hochbaum, D.S. ve Chen, A., 1999. Performance analysis and best implementations of old and new algorithms for the open pit mining problem, Operations Research, 48 (6), 894-914.
- [ 21 ] Huang, S., 1993. Computer-Based Optimization of Open-Pit Mining Sequences, IMM, Cilt 102: A125-A133.
- [ 22 ] Huttagosol, P. ve Cameron, P.C., 1992. A Computer Design of Ultimate Pit Limit by Using Transportation Algorithm, 23. APCOM, SME, Colorado: 443-460.
- [ 23 ] Johnson, T.B. ve Sharp, R.W., 1971. A Tree Dimensional Dynamic Programming Methods for Optimal Ultimate Pit Design, U.S. Bur. Min., R1 7553.
- [ 24 ] Koenigsberg, E., 1982. The Optimum Contours of an Open Pit Mine: An Application of Dynamic Programming, 17th APCOM, AIME: 274-287.
- [ 25 ] Lemieux, M., 1979. Moving Cone Optimizing Algorithm, Computer Methods for the 80's, ed. Weiss, A., SME: 329-345.
- [ 26 ] Lerchs, H. ve Grossman, I.F., 1965. Optimum Design of Open Pit Mines, CIM Bulletin, Cilt 58, no:633: 47-54.
- [ 27 ] Lizotte, Y., 1988. The Economics of Computerized Open-Pit Design, Int. J. of Surface Mining, Balkema: 59-78.

- [ 28 ] Mann, C. ve Wilke, F.L., 1992. Open Pit Short Term Mine Planning for Grade Control-A Combination of CAD-Techniques and Linear Programming, 23. APCOM, SME, Colorado: 487-497.
- [ 29 ] Meyer, M., 1969. Applying Linear Programming to the Design of Ultimate Pit Limits, Management Science, Cilt 16, No. 2: B121-B135.
- [ 30 ] Onur, A.H. ve Dowd, P.A., 1993. Open-Pit Optimization- Part 2:Production Scheduling and Inclusion of Roadways, IMM, Cilt 102: A105-A113.
- [ 31 ] Pana, M.T., 1965. The simulation Approach to Open Pit Design, 5th APCOM, Johannesburg,: 139-144.
- [ 32 ] Paşamehmetoğlu, A.G. ve ark., 1988. TKİ Dekapaj İhale Panoları için Makina Parkı Seçimi, Maliyet Analizi ve Birim Maliyetin (TL/m<sup>3</sup>) Saptanması, Cilt 1-3, Nihai Rapor, ODTÜ, Maden Müh. Böl. Maden İşletme Anabilim Dalı.
- [ 33 ] Ramazan, S., Dağdelen K, ve Johnson, T.B, 2005. Fundamental three algorithm in optimization production scheduling for open pit mine design. Mining Technology, TIMM-Section A, 114, March, A45-A54.
- [ 34 ] Roman, R.J., 1974. The Role of Time Value of Money in Determining an Open Pit Mining Sequence and Pit Limits, 12. APCOM, Colorado School of Mines, Golden Co.: C77-C85.
- [ 35 ] Schofield, D. ve Denby, B., 1992. Genetic Algorithms: A New Approach to Pit Optimization, 23. APCOM, SME, Colorado: 126-133.
- [ 36 ] Smith, M.L. ve You, T., 1995. Mine Production Scheduling for Optimization of Plant Recovery in Surface Phosphate Operations, Int. J. of Surface Mining and Reclamation, Balkema: 41-46.
- [ 37 ] Tolwinski, B. ve Underwood, R., 1992. An Algorithm to Estimate the Evolution of an Open Pit Mine, 23. APCOM, SME, Colorado: 399-409.
- [ 38 ] Wang, Q. and Sevim, H., 1992. Enhanced Production Planning in Open Pit Mining Through Intelligent Dynamic Search, 23. APCOM, SME, Colorado: 461-471.
- [ 39 ] Whinkle, R.F., 1979. Cost Records of Open Pit Mining", Open Pit Mine Planning and Design, Crawford and Hustrulid ed., SME, New York: 99-126.
- [ 40 ] Whittle, J., 1988. Beyond Optimization in Open-Pit Mining, Proceedings of the First Canadian Conference on Computer Applications in the Mineral Industry, Quebec City, Canada: 331-337.
- [ 41 ] Whittle, J., 1989. The Facts and Fallacies of Open Pit Optimization, Whittle Programming Pty. Ltd., Report.



