

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

**KÖMÜR SAHALARINDA NİHAİ OCAK SINIRI**  
**TESPİTİ**

**Gökhan TURAN**

**Ocak, 2015**  
**İZMİR**

# **KÖMÜR SAHALARINDA NİHAİ OCAK SINIRI TESPİTİ**

**Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**

**Yüksek Lisans Tezi**

**Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, Maden İşletme Programı**

**Gökhan TURAN**

**Ocak, 2015**

**İZMİR**

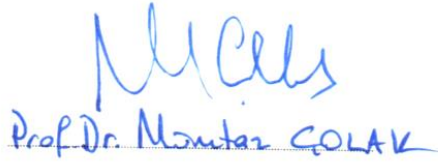
**YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU**

**GÖKHAN TURAN**, tarafından **PROF.DR. AHMET HAKAN ONUR** yönetiminde hazırlanan **“KÖMÜR SAHALARINDA NİHAİ OCAK SINIRI TESPİTİ”** başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.



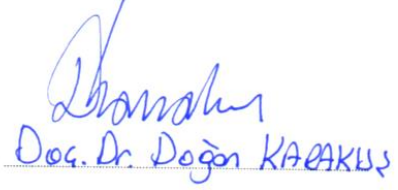
Prof.Dr. Ahmet Hakan ONUR

Yönetici



Prof. Dr. Montaz ÇOLAK

Juri Üyesi



Doç. Dr. Doğan KAŞAKUŞ

Juri Üyesi



Prof.Dr. Ayşe OKUR

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

## TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca, her konuda örnek aldığım, değerli bilgi birikimiyle göstermiş olduğu büyük özveri ve desteklerinden dolayı hocam Sayın Prof.Dr. Ahmet Hakan ONUR'a teşekkür ederim.

Teşvik edici tutumları ve her konuda yardımlarından dolayı Sayın Prof.Dr. Ercüment YALÇIN'a, Sayın Doç.Dr. Ahmet Hamdi DELİORMANLI'ya ve Sayın Doç.Dr. Doğan KARAKUŞ'a teşekkürlerimi sunarım.

Her konuda değerli bilgilerini benimle paylaşan, manevi olarak desteklerini hissettiğim Araş.Gör.Dr. Tahir MALLI'ya, Araş.Gör. Mehmet Volkan ÖZDOĞAN'a ve Araş.Gör. Mustafa Emre YETKİN'e teşekkürlerimi sunarım.

Manevi olarak her zaman, her konuda yanımda olan çok değerli arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Eğitim hayatım boyunca güvenlerini ve desteklerini her zaman hissettiğim, her zaman yanımda olan sevgili anneme, babama ve ablama şükranlarımı sunarım.

Gökhan TURAN

# KÖMÜR SAHALARINDA NİHAİ OCAK SINIRI TESPİTİ

## ÖZ

Gelişen teknoloji ve artan nüfus sebebiyle hammadde ihtiyacı giderek artmaktadır. Hammade kaynaklarının büyük bölümü açık işletme madenciliğiyle doğadan kazanılmaktadır. Gelişen teknoloji ile birlikte, makina ekipman kapasitelerinin artması ve birim maliyetlerin düşmesi sebebiyle daha derin ocaklardan daha düşük tenörlü madenlerin ekonomik olarak üretilmesi mümkün olmaktadır.

Açık ocak planlamasında önemli adımlardan birisi açık-yeraltı işletme sınırını tespit etmektir. Artan derinlik sonucunda nihai ocak sınırı problemi daha karmaşık bir hal almaktadır. Günümüzde bu problemi çözmeye yönelik işlemler bilgisayar ortamında, geliştirilen çeşitli algoritmalar aracılığıyla yazılımlar sayesinde yapılmaktadır. Bu algoritmalar, çeşitli kısıtlamaları göz önünde bulundurarak, karı maksimize eden optimum ocak sınırını tespit etme amacını taşımaktadır. Gelişen teknolojinin sonuçları doğrultusunda bu algoritmaların da geliştirilmesi gerekmektedir.

Bu yüksek lisans tez çalışmasında, optimum ocak sınırını sezgisel olarak tespit etmeyi amaçlayan hareketli koni algoritmasını geliştirmeye yönelik yapılan çalışmalar aktarılmaktadır. Geliştirilen algoritmanın doğruluk testleri ve gerçek bir kömür madeni uygulaması yer almaktadır.

**Anahtar kelimeler:** Açık işletme madenciliği, optimum ocak sınırı, hareketli koni algoritması

# ULTIMATE PIT LIMIT DEFINITION OF COAL MINES

## ABSTRACT

Raw material requirements have been increasing due to developing technology and increasing population. The most of the raw material resources are obtained from earth by means of open pit mining. Equipment capacities are getting bigger with the development of technology and this makes it possible to mine the lower grade ores from deeper pits with lower unit costs.

In open pit mine planning, one of the important steps is to determine the ultimate pit limit. The ultimate pit limit problem is getting more complex due to increasing pit depth. The calculation for solving that problem is carried out by software with various algorithms.

The aim of these algorithms is to determine the ultimate pit limit which maximizes the profit with considering various restrictions. But the current algorithms need to be improved because of developments achieved in computer technologies.

In this master thesis, it is aimed to develop the heuristic moving cone algorithm which determines the ultimate pit limit. Then accuracy test of algorithm and application on a real coal mine were carried out.

**Keywords:** Open pit mining, optimum pit limit, moving cone algorithm

## İÇİNDEKİLER

	<b>Sayfa</b>
YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU .....	ii
TEŞEKKÜR .....	iii
ÖZ .....	iv
ABSTRACT.....	v
ŞEKİLLER LİSTESİ .....	viii
TABLolar LİSTESİ.....	xii
<b>BÖLÜM BİR - GİRİŞ.....</b>	<b>1</b>
1.1 Genel Bilgiler.....	1
<b>BÖLÜM İKİ - BİLGİSAYAR DESTEKLİ AÇIK İŞLETME NİHAİ OCAK SINIRI TESPİTİ.....</b>	<b>3</b>
2.1 Optimum Açık İşletme Sınırı Mantığı.....	3
2.1.1 Giriş.....	3
2.1.2 Teknik Parametreler.....	3
2.1.3 Ekonomik Parametreler.....	5
2.2 Optimum Açık İşletme Sınırı Tespit Yöntemleri İle İlgili Yapılan Geçmiş Çalışmalar.....	6
2.2.1 İki Boyutlu Lerchs-Grossman Algoritması.....	6
2.2.2 Şebeke Yöntemi.....	9
2.2.3 Korobov Algoritması.....	9
2.2.4 Düzeltilmiş Korobov Algoritması.....	10
2.2.5 Dinamik Programlama Algoritmaları.....	10
2.2.6 Parametrik Analiz.....	11
2.2.7 Hareketli Koni Algoritması.....	12

**BÖLÜM ÜÇ - TEZ KAPSAMINDA HAREKETLİ KONİ ALGORİTMASININ GELİŞTİRİLMESİNE YÖNELİK YAPILAN ÇALIŞMALAR..... 13**

3.1 Giriş.....	13
3.2 Geçmiş Çalışmaların Değerlendirilmesi.....	13
3.2.1 Hareketli Koni Algoritması.....	13
3.2.2 Hareketli Koni II Algoritması.....	14
3.2.3 Değiştirilmiş Hareketli Koni II Algoritması Yöntem 1.....	15
3.2.4 Değiştirilmiş Hareketli Koni II Algoritması Yöntem 2.....	16
3.2.5 Hareketli Koni III Algoritması.....	17
3.3 Hareketli Koni Algoritmasının Geliştirilmesine Yönelik Tez Kapsamında Yapılan Çalışmalar.....	24
3.3.1 Giriş.....	24
3.3.2 Akım Şeması.....	25
3.4 Geliştirilen Algoritmanın Kesin Çözüm Veren Lerchs-Grossmann Algoritması İle Karşılaştırılması.....	37

**BÖLÜM DÖRT - GELİŞTİRİLEN ALGORİTMANIN DEĞİŞEN ŞEV AÇISI VE KÖMÜR SATIŞ FİYATLARINDA ÖRNEK BİR SAHA İÇİN UYGULANMASI..... 46**

4.1 Giriş.....	46
4.2 T.K.İ. Yatağan-Turgut Kömür Madeni.....	46
4.3 T.K.İ. Yatağan-Turgut Kömür Madeni Nihai Ocak Sınır Tespiti Çalışması .	48