- [ 42 ] Wright, E.A., 1987. The use of Dynamic Programming for Open Pit Mine<sup>62</sup> Design: Some Practical Implications, Min.Sci. and Tech., Cilt 6: 79-104.
- [ 43 ] Yegülalp, T.M. ve Arias, J.A., 1992. A Fast Algorithm to Solve the Ultimate Pit Problem, 23. APCOM, SME, Colorado: 391-397.
- [ 44 ] Yegülalp, T.M., et.al., 1993. New Developments in Ultimate Pit Limit Problem Solution Methods, SME Preprint no 93-26, Reno, NV.
- [ 45 ] Youdi, Z., Qingxiang, C., Lixin, W. ve Daxian, Z., 1992. Combined Approach for Surface Mine Short Term Planning Optimization, 23. APCOM, SME, Colorado: 499-506.
- [ 46 ] Yun, Q. ve Zhang, Y., 1987. Optimization of Stage-Mining in Large Open-Pit Mines, Proceedings of 13th World Mining Congress, Sweden: 237-244.
- [ 47 ] Zhang, Y.D., Cheng, Y.P. ve Su, J., 1993. Application of Goal Programming in Open Pit Planning, Int. J. of Surface Mining and Reclamation, Balkema: 41-45.
- [ 48 ] Zhao, Y. ve Kim, Y.C., 1992. A New Optimum Pit Limit Design Algorithm, 23. APCOM, SME, Colorado: 423-434.

**EK-1 Blok Kodlamaları**

$\varepsilon$  aynı kattaki ve bir aşağı katta, civarında olan blokları kontrol etmek için kullanılırken,  $\lambda$   $i,j$  lokasyonuna bakan en yakın civardakileri kontrol eder. Komşu fonksiyonu ise aynı kattaki 8 ve alt kattaki 9 bloğun boş olup olmadığını kontrol eder.(Şekil 8.1)

|           |         |           |
|-----------|---------|-----------|
| $i-1,j+1$ | $i,j+1$ | $i+1,j+1$ |
| $i-1,j$   | $i,j$   | $i+1,j$   |
| $i-1,j-1$ | $i,j-1$ | $i+1,j-1$ |

**Şekil 8.1.** Blok  $(i,j)$  ye ait indeks numaraları ve onu çevreleyen komşuları

Öncelikle  $\delta_{i,j,k}$ ,  $x_{i,j,k}$ 'ye konumlandırılır. Böylece mevcut *durum*  $(i,j,k)$ 'dir ve o lokasyondaki blok ise  $x_{i,j,k}$ 'dir. Aynı derece için mutabık en yakın komşu bloklar, mevcut *durumla* bağlantı kuran çevre bloklardır ve aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$x_{i,j,k} = \begin{cases} x_{i+1,j,k} \\ x_{i+1,j+1,k} \\ x_{i,j+1,k} \\ x_{i-1,j+1,k} \\ x_{i-1,j,k} \\ x_{i-1,j-1,k} \\ x_{i,j-1,k} \\ x_{i+1,j-1,k} \end{cases}$$

ve daha düşük seviye için

$$x_{i,j,k} = \begin{cases} x_{i,j,k+1} \\ x_{i+1,j,k+1} \\ x_{i+1,j+1,k+1} \\ x_{i,j+1,k+1} \\ x_{i-1,j+1,k+1} \\ x_{i-1,j,k+1} \\ x_{i-1,j-1,k+1} \\ x_{i,j-1,k+1} \\ x_{i+1,j-1,k+1} \end{cases}$$

şeklinde yazılabilir.

Gelecek kademe ise komşu blokların kazılabilir olup olmadığını test etmektir. Böylece üst üste gelen komşu bloklar kazılabilirlik koşullarına uyup uymadıkları hususunda kontrol edilirler. Nihai eğim açısını aşmamak için üst üste gelen komşu bloklar boş olmalıdır. Herhangi bir  $(i,j,k)$  lokasyonu eğer bir hava bloğu ise  $\partial_{i,j,k} = 0$  veya çıkarılmış bir blok ise

$\partial_{i,j,k} = -1$  boş olabilir.

## EK-2 Dinamik blok seçimi ve dal yapı modeli

$B_n$ ,  $x_{i,j,k}$  kodlarıyla kazılabilir blokları, onların değerleri olan  $b_{i,j,k}$ 'leri ve listedeki blok sayılarını ( $\varphi$ ) içerir. Örnek olarak, iki (2) kazılabilir blok,  $x_{i,j,k}$ 'nin en yakın *durumları* olarak kabul edilebilirler.

$$\begin{array}{c} B_1 \\ \hline x_{i,j,k}, b_{i,j,k}, 2 \\ x_{i+1,j,k}, b_{i+1,j,k} \\ x_{i-1,j,k}, b_{i-1,j,k} \end{array}$$

Dal listesinin ilk satırı kazı makinesinin mevcut durumunu (indeks numaraları  $i,j,k$ ) ve bu lokasyondaki blok değerini ( $b_{i,j,k}$ ) ve ona kaç adet kazılabilir bloğun (en yakın *durumlar*) eklendiğini temsil eder (örnekte,  $\varphi=2$ ). İlk kazılabilir blok listenin ikinci satırında yer alır. O işleyen birimin (kazıcı) yeni pozisyonunu alır.  $\delta_{i,j,k}$ , kodu şu değer ( $\delta_{i,j,k}=-1$ ) olarak değiştirilir ve gelecek dalın ilk satırında yeni mevcut durum olarak yer alır. Komşular gözden geçirilir ve onların kazılabilirliği tekrar kontrol edilir. Bu esnada  $B_{n+1}$  listesi hazırlanır. Bu yeni liste  $B_n$ 'deki ilk kazılabilir bloklar için ifade edilen acil hedefleri içerir. Mesela,  $M=3$  ve  $B_2$  ve  $B_3$  listelerinde ( $\varphi=2$ ) duruma sahiptir.