**BÖLÜM BEŞ – SONUÇLAR ..... 83**

**KAYNAKLAR..... 91**

## ŞEKİLLER LİSTESİ

	<b>Sayfa</b>
Şekil 2.1 Açık işletme madenciliğinin kesit görünüşü .....	4
Şekil 2.2 İki boyutlu Lerchs-Grossmann algoritması için uygulama matrisi .....	6
Şekil 2.3 İki boyutlu Lerchs-Grossmann algoritması uygulamasında sıfır sütunlarının eklenmesi .....	7
Şekil 2.4 İki boyutlu Lerchs-Grossmann algoritması uygulamasında kümülatif toplamlar sonucu elde edilen matris .....	7
Şekil 2.5 İki boyutlu Lerchs-Grossmann algoritması uygulamasında okların çizilmesi .....	8
Şekil 2.6 İki boyutlu Lerchs-Grossmann algoritması uygulamasında okların gösterdiği değerlerin bloklara atanması .....	8
Şekil 2.7 İki boyutlu Lerch-Grossmann algoritması uygulamasında elde edilen nihai ocak sınırı .....	9
Şekil 3.1 İki boyutlu ekonomik blok model .....	14
Şekil 3.2 Gerçek optimum ocak sınırı .....	14
Şekil 3.3 Hareketli koni II algoritması ile bulunan optimum ocak sınırı .....	15
Şekil 3.4 Hareketli koni II algoritması yöntem 2 ile bulunan optimum ocak sınırı .....	16
Şekil 3.5 Hareketli koni III algoritması akım şeması .....	18
Şekil 3.6 Bağımsız ve efektif olmayan cevher bloklarının kaldırılması .....	21
Şekil 3.7 Bağımlı ve efektif olmayan blokların etkilerinin azaltılması ya da kaldırılması .....	21
Şekil 3.8 Ortak blokların öneminin belirlenmesi .....	21
Şekil 3.9 Bağımsız ve efektif olmayan cevher bloklarının kaldırılması .....	22
Şekil 3.10 Bağımlı ve efektif olmayan blokların etkilerinin azaltılması ya da kaldırılması .....	22
Şekil 3.11 Ortak blokların önemlerinin belirlenmesi .....	23
Şekil 3.12 Farz edilen ilk sınır .....	23
Şekil 3.13 Hareketli koni III algoritması ile bulunan nihai optimum ocak sınırı ...	24
Şekil 3.14 Geliştirilen algoritmanın akım şeması .....	26

Şekil 3.15	İki boyutlu ekonomik blok model .....	30
Şekil 3.16	(2,2) bloğunun tek başına kaldırılması varsayıldığında elde edilen sonuç .....	30
Şekil 3.17	(2,4) bloğunun tek başına kaldırılması varsayıldığında elde edilen sonuç .....	31
Şekil 3.18	(2,8) bloğunun tek başına kaldırılması varsayıldığında elde edilen sonuç .....	31
Şekil 3.19	(3,4) bloğunun tek başına kaldırılması varsayıldığında elde edilen sonuç .....	31
Şekil 3.20	İkinci kata kadar olan blokların önem değerleri .....	32
Şekil 3.21	Karlı ocak tespitinde etkisi olmayan blokların atadığı önem değerlerinin geri alınması .....	33
Şekil 3.22	İkinci katta blokların önem değerlerinin son durumu .....	33
Şekil 3.23	Üçüncü kata kadar olan blokların önem değerleri .....	34
Şekil 3.24	Üçüncü katta blokların önem değerlerinin son durumu .....	35
Şekil 3.25	(3,4) bloğunun varsayılan üretimi .....	36
Şekil 3.26	Nihai ocağın görünümü .....	37
Şekil 3.27	Belirlenen nihai şev açısına göre oluşturulan koninin etki alanı .....	38
Şekil 3.28	<i>Knights move</i> arama modeli ile 15 kat aşağıdaki cevher bloğunun çıkarılması .....	39
Şekil 3.29	Yarıçap arama modeli ile 15 kat aşağıdaki cevher bloğunun çıkarılması .....	40
Şekil 4.1	Bölgenin yer bulduru haritası .....	47
Şekil 4.2	Kömür birim satış fiyatı 60 TL/ton için 50° nihai şev açısında ocağın perspektif görünüşü .....	49
Şekil 4.3	Kömür birim satış fiyatı 60 TL/ton için 50° nihai şev açısındaki ocağın plan görünüşü ve A-A' doğrultusunda alınan kesit .....	50
Şekil 4.4	Kömür birim satış fiyatı 63 TL/ton için 45° nihai şev açısında ocağın perspektif görünüşü .....	51
Şekil 4.5	Kömür birim satış fiyatı 63 TL/ton için 45° nihai şev açısındaki ocağın plan görünüşü ve A-A' doğrultusunda alınan kesit .....	52

Şekil 4.6	Kömür birim satış fiyatı 63 TL/ton için 50° nihai şev açısında ocağın perspektif görünüşü .....	53
Şekil 4.7	Kömür birim satış fiyatı 63 TL/ton için 50° nihai şev açısındaki ocağın plan görünüşü ve A-A' doğrultusunda alınan kesit .....	54
Şekil 4.8	Kömür birim satış fiyatı 65 TL/ton için 40° nihai şev açısında ocağın perspektif görünüşü .....	55
Şekil 4.9	Kömür birim satış fiyatı 65 TL/ton için 40° nihai şev açısındaki ocağın plan görünüşü ve A-A' doğrultusunda alınan kesit .....	56
Şekil 4.10	Kömür birim satış fiyatı 65 TL/ton için 45° nihai şev açısında ocağın perspektif görünüşü .....	57
Şekil 4.11	Kömür birim satış fiyatı 65 TL/ton için 45° nihai şev açısındaki ocağın plan görünüşü ve A-A' doğrultusunda alınan kesit .....	58
Şekil 4.12	Kömür birim satış fiyatı 65 TL/ton için 50° nihai şev açısında ocağın perspektif görünüşü .....	59
Şekil 4.13	Kömür birim satış fiyatı 65 TL/ton için 50° nihai şev açısındaki ocağın plan görünüşü ve A-A' doğrultusunda alınan kesit .....	60
Şekil 4.14	Kömür birim satış fiyatı 70 TL/ton için 30° nihai şev açısında ocağın perspektif görünüşü .....	61
Şekil 4.15	Kömür birim satış fiyatı 70 TL/ton için 30° nihai şev açısındaki ocağın plan görünüşü ve A-A' doğrultusunda alınan kesit .....	62
Şekil 4.16	Kömür birim satış fiyatı 70 TL/ton için 35° nihai şev açısında ocağın perspektif görünüşü .....	63
Şekil 4.17	Kömür birim satış fiyatı 70 TL/ton için 35° nihai şev açısındaki ocağın plan görünüşü ve A-A' doğrultusunda alınan kesit .....	64
Şekil 4.18	Kömür birim satış fiyatı 70 TL/ton için 40° nihai şev açısında ocağın perspektif görünüşü .....	65
Şekil 4.19	Kömür birim satış fiyatı 70 TL/ton için 40° nihai şev açısındaki ocağın plan görünüşü ve A-A' doğrultusunda alınan kesit .....	66
Şekil 4.20	Kömür birim satış fiyatı 70 TL/ton için 45° nihai şev açısında ocağın perspektif görünüşü .....	67
Şekil 4.21	Kömür birim satış fiyatı 70 TL/ton için 45° nihai şev açısındaki ocağın plan görünüşü ve A-A' doğrultusunda alınan kesit .....	68

Şekil 4.22	Kömür birim satış fiyatı 70 TL/ton için 50° nihai şev açısında ocağın perspektif görünüşü .....	69
Şekil 4.23	Kömür birim satış fiyatı 70 TL/ton için 50° nihai şev açısındaki ocağın plan görünüşü ve A-A' doğrultusunda alınan kesit .....	70
Şekil 4.24	Kömür birim satış fiyatı 80 TL/ton için 30° nihai şev açısında ocağın perspektif görünüşü .....	71
Şekil 4.25	Kömür birim satış fiyatı 80 TL/ton için 30° nihai şev açısındaki ocağın plan görünüşü ve A-A' doğrultusunda alınan kesit .....	72
Şekil 4.26	Kömür birim satış fiyatı 80 TL/ton için 35° nihai şev açısında ocağın perspektif görünüşü .....	73
Şekil 4.27	Kömür birim satış fiyatı 80 TL/ton için 35° nihai şev açısındaki ocağın plan görünüşü ve A-A' doğrultusunda alınan kesit .....	74
Şekil 4.28	Kömür birim satış fiyatı 80 TL/ton için 40° nihai şev açısında ocağın perspektif görünüşü .....	75
Şekil 4.29	Kömür birim satış fiyatı 80 TL/ton için 40° nihai şev açısındaki ocağın plan görünüşü ve A-A' doğrultusunda alınan kesit .....	76
Şekil 4.30	Kömür birim satış fiyatı 80 TL/ton için 45° nihai şev açısında ocağın perspektif görünüşü .....	77
Şekil 4.31	Kömür birim satış fiyatı 80 TL/ton için 45° nihai şev açısındaki ocağın plan görünüşü ve A-A' doğrultusunda alınan kesit .....	78
Şekil 4.32	Kömür birim satış fiyatı 80 TL/ton için 50° nihai şev açısında ocağın perspektif görünüşü .....	79
Şekil 4.33	Kömür birim satış fiyatı 80 TL/ton için 50° nihai şev açısındaki ocağın plan görünüşü ve A-A' doğrultusunda alınan kesit .....	80