$$\begin{array}{ccc} \begin{array}{c} B_1 \\ \hline x_{i,j,k}, b_{i,j,k}, 2 \\ x_{i+1,j,k}, b_{i+1,j,k} \\ x_{i-1,j,k}, b_{i-1,j,k} \end{array} & \begin{array}{c} B_2 \\ \hline x_{i+1,j,k}, b_{i,j+1,k}, 2 \\ x_{i+2,j+1,k}, b_{i+1,j+1,k} \\ x_{i+1,j+2,k}, b_{i+1,j+2,k} \end{array} & \begin{array}{c} B_3 \\ \hline x_{i+2,j+1,k}, b_{i+2,j+1,k}, 2 \\ x_{i+3,j+2,k}, b_{i+3,j+2,k} \\ x_{i+2,j,k}, b_{i+2,j,k} \end{array} \end{array}$$

$n$ , belirlenmiş  $M$  kullanıcı tarafından belirlenen *dal* (branch) sayısına ulaştığında muhtemel *yol* (path) kombinasyonları belirlenmek ve indirgenmiş değerleri hesaplanmak için hazırdır.

## 5. Basamak

$$a_{i,j,k}^{\theta} = f(b_{i,j,k}, B_n) \quad (\text{Eşitlik 8.1})$$

$$v_{i,j,k}^{\theta} = \sum b_{i,j,k} (1 + d_r)^{-\omega/\gamma} \quad (\text{Eşitlik 8.2})$$

$a_{i,j,k}^{\theta}$  muhtemel yollar olup, *birinci durum olan*  $B_n$  ve takip eden blok değerlerinin bir fonksiyonudur.  $\theta$  yol numarasını temsil eder.  $v_{i,j,k}^{\theta}$  yolun toplam indirgenmiş değeridir. Burada,  $d_r$  indirgenme oranda,  $\omega$  blok numara sayıcı ve  $\gamma$  çıkarılmak amacı planlanan yıllık cevher blok sayısıdır. Sonuç olarak ilk rotanın ve onun indirgenmiş değer listesi aşağıdaki gibidir.

$$a_{i,j,k}^1 = (x_{i,j,k}, x_{i+1,j,k}, x_{i+2,j+1,k})$$

$$v_{i,j,k}^1 = [b_{i,j,k} \cdot (1 + d_r)^{-1/\gamma} + b_{i+1,j,k} \cdot (1 + d_r)^{-2/\gamma} + b_{i+2,j+1,k} \cdot (1 + d_r)^{-3/\gamma}]$$

*Yol* (path) yönlendirildikten sonra  $B_{n-1}$  tekrar düzenlenir ve şu değeri alır.

$$B_{n-1} = f(x_{i,j,k}, b_{i,j,k}, \varphi - 1)$$

Yeni dal listesi ise :

$$\begin{array}{ccc}
\frac{B_1}{x_{i,j,k}, b_{i,j,k}, 2} & \frac{B_2}{x_{i+1,j,k}, b_{i+1,j,k}, 1} & \frac{B_3}{x_{i+1,j-1,k}, b_{i+1,j-1,k}, 2} \\
x_{i+1,j,k}, b_{i+1,j,k} & x_{i+1,j-1,k}, b_{i+1,j-1,k} & x_{i+1,j-2,k}, b_{i+1,j-2,k} \\
x_{i-1,j,k}, b_{i-1,j,k} & & x_{i,j-1,k}, b_{i,j-1,k}
\end{array}$$

Yeni yol değeri ile  $a^{\theta}_{i,j,k}$  ve  $v^{\theta}_{i,j,k}$  değerleri şu şekilde kaydedilir;

$$a^2_{i,j,k} = (x_{i,j,k}, x_{i+1,j,k}, x_{i+2,j+1,k})$$

$$v^2_{i,j,k} = (b_{i,j,k} \cdot (1+d_r)^{-1/\gamma} + b_{i+1,j,k} \cdot (1+d_r)^{-2/\gamma} + b_{i+2,j+1,k} \cdot (1+d_r)^{-3/\gamma})$$

Bu süreçler  $B_{n-1}$  listesinin sonuna ulaşana kadar devam eder. Yani bu aşamada  $\varphi=0$ ,  $M$  ( $M=3$ )'e eşit olur ve böylece  $n=M-1$  ( $n=2$ )'ye düşürülür.  $B_{n-1}$ 'deki ilk kademede ( $B_1$ ) listesi kaldırılır ve bütün aşağı aşamalar kaydırılır. Yeni ilk aşama için komşuları bulunur. Kazılabilirlik özellikleri kontrol edilir.  $B_n$  listesi tekrar en yakın kademelerle doldurulur.  $B_n$  listeleri güncelleştirilmiş olur.

$$\begin{array}{ccc}
\frac{B_1}{x_{i,j,k}, b_{i,j,k}, 1} & \frac{B_2}{x_{i-1,j,k}, b_{i-1,j,k}, 1} & \frac{B_3}{x_{i-2,j,k}, b_{i-2,j,k}, 2} \\
x_{i-1,j,k}, b_{i-1,j,k} & x_{i-2,j,k}, b_{i-2,j,k} & x_{i-2,j-1,k}, b_{i-2,j-1,k} \\
& & x_{i-2,j+1,k}, b_{i-2,j+1,k}
\end{array}$$