## TABLULAR LİSTESİ

### Sayfa

Tablo 3.1	Şekil 3.1'deki örneğin koni değerleri .....	14
Tablo 3.2	Şekil 3.3'te gösterilen kümülatif ocak değeri .....	15
Tablo 3.3	Hareketli koni II algoritması yöntem 1 ile bulunan kümülatif ocak değerleri .....	15
Tablo 3.4	Hareketli koni II algoritması yöntem 2 ile bulunan kümülatif ocak değerleri .....	16
Tablo 3.5	Cevher bloklarının azalan sırada sıralanması .....	23
Tablo 3.6	Kümülatif değerlerin hesaplanması .....	24
Tablo 3.7	Cevher bloklarının toplam önemleri, koni değerleri ve nihai önemleri .	35
Tablo 3.8	Cevher bloklarının nihai önemlerine göre sıralanması .....	35
Tablo 3.9	Birim kömür bloğu satış fiyatı 50 TL için elde edilen sonuçlar .....	41
Tablo 3.10	Birim kömür bloğu satış fiyatı 70 TL için elde edilen sonuçlar .....	42
Tablo 3.11	Birim kömür bloğu satış fiyatı 90 TL için elde edilen sonuçlar .....	43
Tablo 3.12	Birim kömür bloğu satış fiyatı 110 TL için elde edilen sonuçlar .....	44
Tablo 4.1	T.K.İ. Yatağan-Turgut kömür madeni nihai ocak sınır tespiti için yapılan çalışmanın toplu sonuçları .....	81

# BÖLÜM BİR

## GİRİŞ

### 1.1 Genel Bilgiler

Madenlerin çıkarılmasında genel olarak açık işletme madenciliği, yer altı madenciliği ve ikisinin birlikte kullanıldığı yöntemler kullanılmaktadır. Hangi yöntemin seçileceği bir takım teknik ve ekonomik parametrelerin kıyaslanması sonucu belirlenmektedir. Açık işletme madenciliği, iş güvenliği, tenör kontrolü, cevher kazanma verimi, ekonomiklik, üretim yöntemi esnekliği gibi bir çok açıdan yer altı madenciliğinden avantajlıdır.

Açık işletme madenciliği, cevherin üzerindeki tüm örtü kaldırılarak cevhere ulaşma mantığıyla yapılmaktadır. Artan derinlikle birlikte yapılan dekapaj miktarı artmakta ve derinlere inildikçe ekonomikliğini kaybetmektedir. Gelişen teknoloji ile birlikte ekonomik olarak ulaşılacak derinlik miktarı artmaktadır.

Açık işletme planlamasının en önemli adımlarından bir tanesi nihai ocak sınırının tespit edilmesidir. Optimum nihai ocak sınırı, elde edilecek kar değerinin maksimize edilmesine dayanmaktadır. Ocağın genişliği, uzunluğu ve derinliği, cevher hazırlama tesisinin büyüklüğü ve yeri, açılacak yollar, döküm sahasının yeri, örtü kazı oranı, ocağın ömrü, işletilebilir rezerv ve dekapaj miktarı, üretim planlaması gibi kavramların hesaplanması ancak nihai ocak sınırının tespitinden sonra mümkündür.

Optimum nihai ocak sınırının tespitinde bir çok parametre ve kısıtlamalar etkilidir. Bu işlemi elle yapmak hem uzun süreler almakta, hem de çeşitli hatalara sebep olmaktadır. Günümüzde nihai ocak sınırı bilgisayarlar sayesinde, çeşitli algoritmalar kullanılarak yapılmaktadır. Bu algoritmalar iki gruba ayrılmaktadır. Birinci grupta matematiksel olarak doğruluğu kanıtlanmış ve kesin çözüm veren algoritmalar, ikinci grupta ise kesin çözümden kabul edilebilir ölçüde fedakarlık ederek madencilik açısından daha uygulanabilir kısıtlamalarda ve parametrelerde çalışabilen, aynı zamanda çözüme ulaşması çok daha kısa süren sezgisel algoritmalar

yer almaktadır. Kesin çözüm veren algoritmalara Lerchs-Grossmann, doğrusal programlama, şebeke yöntemleri örnek olarak verilebilir. Sezgisel olarak çalışan algoritmalara ise Korobov algoritması, parametrik analiz ve hareketli koni algoritması örnek olarak verilebilir.

## **BÖLÜM İKİ**

### **BİLGİSAYAR DESTEKLİ AÇIK İŞLETME NİHAİ OCAK SINIRI TESPİTİ**

#### **2.1 Optimum Açık İşletme Sınırı Mantığı**

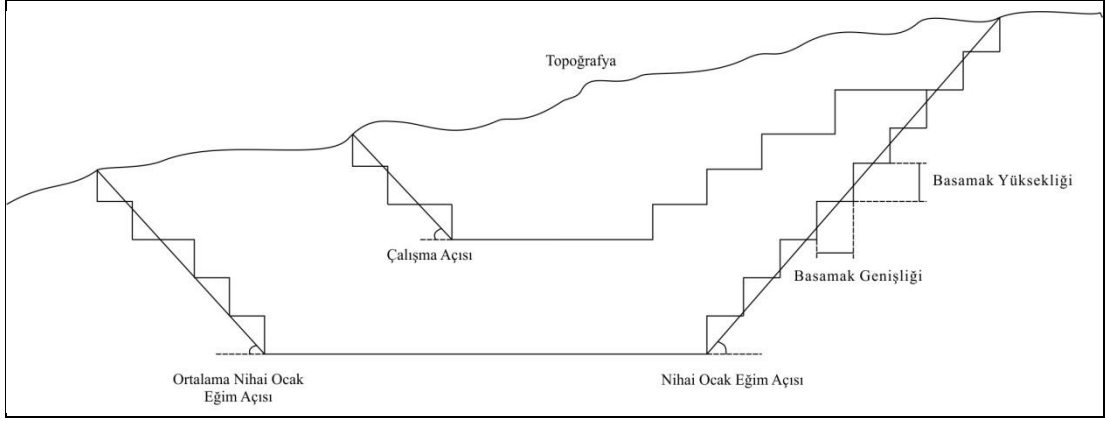
##### **2.1.1 Giriş**

Nihai ocak sınırının belirlenmesinde bir takım teknik ve ekonomik parametreler etkilidir. Bunlar; jeoloji, tenör, topoğrafya, üretim hızı, basamak yüksekliği, ocak şevleri, üretim ve zenginleştirme maliyetleri, satış ve pazarlama ve sınır tenördür.

Optimum açık işletme sınırı genellikle blok model kullanılarak tespit edilmektedir. Madencilik operasyonlarının gerçekleştirileceği saha, belirlenen boyutlardaki blokların bir araya gelmesiyle oluşan bir blok modelden meydana geldiği varsayılmaktadır. Her blok bulunduğu bölgenin koordinatlarını taşımaktadır. Blokların boyutlarının ve değerlerinin belirlenmesinde teknik ve ekonomik parametrelerin hesaplanması gerekmektedir.

##### **2.1.2 Teknik Parametreler**

Açık işletme madenciliğinde üretim, oluşturulan seviyelerin sırasıyla üretilmesi şeklinde gerçekleştirilmektedir. Bu seviyelerin üretiminden sonra oluşacak nihai ocak, oluşturulan şevlerle konik bir hal alır. Seviyelerin kalınlığı ve şevlerin açısı güvenli bir üretimin gerçekleştirilmesi açısından sahanın jeolojisine bağlı parametrelere göre belirlenmektedir. Şekil 2.1’de açık işletme madenciliğinin örnek kesit görünüşü gösterilmektedir.



Şekil 2.1 Açık işletme madenciliğinin kesit görünüşü (Onur, 1992)

Açık işletme madenciliğinde üretim, merdiven şeklinde basamaklar oluşturularak tabakalar halinde yapılmaktadır. Her bir tabakanın yüksekliğini oluşturan dikey mesafeye basamak yüksekliği denir. Basamak yüksekliği, genellikle kaya ve zeminin kazılabilirliğine bağlı olarak seçilen makina ekipmanın güvenli üretim yapabileceği maksimum yüksekliğe bağlı olarak seçilir (Khalokakaie, 1999, s. 4).

Dowd (1994) blokların yüksekliğini, “Oluşturulacak blok modeldeki blokların yüksekliği genellikle ocağın basamak yüksekliğine eşit olacak şekilde seçilmelidir.” şeklinde tanımlamaktadır (Dowd, 1994).

Dowd (1994) blokların yatay uzunluğunu, “Blok modeldeki blokların yatay uzunluğu, genel bir kural olarak ortalama örnek açıklığının üçte birinden az olmamalıdır.” şeklinde tanımlamaktadır (Dowd, 1994).

Basamak genişliği, delik delme makinası, yükleyici ve kamyon gibi iş makinalarının boyutlarına, genel şev açısının ve basamak şev açısının büyüklüğüne ve de iş organizasyonuna bağlıdır (Köse ve diğer., 2009, s. 78).

Cevherin yerüstü veya yeraltı işletme yöntemi ile üretilmesini belirleyen en önemli faktör, kaldırılacak örtü tabakasının miktarıdır. Madencilikte bu faktör örtü kazı oranı ile ifade edilir. Bu oran cevherin üzerini açmak için kaldırılan örtü

miktarının, üretilen cevhere oranını verir ve genel olarak m<sup>3</sup>/ton olarak veya ton/ton birimleriyle ifade edilir (Köse ve diğer., 2009, s. 46).

Sınır dekapaj oranlarının belirlenmesinden sonra, nihai ocak eğiminin belirlenmesi gerekmektedir. Eğimin değeri çok kritik bir faktör olmakla beraber, bunun özellikle ocak planlamasının ilk aşamalarında belirlenmesi oldukça güç olmaktadır. Dekapaj oranını minimize etmek için, eğim olabildiğince dik alınmalıdır (Köse ve diğer., 2009, s. 78).

### **2.1.3 Ekonomik Parametreler**

En önemli ekonomik parametrelerin başında sınır tenör gelmektedir. Sınır tenör, bir cevher bloğunun cevher ya da dekapaj olarak nitelendirilmesinde kullanılmaktadır. Bir cevher yatağının ekonomik değer taşıyan en düşük tenörüne sınır tenör denilmektedir (Köse ve diğer., 2009, s. 78). Aşağıdaki eşitlikte sınır tenörün matematiksel ifadesi yer almaktadır (2.1).

$$c = (p-k) y g - x h - m - f T \quad (2.1)$$

burada:

- c: Birim cevher için nakit akışı
- p: Birim cevherin fiyatı
- k: Birim cevherin satış maliyeti /
- g: Cevherin ortalama tenörü
- h: Birim cevherin işlem maliyeti
- m: Birim cevherin kazı maliyeti
- f: Yıllık zaman maliyeti
- T: Cevherin elden çıkarılması için geçen süre
- y: Kazanım verimi

Sınır tenör, bu eşitliği sıfır yapan tenör değeridir (Onur, 1992, s. 10).

Ayrıca, ekonomik parametre olarak sermaye ve işletme maliyetlerinden de söz edilmelidir.

## 2.2 Optimum Açık İşletme Sınırı Tespit Yöntemleri İle İlgili Yapılan Geçmiş Çalışmalar

### 2.2.1 İki Boyutlu Lerchs-Grossman Algoritması

Bu yöntem, 1965 yılında Lerchs ve Grossmann tarafından geliştirilmiştir (Lerchs ve Grossmann, 1965). Nihai ocak sınırını, grafik teorisiyle maksimum kar değerini bularak vermektedir. Yöntemi üç boyutlu blok modelde de uygulamak mümkündür. Geçmişte değişen şev açıları sonu verecek şekilde uygulanması açısından bir çok çalışma yapılmıştır. Matematiksel olarak doğruluğu kanıtlanmış bir yöntemdir. Özellikle yüksek blok sayılarında sonuca ulaşması önemli ölçüde zaman almaktadır. Ayrıca değişen blok boyutlarında ve şev açıları uygulanması bir takım sıkıntıları da beraberinde getirmektedir.

İki boyutlu olarak yöntemin uygulanması aşağıda anlatılmaktadır. Şekillerdeki negatif değerler dekapaj maliyetlerini, pozitif değerler ise cevher bloğunun çıkarılması durumunda elde edilecek net karı ifade etmektedir. Şekil 2.2’de yöntemin uygulandığı kesit görüş verilmektedir.

i/j	1	2	3	4	5	6	7
1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
2	-2	-2	-2	+3	-2	+3	-2
3	-3	-3	+6	-3	-3	-3	-3

Şekil 2.2 İki boyutlu Lerchs-Grossmann algoritması için uygulama matrisi

İlk olarak Şekil 2.2’de verilen uygulama matrisinin soluna ve üstüne ek bir sütun açılır ve bu bloklara sıfır değeri atanır. Şekil 2.3’te ek sütunların açılmış ve sıfır değerleri atanmış hali gösterilmektedir.

i/j	1	2	3	4	5	6	7
	0	0	0	0	0	0	0
1	0	-1	-1	-1	-1	-1	-1
2	0	-2	-2	+3	-2	+3	-2
3	0	-3	-3	+6	-3	-3	-3

Şekil 2.3 İki boyutlu Lerchs-Grossmann algoritması uygulamasında sıfır sütunlarının eklenmesi

İkinci adımda Şekil 2.4'te verilen matriste her blok için, kendisi dahil üstünde kalan blokların değerleri toplamı ilgili bloğun kümülatif değeri olarak atanır. Şekil 2.4'te kümülatif toplamlar sonucu elde edilen matris gösterilmektedir.

i/j	1	2	3	4	5	6	7
	0	0	0	0	0	0	0
1	0	-1	-1	-1	-1	-1	-1
2	0	-3	-3	+2	-3	+2	-3
3	0	-6	-6	+3	-1	-6	-6

Şekil 2.4 İki boyutlu Lerchs-Grossmann algoritması uygulamasında kümülatif toplamlar sonucu elde edilen matris

Üçüncü adımda Şekil 2.4'te verilen kümülatif toplam matrisinde, en sağ üstteki bloktan başlayarak, sırasıyla sütunlardaki blokların bir sol üstündeki, bir solundaki ve bir sol altındaki blokların değerleri kontrol edilerek bu üç bloktan en büyük değerinin olduğu bloğu gösterecek şekilde oklar çizilmelidir. Şekil 2.5'te okların çizilmesi gösterilmektedir.

i/j	1	2	3	4	5	6	7
0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	-1	-1	-1	-1	-1	-1
2	0	-3	-3	-3	+2	-3	+2
3	0	-6	-6	+3	-1	-6	-1

Şekil 2.5 İki boyutlu Lerchs-Grossmann algoritması uygulamasında okların çizilmesi

Dördüncü adımda en sol üstteki bloktan başlayarak, ilgili bloğa ait okun gösterdiği değer bloğa atanmalıdır. Okların gösterdiği değerlerin ilgili bloklara atanması Şekil 2.6'da gösterilmektedir.

i/j	1	2	3	4	5	6	7
0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	-1	-1	-1	-1	0	+1
2	0	-3	-4	-4	+1	-2	+2
3	0	-6	-9	-1	-2	-5	-3

Şekil 2.6 İki boyutlu Lerchs-Grossmann algoritması uygulamasında okların gösterdiği değerlerin bloklara atanması

Beşinci ve son adımda, okların gösterdiği değerler atandıktan sonra oluşan matrisin ilk satırındaki en büyük değer, optimum ocağın kar değerini vermektedir. Örnekteki değer (1,7) bloğundaki +1 değeridir. Ayrıca bu değerden başlayarak çizilen okların takip edilmesi suretiyle nihai ocak sınırına da ulaşmak mümkündür. Şekil 2.7'de örneğe ait nihai ocak sınırı verilmektedir.

i/j	1	2	3	4	5	6	7
1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
2	-2	-2	-2	+3	-2	+3	-2
3	-3	-3	+6	-3	-3	-3	-3

Şekil 2.7 İki boyutlu Lerch-Grossmann algoritması uygulmasında elde edilen nihai ocak sınırı

### 2.2.2 Şebeke Yöntemi

Khalokakaie (1999) tarafından şebeke yöntemi, “Yöneylem araştırmalarında tipik problemlerin çözümünde sıkça kullanılan bir yöntemdir.” şeklinde tanımlanmaktadır. Bu yöntemi nihai ocak sınırının belirlenmesinde de kullanmak mümkündür. Şebeke, kaynak ve uçbirim noktası arasındaki blokların birleştirilmesiyle oluşturulmaktadır. Cevher blokları çizilen yaylarla kaynak noktasına bağlanmaktadır. Dekapaj blokları ise aynı şekilde çizilen yaylarla uçbirim noktasına bağlanmaktadır. Ayrıca, her cevher bloğu, genel şev açısı kısıtlamasını yerine getirmek suretiyle üzerinde kalan dekapaj bloklarına çizilen yaylarla bağlanmaktadır. Oluşturulan şebekedeki blokların maksimum kümülatif değerinin analiz edilmesiyle optimum sonuç elde edilmektedir. (Khalokakaie, 1999, s. 21)

### 2.2.3 Korobov Algoritması

Korobov algoritması, Rus matematikçi olan Korobov (1974) tarafından geliştirilmiştir (Korobov, 1974). Gerçek sonuçtan sapmalar gözlemlendiği için uygulanma şansı bulamamıştır. Yöntem, gerek hızlı sonuç üretme, gerekse değişen şev açılarında çalışma açısından başarılıdır. Yöntem, blokların yüzeyden başlayarak tüm pozitif değere sahip bloklardan istenilen yöndeki şev açısı uygulanarak ters bir koni oluşturulması yoluyla gerçekleşmektedir. İncelenen bloğun çıkarılması için, ona ait koni içinde kalan tüm bloklar kaldırılmalıdır.