Buna uygun olarak yeni rota ve değer tekrar hesaplanır;

### EK-3 İndirgenmiş Değer Modeli

3 dallı bir yapı için şöyle bir örnek verilebilir;

$$a_{i,j,k}^3 = (x_{i,j,k}, x_{i-1,j,k}, x_{i-2,j,k})$$

$$v_{i,j,k}^3 = \left[ b_{i,j,k} \cdot (1+d_r)^{-1/\gamma} + b_{i-1,j,k} \cdot (1+d_r)^{-2/\gamma} + b_{i-2,j,k} \cdot (1+d_r)^{-3/\gamma} \right]$$

Aynı usulle, bütün olası *yol* bileşimleri ve onların indirgenmiş değerleri  $a_{i,j,k}^\theta$  ve  $v_{i,j,k}^\theta$ 'de kaydedilir. En yüksek kâr veren *yol* değeri seçilir ve net kârın şimdiki zaman değeri mevcut net değerine şu şekilde eklenir.

#### EK-4 Stok Yönetim Modeli

Tesis, işletmenin önemli bir birimidir. Onun inşası ve işletimi iyi dizayn edilmeli ve kontrol edilmelidir. Çünkü her şeyin finansal bir anlamı vardır. Tesis dizaynı, belli bir kalite aralığındaki hammaddeye dayanır. Bundan dolayı, beslemenin miktar ve kalitesi, tesis verimini finansal olarak etkileyecektir. Atıl vakitlerden ve kalite sapmalarından kaçınılmalıdır. Geliştirilmiş model, sıralama süreci boyunca bahsedilen duruma ilişkin olarak bir algoritmaya sahiptir.

Sistem, stok kümesi aracılığı ile tesise gönderilen maddeyi kontrol etmeyi amaçlar. Stoklar, hem miktar, hem de tenör bakımından ürün beslenimini düzenlemek için işletilmektedirler (Şekil 8.2). Algoritmada bir stoğun mevcudiyeti varsayılır ve madde girdisi ve dağıtımı taklit edilir (simülasyon).

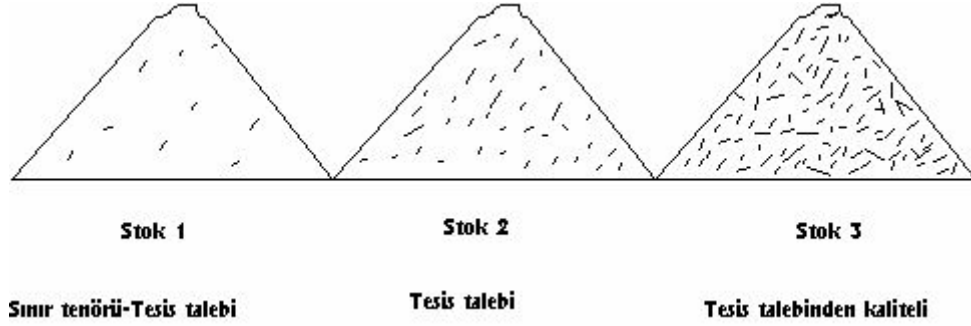


Şekil 8.2. Stok kümelerinin düzenleyici işlevi

Madendeki kazım çalışması herhangi bir nedenden dolayı kesintiye uğrayabilir veya cevher üretimi fiziksel koşullar yüzünden mümkün olmayabilir. Bu durumda stok kümelerinde toplanmış miktar işleyen tesise devamlı materyal dağıtımını sağlayabilir.

Stok kümesinin diğer bir faydası, harmanlama yoluyla üniform bir besleme mümkün olmaktadır. Sistemde yığın kümeleri şu şekilde tasarlanmıştır; sınır tenörü ve gerekli tesis talebi arasında kalanlar bir stok yığın kalitesi  $g_{cp}$ , tesisin istediği kalite  $g_p$  ve talep aralığının üstündeki kalite  $g_{ap}$  olarak tanımlanır. Harmanlamada üç kalite aralığındaki stoklar da göz önünde bulundurulur ve takibi yapılır. Cevher çıkarıldıkça, kalite aralığına göre bir stoğa gönderilir. Gönderilen miktar stok toplamına işlenir ve stoktaki ortalama tenör yeniden hesaplanır (Şekil 8.3).