Onur (1995) yöntemi, “Oluşturulan koniler içerisindeki bloklara pozitif bloklar tarafından ödeme yapılır.” şeklinde tanımlanmaktadır. Ödeme işlemi sonunda pozitif

bloğun (ekonomik değere sahip blok) değeri ödeme miktarı kadar azalır, ödenen blok değeri 0 olarak değişir. Eğer araştırma konisi içerisindeki tüm negatif blok değerlerine ödemeler yapıldıktan sonra, temel blok pozitif olarak kalabiliyor ise bu temel blok ile araştırma konisi üzerindeki tüm bloklar araştırmadan çıkarılır. Algoritma en üstteki bloklardan, çıkartılan bloklar olmadan araştırmaya devam eder. Araştırma, bölgede pozitif blokların tümü kaldırılıncaya kadar devam eder. Her defasında pozitif bir değer ekleneceği için en son nihai sınır maksimum karı verir. (Onur, 1995)

#### ***2.2.4 Düzeltilmiş Korobov Algoritması***

Onur (1995) yayınladığı çalışmayla Korobov algoritmasında mevcut olan mantık hatasını düzeltmiştir. Bu hata, blokların kesişme durumunda pozitif blokların ilk olarak hangi bloklara ödeme yapması gerektiğiyle ilgilidir. Onur (1995), pozitif bloklar üzerinde inşa edilen koniler eğer kesişirler ise ödeme önce ortak olmayan bölgeye yapılması gerektiğini, böylece öncelikle kesişen bloklar tespit edilip, sırası ile birbirlerini kesen bölgeler bulunup ödemelerin buralara yapılması gerektiğini açıklamıştır (Onur, 1995).

#### ***2.2.5 Dinamik Programlama Algoritmaları***

Optimum açık işletme sınırlarını bulabilmek için kullanılan dinamik programlama tekniği, grafik teorisinin kullanılması ile Lerchs ve Grossman (1965) tarafından geliştirilmiştir. Bu teknik, iki boyutlu dinamik programlama tekniği olup, bir kesit üzerindeki optimum nihai sınırı bulmaktadır. Üç boyutlu optimum nihai sınırı bulmak için kesitler yan yana getirildiğinde, kesitler arasında uyumsuzluk olmakta ve rütuş yapmak gerekmektedir. Bu da elde edilen sınırın, optimumdan uzak bir sınır olmasına neden olmaktadır (Shenggui ve Starfield, 1985).

Üç boyutlu dinamik programlama tekniği Johnson ve Sharp (1971) tarafından geliştirilmiştir (Johnson ve Sharp, 1971). Bu teknik, iki boyutlu dinamik programlama tekniğinin genişletilmiş hali olup, iki kısımdan meydana gelmektedir.

İlk kısımda, enine kesitler üzerindeki her kat için bulunmuş olan sınırlar içinde kalan bloklardan elde edilen toplam net değer, uzunlamasına kesiti oluşturmaktadır. İkinci kısımda ise, iki boyutlu dinamik programlama tekniği ile uzunlamasına kesit üzerinde optimum nihai sınır üzerinde yapılması gereken rütuş çalışmasının çok az oluşu ve kesitler üzerinde elde edilen nihai sınırların birbirleriyle büyük bir uyum içinde olması, bu tekniği diğer tekniklere göre avantajlı duruma getirmekte ve bu nedenle yaygın olarak kullanılmasını sağlamaktadır (Kim, 1978).

Yalçın (1991), üç boyutlu dinamik programlama algoritmasında bazı değişiklikler yapmıştır. Bu değişikliklerden ilki, optimum açık işletme sınır konturlarının bulunması işlemine başlama noktasının saptanmasıdır. Yapılan diğer bir değişiklik ise kesit üzerindeki her kat için optimum nihai sınırın bulunması sırasında açık işletme sınırının daima yer yüzüne ulaşmasının sağlanmış olmasıdır (Yalçın, 1991).

#### ***2.2.6 Parametrik Analiz***

Normal ekonomik koşullar altında, madencilik projesinde net bugünkü değeri maksimize etmek için yüksek tenörlü cevherler mümkün olduğunca önce çıkarılmalıdır. Bu yüzden, optimum üretim planlamasında kullanılan ocaklar için öncelik en yüksek metal içeren ocaklar olmalıdır. Maksimum metal içeren ocağın hacmi “V” ise, bu ocak aynı hacimdeki diğer ocaklardan daha fazla metal içermelidir (Wang ve Sevim, 1995). Wang (1992) normal pazar koşullarında, optimum üretim planlamasını bulmak için bu ocakların maksimum metal içeriğine göre sıralanarak çıkarılması gerekliliğini vurgulamıştır (Wang, 1992).

Ocak sınırı bulan bu algoritma, geometrik kısıtları sağlayan toplam “M+N” adet blok içeren, en az metal içeren “N” adet ocakların elenmesiyle, “M” adet blok içeren ocaklardan maksimum metal içeren ocağı tespit etme fikri üzerine kurulmuştur (Wang ve Sevim, 1995).

### ***2.2.7 Hareketli Koni Algoritması***

Tez kapsamında geliştirilen algoritma hareketli koni mantığına dayanması sebebiyle Bölüm 3’te hareketli koni algoritmalarına ayrıntılı olarak değinilmektedir.

## BÖLÜM ÜÇ

### TEZ KAPSAMINDA HAREKETLİ KONİ ALGORİTMASININ GELİŞTİRİLMESİNE YÖNELİK YAPILAN ÇALIŞMALAR

#### 3.1 Giriş

Hareketli koni algoritması kolay programlanabilen ve sonuca en hızlı ulaşan algoritmalarındandır. Ayrıca, madencilik operasyonları açısından çeşitli şev açılarında çalışabilme imkanına sahiptir. Fakat günümüzde tam olarak doğru sonucu verebilen bir hareketli koni algoritması geliştirilememiştir. Bu sebeple bir çok düzeltme yapılması gerekmektedir.

#### 3.2 Geçmiş Çalışmaların Değerlendirilmesi

##### *3.2.1 Hareketli Koni Algoritması*

Bu yöntem, ilk olarak Carlson ve diğer. (1996) tarafından tasarlanmıştır (Carlson, Erickson, O'Brain ve Pana 1996). Her pozitif blok için koniler oluşturularak koni içindeki kümülatif toplam hesaplanmaktadır. Eğer koninin kümülatif değeri pozitif ise koni içinde kalan tüm bloklar üretilmiştir. Bu işlem, en üst seviyeden başlayarak en aşağıdaki kata kadar pozitif blokları arama ile başlar ve pozitif değerli koni kalmayana dek devam eder. Algoritmanın basit olmasına ve kolay anlaşılabilirliğine rağmen, yöntem, optimum ocak sınırını doğru olarak hesaplayamamaktadır. Örnek olarak bu yöntem, Şekil 3.1'deki ekonomik blok modeli ele alırsak, 45 derecelik genel şev açısında, Tablo 3.1'de gösterildiği gibi gerçek optimum ocak sınırını bulamamaktadır. Şekil 3.2'de beklenen nihai ocak sınırı verilen örneğin gerçek çözüm değeri 2'dir (Zeyni, Kakaie ve Yousefi, 2011).

i/j	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3
2	-4	7	-4	6	-4	-4	-4	8	-4
3	-5	-5	-5	15	-5	-5	-5	-5	-5

Şekil 3.1 İki boyutlu ekonomik blok model (Zeyni ve diğer, 2011)

i/j	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3
2	-4	7	-4	6	-4	-4	-4	8	-4
3	-5	-5	-5	15	-5	-5	-5	-5	-5

Şekil 3.2 Gerçek optimum ocak sınırı (Zeyni ve diğer, 2011)

Tablo 3.1 Şekil 3.1'deki örneğin koni değerleri (Zeyni ve diğer, 2011)

Adım	Blok No	Blok Değeri	Koni Değeri	Üretilbilir mi?
1	(2,2)	+7	-2	Hayır
2	(2,4)	+6	-3	Hayır
3	(2,8)	+8	-1	Hayır
4	(3,4)	+15	-2	Hayır

### 3.2.2 Hareketli Koni II Algoritması

Hareketli koni II algoritması, Wright tarafından 1999 yılında sunulmuştur (Wright, 1999). Her katta cevher bloklarının ilk değerlerinin hesaplanması ve blok modelden en yüksek değere sahip koninin üretilmesi dışında, hareketli koni yaklaşımına benzerlik göstermektedir. Bir sonraki kümülatif ocak değeri hesaplanmakta ve işlem kalan cevher blokları için uygulanmaktadır. Daha sonra en yüksek kümülatif ocak değerine sahip koniler üretilerek optimum ocak sınırına dahil edilmektedirler. Şekil 3.1'de gösterilen blok model için, genel şev açısı 45 derecedeyken, Tablo 3.2 ve Şekil 3.3'te -3 değerli olarak tanımlanmıştır. Şekil 3.2'de gösteriliği gibi gerçek optimum ocak sınırının değeri +2'dir (Zeyni ve diğer, 2011).