Şekil 8.3. Dağılım çeşidine göre stok kümeleri

Tesis tarafından günlük gerekli olan cevher miktarı  $A_d$  ile temsil edilir.  $g_{cp}$  dizisindeki yığın kümelerinde toplanmış miktar için  $s_{cp}$ 'dir.  $g_p$  için  $s_p$  ve  $g_{ap}$  için miktar  $s_{ap}$ 'tır. Algoritmada  $g_{cp}$  ve  $g_{ap}$  için ortalama değerler sürekli olarak alınır. Çünkü bunlar sürekli değişmektedirler ve her bir diziye ait olan günlük değer harmanlama hesapları için gereklidir. Ortalamalar basitçe derece değerlerinin toplamının, blok sayılarına ( $b_{cp}$  ve  $b_{ap}$ ) bölüm değerleridir.

$$g_{cp} = \frac{\sum g_{i,j,k}}{b_{cp}} \quad (\text{Eşitlik.8.3})$$

ve

$$g_{ap} = \frac{\sum g_{i,j,k}}{b_{ap}} \quad (\text{Eşitlik.8.4})$$

Harmanlama aşaması için iki stoktaki miktarlar  $s_{cp}$  ve  $s_{ap}$  ve onların ortalama değerleri  $g_{cp}$  ve  $g_{ap}$  mevcuttur. Tesisin istediği kalite değeri (tenör)  $g_p$  ve miktar ise  $A_d$ 'dir. Harmanlamada üç temel değer aşağıdaki gibi yazılır.

$$g_{i,j,k} \geq g_c \quad (E\text{şitlik. 8.5}) \quad 71$$

$$g_p = \frac{g_{cp} \cdot A_{cp} + g_{ap} \cdot A_{ap}}{A_{cp} \cdot A_{ap}} \quad (E\text{şitlik.8.6})$$

$$A_d = A_{cp} + A_{ap} \quad (E\text{şitlik.8.7})$$

Burada:

$A_{cp}$  = Birinci stoktan gönderilen miktar, m<sup>3</sup>

$A_{ap}$  = Üçüncü stoktan gönderilen miktar, m<sup>3</sup>

$A_d$  = Tesisin günlük ihtiyacı, m<sup>3</sup>

Yukarıdaki formüller kullanılarak,  $A_{cp}$  ve  $A_{ap}$  bulunabilir;

$$A_{cp} = A_d \left( \frac{g_{ap} - g_p}{g_{ap} - g_{cp}} \right) \quad (E\text{şitlik.8.8})$$

$$A_{ap} = A_p - A_{cp} \quad (E\text{şitlik.8.9})$$

burada,

$A_p$  = İkinci stoktan gönderilen miktar, m<sup>3</sup>

Ve stoklardaki miktarlar,  $S_{cp} - A_{cp}$  ve  $S_{ap} - A_{ap}$ 'ye göre kullanılmalıdır.

Günlük ihtiyaç miktarı karşılanabilir, eğer;

$$A_{cp} + A_p + A_{ap} \geq A_d \quad (\text{Eşitlik.8.10})$$

Birinci stoktan gönderilen gerekli miktar olan  $A_{cp}$ 'yi bulduktan sonra harmanlama daha uygun olur.

$$A_{cp} = s_{cp} \quad (\text{Eşitlik.8.11})$$

$$A_{ap} = A_{cp} \left( \frac{g_p - g_{cp}}{g_{ap} - g_p} \right) \quad (\text{Eşitlik.8.12})$$

$$A_p = A_d - A_{cp} - A_{ap} \quad (\text{Eşitlik.8.13})$$

Üçüncü stoktaki gerekli miktar yeterli değilse

$$A_{ap} = s_{ap} \quad (\text{Eşitlik. 8.14})$$

$$A_{cp} = A_{ap} \left( \frac{g_{ap} - g_p}{g_p - g_{cp}} \right) \quad (\text{Eşitlik.8.15})$$

$$A_p = A_d - A_{cp} - A_{ap} \quad (\text{Eşitlik.8.16})$$

Eğer  $s_p$ 'de toplanan miktar günlük ihtiyaç için yeterliyse ikinci stoklardan gönderilir ve günlük miktar olan  $A_d$   $s_p$ 'den çıkarılır. Yoksa yukarıdaki formüllerden biri gerekli olabilir. Eğer her iki stokta istenilen formül için yeterli materyale sahip değilse, hazırda bulunan miktar fabrikaya gönderilir. Bu, fabrikanın ihtiyacının miktar ve derece yönünden tam olarak karşılanamayacağı ve bunu yapmak için yeterli zaman olmadığı anlamına gelir. Sistem bu durumu en aza indirmeyi hedefler ve stoklardaki (kullanıcının belirlediği) riskli seviyeye indiğinde olabildiği kadar istenen özelliklerde materyal göndermesi için uyarılır.

Geliştirilmiş sistemin hedefi sadece ısmarlanan günlük miktarlara değil, yıllık maden ihtiyacına ve yıllık çalışma günleri için tüm yılın kazı hedeflerine uygunluk gösterir.

$$b_{cp} + b_p + b_{ap} \geq A^o \quad (\text{Eşitlik.8.17})$$

$$\sum^w x_{i,j,k} \geq A^e \quad (\text{Eşitlik.8.18})$$

$B_{cp}$  = Birinci aralıkta çıkarılmış toplam maden miktarı, m<sup>3</sup>.

$B_p$  = İkinci aralıkta çıkarılmış toplam maden miktarı, m<sup>3</sup>.

$B_{ap}$  = Üçüncü aralıkta çıkarılmış toplam maden miktarı, m<sup>3</sup>.

$B_v$  = blok hacmi, m<sup>3</sup>.

$A^e$  = Yıllık cevher ve dekapaj kazı miktarı, m<sup>3</sup>.