Tablo 3.2 Şekil 3.3'te gösterilen kümülatif ocak değeri (Zeyni ve diğer, 2011)

Kat	Blok No	Blok Değeri	Koni Değeri	Kümülatif Değeri	Üretilebilir mi?
2	(2,8)	+8	-1	-1	Evet
	(2,2)	+7	-2	-3	Hayır
	(2,4)	+6	0	-3	Hayır
3	(3,4)	+15	-2	-2	Evet

i/j	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3
2	-4	7	-4	6	-4	-4	-4	8	-4
3	-5	-5	-5	15	-5	-5	-5	-5	-5

Şekil 3.3 Hareketli koni II algoritması ile bulunan optimum ocak sınırı (Zeyni ve diğer, 2011)

### 3.2.3 Değiştirilmiş Hareketli Koni II Algoritması Yöntem 1

Bu algoritma, en yüksek kümülatif ocak değeri pozitif iken blokların optimum ocak sınırına dahil edilmesi dışında “Hareketli Koni II” yöntemiyle aynıdır. Şekil 3.1’de verilen blok model için, bu yöntem ile bulunan ocakta, Tablo 3.3’te gösterildiği gibi hiç bir blok üretilmeyecektir. Fakat Şekil 3.2’de gösterildiği gibi, gerçek optimum değer +2’dir (Zeyni ve diğer, 2011).

Tablo 3.3 Hareketli koni II algoritması yöntem 1 ile bulunan kümülatif ocak değerleri (Zeyni ve diğer, 2011)

Kat	Blok No	Blok Değeri	Koni Değeri	Kümülatif Değeri	Üretilebilir mi?
2	(2,8)	+8	-1	-1	Hayır
	(2,2)	+7	-2	-3	Hayır
	(2,4)	+6	0	-3	Hayır
3	(3,4)	+15	-2	-2	Hayır

### 3.2.4 Değiştirilmiş Hareketli Koni II Algoritması Yöntem 2

Bu yöntem, Değiştirilmiş Hareketli Koni II Algoritması Yöntem 1'in geliştirilmiş halidir. İkinci yöntemde bütün katlar bir arada değerlendirilmektedir. Başka bir deyişle, bütün cevher bloklarının koni değerleri ekonomik olarak değerlendirilmekte, en yüksek değerli koni çözümün bir parçası sayılmakta ve kümülatif ocak değeri hesaplanmaktadır. Bu işlem, blok modelde pozitif blok kalmayana kadar devam etmektedir. Son olarak, pozitif değerli ve en yüksek kümülatif değere sahip blok ve ondan önceki tüm bloklar optimum ocak tespiti probleminin çözümünün bir parçası sayılmaktadır. Tablo 3.4 ve Şekil 3.4'te tanımlandığı gibi, bu algoritma kullanılarak Şekil 3.1'de verilen blok model için üretilen çözümde bulunan ocak değeri +1'dir (Zeyni ve diğer, 2011).

Tablo 3.4 Hareketli koni II algoritması yöntem 2 ile bulunan kümülatif ocak değerleri (Zeyni ve diğer, 2011)

Aşama	Blok No	Blok Değeri	Koni Değeri	Kümülatif Değeri	Üretilbilir mi?
1	(2,8)	+8	-1	-1	Evet
2	(2,2)	+7	-2	-3	Evet
3	(3,4)	+15	+4	+1	Evet

i/j	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3
2	-4	7	-4	6	-4	-4	-4	8	-4
3	-5	-5	-5	15	-5	-5	-5	-5	-5

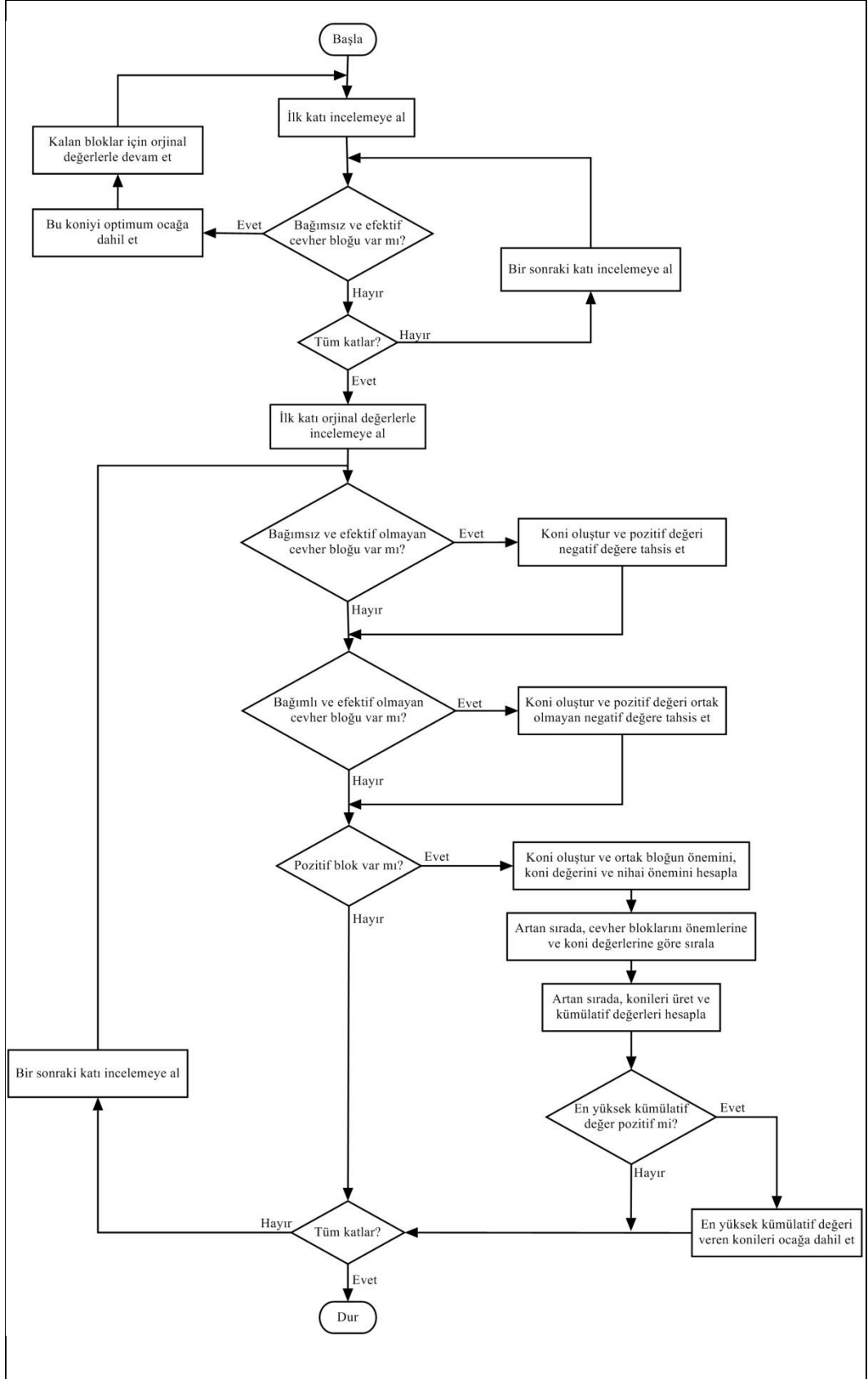
Şekil 3.4 Hareketli koni II algoritması yöntem 2 ile bulunan optimum ocak sınırı (Zeyni ve diğer, 2011)

### ***3.2.5 Hareketli Koni III Algoritması***

Bu algoritma, tez kapsamında geliştirilen algoritmanın temelini oluşturması ve yapılan değişikliklerin detaylı incelenebilmesi açısından ayrıntılı olarak ele alınacaktır.

Hareketli Koni II yöntemi ve yöntemin düzeltilmiş versiyonlarında hareketli koni yönteminin bir takım zayıflıklarının üstesinden gelinmiş olmasına rağmen, bu yöntemler, bazı durumlarda optimum çözümü bulmakta başarısız olmakta ve bu yüzden yeni bir yöntemin geliştirilmesi söz konusu olmaktadır.