Stoklardaki miktarın tesisi beslemesi için tam olarak yeterli olup olmadığı ya da terkip yapmak için istenen düzeyde olup olmadığı kontrol edilir. Yoksa, stoklar eğer mümkünse fonksiyon tarafından, istenen düzeyde bir blok getirmesi için uyarır.

$$msg_{i,j,k} = f(s_{cp}, s_p, s_{ap}) \quad (\text{Eşitlik.8.19})$$

$msg_{i,j,k}$  stoklardaki miktarın fonksiyonudur. Tesis ihtiyaçları ekonomik yönlerinin yanında blok çıkarımının sırasını etkileyebilir. Bu etki, stokların kontrolünü sıralama yoluyla yapmak ve buna göre sistemin tedbir alması için yansıtılır. Stokların durumu ileriki günlerde tesisin ihtiyaçlarını karşılayıp karşılamayacağı hakkında ipucu verir. Eğer stoklardaki cevher miktarı belirli risk limitine yaklaşırsa, program sırayı da değiştirebilir. Ve blok kalitesi en ekonomik olmasa da program bunu yapabilir. Riskli stok seviyesi, stoklarda kalan ve madenin ve tesisin durumuna göre mühendis tarafından karar verilen en az izin verilen cevher miktardır.

Stok yönetimi simülasyonu ve fabrika beslemesi gelişimi için devam eden prosedürleri açıkladıktan sonra algoritmanın kullanıldığı blok modelleri açıklanmalıdır. (Erarslan, 1999)

#### ***Sistem tarafından istenilen blok modelleri:***

Hangi bloklar maden, hangileri atık; tenörü nedir gibi ve yol profilinin tasarlanması gibi konuları kontrol etmek için belli tenör blok modeline ihtiyaç vardır. Diğer ihtiyaç ekonomik blok modelidir. Buna bağlı olarak birim fiyatları ve giderleri de bilinmeli veya hesaplanmalıdır. Toprak veya hava blok durumlarını temsil eden bir blok modeline de ihtiyaç vardır. Böylece geliştirilen maksimizasyon sistemi, üç blok modeline yani, kalite, ekonomik durum ve

topoğrafik konum blok modellerine ihtiyaç duyar. Bir blok modeli jeostatistik paket içerisinde<sup>74</sup> hazırlanırken, ekonomik ve topoğrafik konum modelleri de üretilebilir. (Erarslan, 1999)

### **Tenör blok modeli:**

Sondajların tenör değerleri değerlendirilebilir. Burada ters mesafe karesi, jeostatistik ve yapay sinir ağları gibi yaklaşımlar kullanılabilir. Jeostatistiğin ters mesafe karesine göre üstünlüğü vardır. Çünkü bütün örnek noktaların yönleri ve yerleri düşünüldükten sonra maden yatağının davranışı açıklanır ve hesaplama hataları saptanabilir. Belli noktaların değerini belli olmayan noktalara kaydırmadan önce variogram modeli geliştirilmelidir ki bu model yön ve uzaklığa göre şekillenir. Başka bir deyişle maden yatağı davranışını belirleyecek bir matematiksel fonksiyon ortaya çıkartılmalıdır. (Erarslan, 1999)

### **Topoğrafik konum blok modeli:**

Sistem tenör blok modeli ve delikli yüzey modelini kullanarak kod dosyalarını çıkarır. Yüzey modeli (topografya) aslında maden alanına empoze edilmiş bir ızgara sistemdir. Her bir düğüm bir yüksekliğe sahiptir. Katı bloklar bu yüzeyin altında bulunmalıdır. Fakat farklı veri yayma metotlarında bazen sınırı (topografyayı) aşabilir. Geliştirilen sistem eğer yüzey (topografya) modeli kullanıcı tarafından verilirse bunu kabul eder. Ya da, ters mesafe karesi, jeostatistik gibi yöntemlerle yüzey düğüm yükseklikleri hesaplanabilir. Sistemde ters mesafe karesi, kodlama kolaylığı dolayısıyla tercih edilmiştir. Ters mesafe karesi yönteminin formülü aşağıdaki gibidir:

$$\varepsilon_{(i,j)} = \frac{\sum_{n=1}^N \frac{z_n}{d_{(i,j,n)}^2}}{\sum_{n=1}^N \frac{1}{d_{(i,j,n)}^2}} \quad (\text{Eşitlik. 8.20})$$

Burada,

$\varepsilon_{(i,j)}$  = düğüm noktası için belirlenmiş değer  $i,j$

$z_n$  = etki alanındaki  $n$ 'inci kuyunun atama değeri

$d_{(i,j,n)}$  =  $n$ 'inci kuyuyla  $i,j$  arasındaki uzaklık

$d_{(i,j,n)}$  denklem kullanılarak hesaplanabilir.

75

$$d_{(i,j,n)} = \sqrt{(nx_{ij} - sx_n)^2 + (ny_{ij} - sy_n)^2} \quad (\text{Eşitlik. 8.21})$$

Burada,

$nx_{ij}$  =  $i, j$  kuyusunun  $x$  koordinatı (Doğu)

$ny_{ij}$  =  $i, j$  kuyusunun  $y$  koordinatı (Kuzey)

$sx_n$  =  $n$  örnek noktasının  $x$  koordinatı (Doğu)

$sy_n$  =  $n$  örnek noktasının  $y$  koordinatı (Kuzey)

Her blok seviyesinin orta noktasının yüksekliği  $E_k$ 'dir.  $k$  blok seviye sayısını gösterir.  $k=0, \dots, N_k$  ve  $N_k$  blok seviyelerinin toplam sayısıdır.

Her bir kuyunun  $\varepsilon(i,j)$  dört köşesinin yüksekliğini yukarıdaki formülleri kullanarak hesaplayabiliriz.

$$\mu(x,y) = \frac{\sum_{a=i-1}^i \sum_{b=j-1}^j \varepsilon(a,b)}{4} \quad (\text{Eşitlik. 8.22})$$

$\mu(x,y)$  = kuyunun yüksekliği  $(x,y)$

$X$  = doğu yönlü kuyu indeks numarası  $x=1, \dots, N_i-1$

$I$  = doğu yönlü blok indeks numarası  $i=1, \dots, N_i$

$N_i$  = doğu yönündeki blokların sayısı

$Y$  = kuzey yönlü kuyu indeks numarası  $y=1, \dots, N_j-1$

$J$  = kuzey yönlü blok indeks numarası  $j=1, \dots, N_j$

$N_j$  = blokların kuzey yönündeki sayıları.

$a, b$  =  $i, i-1$  ve  $j, j-1$  değerlerine sahip olan kontrol değişkeni

Şimdi her iki ortalama hücre yükseklikleri  $\mu(x,y)$  ve blok seviyesi orta nokta<sup>76</sup> yükseklikleri  $E_k$  bilinmektedir. Sonra yüzey ve aynı seviyedeki blok yüksekliği her bir node hücresi için karşılaştırılabilir. Eğer hücre yüksekliği blok seviyesi orta noktasından yüksekse bu blok pasa bloğu olarak blok modelleri içerisinde yer alır ve 1 kod numarası verilir. Eğer değilse hava bloğu modeli içine girer ve 0 kod numarası verilir.

$$\partial(x,y) = \begin{cases} 1 & E_k < \mu(x,y) \\ 0 & E_k > \mu(x,y) \end{cases} \quad (\text{Eşitlik. 8.23})$$

Kontrol olarak, SEVİYE blokları taranır ve (x,y) içeriklerdeki aynı seviyedeki maksimum yükseklikler yüzey yükseklikleriyle karşılaştırılır. Yüzeğe çıkarılan ürünün bulunduğu yerlerdeki SEVİYE hazırlıkları, işleri nadiren de olsa tenör blok yüksekliğinin bu bölgelerdeki yüzey yüksekliklerinden daha yüksek olmasına sebep olabilir. Sistem bu blokları yüzeğe katar. Çünkü onlar bir seviye taşırlar. Fakat yüzey modeli kesinlikle doğruysa (hava fotoğrafıyla, coğrafi haritayla ) sistem kodlamada sadece yüzey verisini dikkate alır. [17]

#### **Ekonomik blok modeli:**

Maksimizasyon için ihtiyaç duyulan diğer bir blok modeli ekonomik değere sahip bir modeldir. Programlama esnasında bu değerler indirilir ve seçilmiş uygun sıra bulunur. Blok değeri hesaplaması maden ya da pasa bloğu olup olmadığına göre değişir.

$$b_{ijk} = (v \cdot f \cdot g \cdot r \cdot (p - c_p)) - (v \cdot c_o) \quad \text{Maden bloğu} \quad (\text{Eşitlik. 8.24})$$

$$b_{ijk} = c_w \cdot v \quad \text{Pasa bloğu} \quad (\text{Eşitlik. 8.25})$$

$b_{ijk}$  = blok i,j,k değeri.

$c_o$  = her m<sup>3</sup>'deki maden kazı bedeli

$c_w$  = her m<sup>3</sup>'deki atık uzaklaştırma bedeli

$c_p$  = cevher geliri TL/Kg

$p$  = Cevher geliri TL/Kg

$v$  = blok hacmi (m<sup>3</sup>)

$f$  = tonaj faktörü (ton/m<sup>3</sup>)

$g$  = blok tenörü (%)

$r$  = Cevher kazanma oranı (%)

77

$c_o$  ve  $c_w$  bu denklemlerin anahtar parametreleridir. Çünkü birim fiyatları ocak ömrü boyunca alınan gider kayıtlarını toplayarak maden işletmesinin sonunda hesaplanabilirdi. Fakat tasarımda onların yerine bir değer kaynak zorunludur ki bu elde olmayan ve elde edilebilecek bir bilgi kullanımı demektir. Eskiden beri uygun alan konusunda çalışma yapan seçkin araştırmacılar başka bir madenin birim fiyatlarını alarak bu problemin üstesinden gelirler di. Bu şekildeki tahmin ocak ömrünün sonuna kadar tam olarak derecesi belirlenemeyen bazı peşin hükümlere dayanır. Madencilik gideri, taşımacılık gideri, işçilik gideri gibi birkaç gider parametreleri dalgalı şekilde, üretim miktarlarında ve yol tasarımında çeşitli karakterlere sahiptir. Bu özellik gider değerlerinin sadece bu engebeli yere uygun ve tek olduğunun altını çizer. Bu yüzden gider tahmini için daha gerçekçi metodolojinin kullanılması gerekir. “Birim gideri, tek giderdir” fikri seçim çalışmalarında yerini almalıdır. Bu tez daha detaylı bir çalışma için ufuk açan bir noktadır.