Genelde, ekonomik blok modeldeki bloklar bağımlı ve bağımsız bloklar olmak üzere iki gruba ayrılabilirler. İlgili cevher bloklarından oluşturulan koniler ile diğer cevher bloklarının oluşturulan konilerle herhangi ortak bir bloğu bulunmayan blokları bağımsız, aksi takdirde bağımlı blok olarak sınıflandırılmaktadır. Ayrıca bu gruplardaki bloklar, kendilerinden oluşturulan konilerin değerlerine göre efektif ve efektif olmayan olarak sınıflandırılmaktadır. Efektif bloklar pozitif değere, efektif olmayan bloklar ise negatif değere sahiptir. Optimum ocak sınırı, efektif olduğu belirlenen bloklardan oluşturulan konilere dayanarak tespit edilmektedir. Hareketli koni III yöntemine ait akım şeması Şekil 3.5'te gösterilmiştir.



Şekil 3.5 Hareketli koni III algoritması akım şeması (Zeyni ve diğer., 2011)

Algoritmanın adımları:

Adım 1: Algoritma, her üretilen koniden sonra arama işleminin kalan bloklar için ilk kattan itibaren başlamasının dışında hareketli koni algoritması ile aynıdır. Bu adımın amacı, ekonomik blok modeldeki bağımsız ve efektif blokları tespit etmektir.

Adım 2: Ekonomik blok modelde ilk kattan diğer katlara doğru cevher bloğu araması yapılmaktadır. Eğer herhangi bir katta cevher bloğu tespit edilirse, diğer cevher blokları bu kattan ilk kata kadar değerlendirilmelidir. Bu adımın amacı, katların birbirleri üzerindeki etkilerini kontrol etmektir.

Adım 3: Tüm cevher bloklarından teknik kısıtlamalar göz önünde bulunarak koniler oluşturulmalı, daha sonra bağımlı ve bağımsız bloklar tespit edilmelidir.

Adım 4: Oluşturulan koniler sonrasında pozitif değeri kalmayan, efektif olmayan ve bağımsız bloklar tespit edilmelidir. Eğer pozitif değerler negatif değerli bloklara tahsis edildiyse, bu blokların optimum ocak sınırındaki etkileri kaldırılmalıdır.

Adım 5: Oluşturulan koniler sonrasında pozitif değeri kalmayan, efektif olmayan ve bağımlı bloklar tespit edilmelidir. Eğer pozitif değerler, ortak olmayan ve negatif bloklara tahsis edildiyse, bu blokların optimum ocak sınırındaki etkileri kaldırılmalı ya da azaltılmalıdır.

Adım 6: Önceki adımlar uyguladıktan sonra geriye kalan efektif ve bağımlı bloklar tespit edilmelidir. Optimum ocak sınırının bulunması:

Adım 6.1: Oluşturulan her koni için ortak bloklar tanımlanmalı ve sonra ağırlıkları hesaplanmalıdır. Her bloğun ağırlığı, kendisini çevreleyen konilerin sayısına eşittir.

Adım 6.2: Konilerin ağırlığı hesaplanmalıdır. Konilerin ağırlığı, koninin çevrelediği ortak blokların ağırlıklarının toplamıdır.

Adım 6.3: Her koni için koni değerleri hesaplanmalıdır.

Adım 6.4: Her koni için nihai önem hesaplanmalıdır. Nihai önem, koni ağırlığının, koni değerinin mutlak değerine oranıdır.

Adım 6.5: Cevher blokları, nihai önemlerine göre sıralanmalı, sonra koni değerlerine göre azalan sırada sıralanmalı ve ilk cevher bloğu için farz edilen üretim işlemi gerçekleştirilmelidir.

Adım 6.6: İlk bloğun üretilmesine dayanarak, farz edilen üretim işlemi diğer bloklar için devam edilmelidir. Bu adımda, diğer konilerin değerleri değerlendirilmeli ve koni değeri en yüksek olan koni için farz edilen üretim işlemi gerçekleştirilmelidir. Her farz edilen üretim işleminin kümülatif değeri hesaplanmalıdır.

Adım 6.7: En yüksek ve pozitif kümülatif değer bulunmalıdır ve ilk koniden bu koniyeye kadar olan bloklar optimum ocak sınırı olarak tanımlanmalıdır. Sonra, orjinal blok model kullanılarak, sonraki katlar için başka bir optimum ocak sınırı aranmalıdır. Eğer en yüksek kümülatif değer pozitif değil ise, bu kata kadar optimum ocak sınırının olmadığı anlamındadır ve arama işlemi bir sonraki kattan devam etmelidir. Hareketli koni III algoritması, kolay bir örnek olan Şekil 3.1'de gösterilen ekonomik blok modele uygulanarak en iyi şekilde açıklanabilir. Aşağıda gösterildiği gibi, algoritma, gerçek optimum ocak sınırı olan +2 (Şekil 3.2) değerli nihai ocak üretmektedir.

a) Cevher bloğu bulunan ilk kat ikinci kattır ve algoritmanın uygulandığı bu kat için adımlar:

Adım 1: Efektif cevher blokları tespit edilmelidir. Tablo 3.1'de görüldüğü gibi, tüm cevher bloklarından üretilen koniler negatif değerlidir, blok modelde bağımsız ve efektif blok yoktur.

Adım 2: Şekil 3.6’da gösterildiği gibi, blok modelden bağımsız ve efektif olmayan bloklar kaldırılmalıdır.

i/j	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	-3	-3	-3	-3	-3	-3	0	0	-1
2	-4	7	-4	6	-4	-4	-4	0	-4

Şekil 3.6 Bağımsız ve efektif olmayan cevher bloklarının kaldırılması

Adım 3: Şekil 3.7’de gösterildiği gibi, bağımlı ve efektif olmayan blokların etkisi azaltılmalı ya da kaldırılmalıdır.

i/j	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0	0	-3	0	0	-3	0	0	-1
2	-4	1	-4	0	-4	-4	-4	0	-4

Şekil 3.7 Bağımlı ve efektif olmayan blokların etkilerinin azaltılması ya da kaldırılması

Adım 4: Ortak blokların önemi belirlenmelidir. Şekil 3.7’ye göre, sadece bir cevher bloğu kalmaktadır. Şekil 3.8’de gösterildiği gibi, burada ortak blok yoktur ve bu koninin nihai önem değeri 0’dır.

i/j	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Şekil 3.8 Ortak blokların öneminin belirlenmesi

Adım 5: Koni değeri ve kümülatif değeri -2 olan tek kalan cevher bloğunun üretilmesi farz edilmektedir. Değeri 0’dan az olduğu için, bu koni ocak sınırına dahil değildir. Başka bir deyişle, ikinci kata kadar optimum sınır mevcut değildir. Bu yüzden algoritma, ekonomik blok modelin orijinal değerleriyle devam edecektir.

b) Cevher bloğu bulunan ikinci kat, üçüncü kattadır ve bu kat için algoritma adamları şunlardır:

Adım 6: Efektif cevher blokları tespit edilmelidir. Tablo 3.1’de görüldüğü gibi, blok modelde bağımsız ve efektif blok yoktur.

Adım 7: Şekil 3.9’da gösterildiği gibi, bağımsız ve efektif olmayan cevher blokları kaldırılmalıdır.

i/j	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	-3	-3	-3	-3	-3	-3	0	0	-1
2	-4	7	-4	6	-4	-4	-4	0	-4
3	-5	-5	-5	15	-5	-5	-5	-5	-5

Şekil 3.9 Bağımsız ve efektif olmayan cevher bloklarının kaldırılması

Adım 8: Şekil 3.10’da görüldüğü gibi, bağımlı ve efektif olmayan blokların etkileri azaltılmalı ya da kaldırılmalıdır.

i/j	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0	-3	-3	-3	-3	0	0	0	-1
2	-4	4	0	6	0	-4	-4	0	-4
3	-5	-5	-5	4	-5	-5	-5	-5	-5

Şekil 3.10 Bağımlı ve efektif olmayan blokların etkilerinin azaltılması ya da kaldırılması

Adım 9: Şekil 11’de görüldüğü gibi, ortak blokların önemleri belirlenmelidir.

i/j	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0	2	3	2	2	0	0	0	0
2	0	0	0	2	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Şekil 3.11 Ortak blokların önemlerinin belirlenmesi

Adım 10: Tablo 3.5’te görüldüğü gibi, cevher blokları konilerinin nihai önemlerine göre ve sonra konilerin değerine göre azalan sırada sıralanmalıdır.