Bu gayeyle, DEKMAL paketi birim gider tahmin hizmetini sağlamak için sisteme dâhil edilmiştir. Bunlar yol profillerinin yıllık cevher, pasa miktarları ve uzunlukları ve tenör değerleridir.

Algoritma bunları hesaplamak için aşağıdakileri geliştirdi:

Madenin ömrü ilk olarak şöyle hesaplanır.

$$L = T_o / w \quad (\text{Eşitlik. 8.26})$$

$L$  = ocak ömrü, yıl

$T_o$  = ocaktaki toplam maden  $m^3$

$w$  = Yıllık çalışma günü gün/yıl.

Burada, yıllık cevher üretimine ve yıllık çalışma günlerine sistem kullanıcısı karar verir.

Toplam pasa miktarı  $T_w$  olarak ve yıllık pasa uzaklaştırması da  $A_w$  olarak gösterilir. Sonra ocak ömrünü kullanarak yıllık pasa uzaklaştırması şu şekilde hesaplanır.

$$A^w = T_w / L \quad (\text{Eşitlik 8.27})$$

Ayrıca, günlük cevher,  $D^o$  ve pasa,  $D^w$  miktarı, yıllık pasa kazı miktarı  $A^w$  ve cevher miktarı  $A^o$ 'ı, yıllık gün sayısına  $w$  bölerek bulunur;

$$D^o = A^o / w \quad (\text{Eşitlik. 8.28})$$

$$D^w = A^w / w \quad (\text{Eşitlik.8.29})$$



İkinci problem yıllık pasa ve cevher miktarının ve yol profilleri uzunluğunun kararı<sup>78</sup> şöyle çözümlendi ki ilk olarak ocağın ağırlık merkezi hesaplanır. Her seviyedeki görüş uzaklığı bu seviyeyi yüzeye bağlayan rampada meyilli uzaklık, bu seviye için cevher ve pasa miktarı ölçülür.

$$HD^O = \frac{\sum_{i=1} (hd_i)(q_i^O)}{\sum_{i=1} q_i^O} \quad (\text{Eşitlik. 8.30})$$

$$HD^W = \frac{\sum_{i=1} (hd_i)(q_i^W)}{\sum_{i=1} q_i^W} \quad (\text{Eşitlik.8.31})$$

$HD^O$  = cevher için ortalama ölçülmüş görüş uzaklığı , m.

$HD^W$  = pasa için ortalama ölçülmüş görüş uzaklığı, m.

$hd_i$  = i seviyesindeki ortalama ölçülmüş görüş uzaklığı, m.

$q_i^O$  = i seviyesindeki toplam cevher miktarı, blok.

$q_i^W$  = i seviyesindeki toplam pasa miktarı, blok.

Rampa uzunluğu da aynı yolla bulunabilir.

$$ID^O = \frac{\sum_{i=1} (id_i)(q_i^O)}{\sum_{i=1} q_i^O} \quad (\text{Eşitlik. 8.32})$$

$$ID^W = \frac{\sum_{i=1} (id_i)(q_i^W)}{\sum_{i=1} q_i^W} \quad (\text{Eşitlik. 8.33})$$

$hd_i$  aslında bu seviyede X ve Y boyutlarının orta noktaları olarak bulunan i seviyesinin orta noktasıdır.

$$hd_i = \frac{DX_i/2 + DY_i/2}{2} \quad (\text{Eşitlik. 8.34})$$

$DX_i$  =  $i$  seviyesini X yönüyle geçen uzunluğu, m.

$DY_i$  =  $i$  seviyesini Y yönüyle geçen uzunluğu, m.

$id_i$   $i$  seviyesi ile yüzey arasındaki eğimli uzunluk

$$id_i = \frac{i * h_b}{g} \quad (\text{Eşitlik. 8.35})$$

$i$  = seviye numarası

$h_b$  = basamak yüksekliği, m.

$g$  = eğim açısı, %

sistem yukarıdaki tüm uzunlukları ve miktarları, girift birim gider hesaplama sistemini kullanmak için DEKMAL paket programını kullanır. (Paşamehmetoğlu ve arkadaşları, 1988).

Sistem ekonomik blok modelinin yeni jenerasyonu için hazırlanmıştır. 8.24 ve 8.25 denklemleri kullanarak jeolojik model, ekonomik blok modeline çevrilir. [17].

### **Sistemi Programlama:**

Bu çalışmada geliştirilmiş matematik model, C++ dilinde programlanmıştır. Geliştirilen paket, açıklanan algoritma çerçevesinde Net Şimdiki Zaman Değeri maksimizasyonu problemini çözmektedir. Paketin adı; Ekonomik Kazı Tasarımı Sistemi (EKTS) olarak verilmiştir.