Tablo 3.5 Cevher bloklarının azalan sırada sıralanması

Sıra No	Blok No	Blok Değeri	Nihai Önem	Koni Değeri
1	(3,4)	+4	5	-2
2	(2,4)	+6	3	-3
3	(2,2)	+4	2,5	-2

Adım 11: Şekil 3.12’ de gösterdiği gibi, cevher bloklarının farz edilen üretimleri yapılmalıdır.

i/j	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	-3						0	0	-1
2	-4	7				-4	-4	0	-4
3	-5	-5	-5		-5	-5	-5	-5	-5

Şekil 3.12 Farz edilen ilk sınır

Adım 12: Sıralanmış listeden kalan bloklar için en yüksek değer tespit edilmelidir ve kümülatif değerleri hesaplanmalıdır (Tablo 3.6).

Tablo 3.6 Kümülatif değerlerin hesaplanması

Sıra No	Blok No	Blok Değeri	Koni Değeri	Kümülatif Değeri	Üretilbilir mi?
1	(3,4)	+3	-3	-3	Evet
2	(2,2)	+7	4	+1	Evet

Adım 13: Tablo 3.6'yı dikkate aldığımızda, en yüksek kümülatif değer pozitiftir. Bu yüzden ilgili koniler ocağa dahil edilmelidir ve optimum sınır bu değerle birlikte +2'dir (Şekil 3.13). Bu algoritmayla elde edilen sonuç ile dinamik programı ile elde edilen sonuç aynıdır (Zeyni ve diğer, 2011).

i/j	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	-3	-3	-3	-3	-3	-3	0	0	-1
2	-4	7	-4	6	-4	-4	-4	0	-4
3	-5	-5	-5	15	-5	-5	-5	-5	-5

Şekil 3.13 Hareketli koni III algoritması ile bulunan nihai optimum ocak sınırı (Zeyni ve diğer, 2011)

### 3.3 Hareketli Koni Algoritmasının Geliştirilmesine Yönelik Tez Kapsamında Yapılan Çalışmalar

#### 3.3.1 Giriş

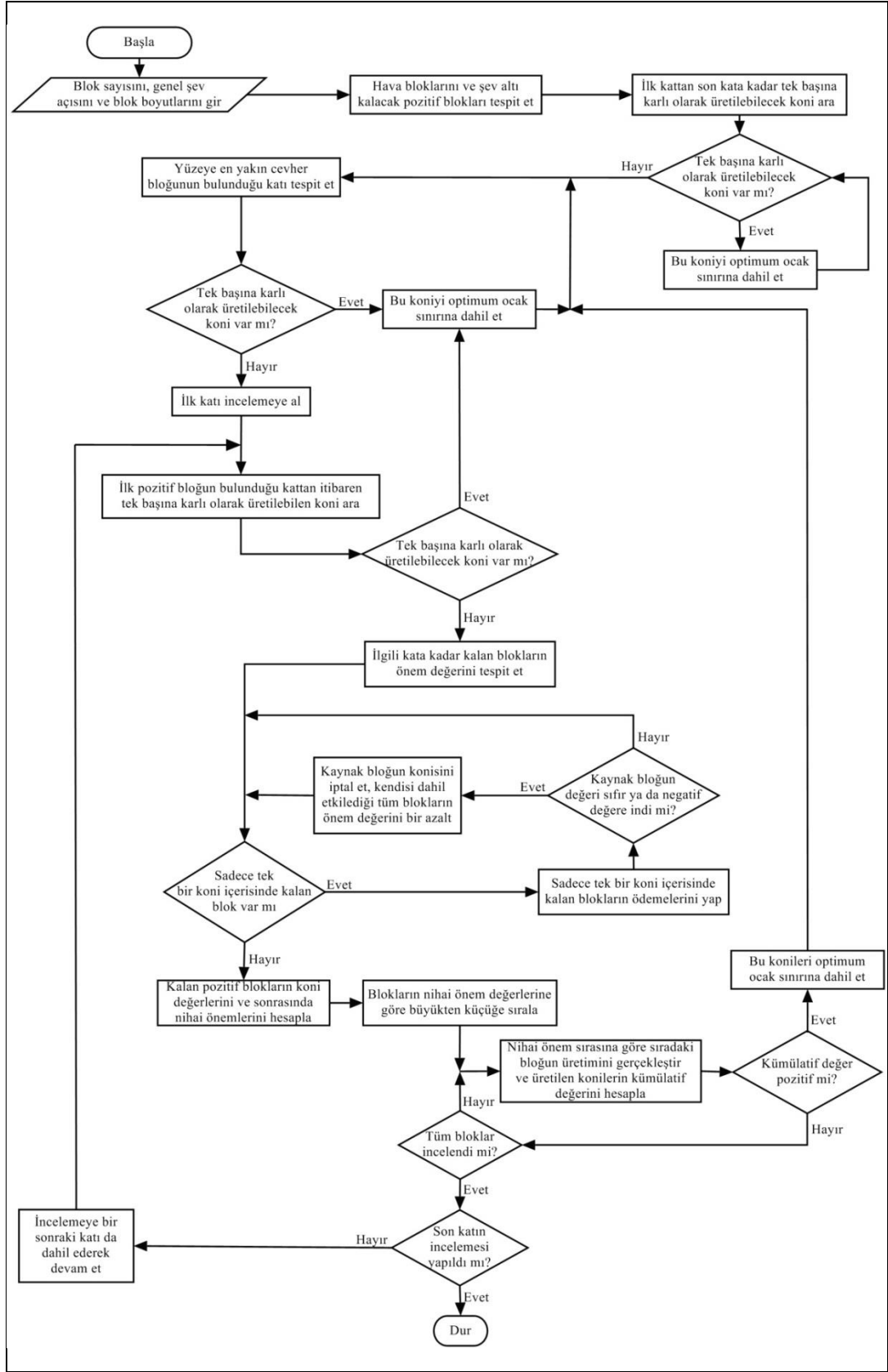
Tez kapsamında optimum nihai ocak sınırı tespiti için bir çok algoritma denenmiştir. Bunlardan bir tanesi olan hareketli koni III algoritmasının program haline getirilmesi aşamasında bir takım yeni fikirler doğmuştur. Hareketli koni III algoritmasında cevher blokları nihai önem sırasına koyulmaktadır. Bu da toplam blok önemlerinin ilgilini cevherin koni değerine oranıdır. Cevher konisi sıfır değerini aldığı payda sıfır olmaktadır ve bu matematikte tanımsız olarak ifade edilmektedir. Bu sorunu çözmek için koni değeri sıfır olduğunda, koniye sıfıra mümkün olduğunca yakın bir negatif değer atanmalıdır. Böylece ilgili cevher bloğun

nihai önem değeri tanımsız olmadan, olması gerektiği öncelik sırasında yer alacaktır. Ayrıca herhangi bir katta karlı bir ocak saptandığında, bir sonraki katta tek başına pozitif değerli koni oluşturabilecek cevher blokları söz konusudur. Bu durumda nihai önem değeri hesaplanırken, bu cevher bloklarının nihai önem sıraları tek başına ekonomik olmayan cevher bloklarının önem değerlerinden gerilere düşebilmektedir. Bu sebeple tek başına ekonomik olan bir koni üretilmesi gerekliken, önem sırasının geride kalması sebebiyle üretilmeme durumunu meydana gelebilmektedir. Bu sorunun çözümü için, herhangi bir katta karlı ocak tespiti söz konusu olduğunda, algoritma tüm katlar için tekrar başa dönmeli ve tek başına karlı olan koniler kazanılıp tekrar önem değeri atanması gerekmektedir. Bir diğer önemli nokta ise kesişen konilerde meydana gelmektedir. Başka bir bloğun konisiyle kesişen bir koninin, ilk olarak kesişim bölgesi dışında kalan bloklara ödemeyi yapması gerekmektedir. Eğer bu ödeme sonucunda koninin değeri sıfır ya da negatif oluyorsa bu koninin kesişim bölgesi için verdiği önem geri alınmalıdır. Bu geri alma durumundan sonra kesişim bölgesindeki bloklar sadece bir koniye ait kalmış olabilir. Bu durumda bu bloklar için kesişim dışında kalan bloklara yapıldığı gibi ödeme yapılmalı ve ilgili cevher bloğunun değerinin sıfır ya da negatif kalma durumu kontrol edilmelidir. Eğer böyle bir durum mevcutsa bu blok için de aynı işlemler söz konusudur ve bu işlem tüm kesişen bölgelerde her blok için tekrarlanmalıdır.

### **3.3.2 Akım Şeması**

Geliştirilen hareketli koni algoritmasına ait akım şeması Şekil 3.14'te gösterilmektedir. Bölüm 3.2.5'te hareketli koni III algoritmasının işleyişinin anlatıldığı örnek, bu bölümde geliştirilen algoritma ile incelenmektedir.

Aşağıda geliştirilen algoritmanın adımları, devamında ise ilgili örneğin geliştirilen algoritma ile çözümü yer almaktadır.



Şekil 3.14 Geliştirilen algoritmanın akım şeması

Adım 1: Blok sayısı, genel şev açısı ve blok boyutları girilmelidir. Bu adımın amacı, optimum ocak sınırı tespitinde kullanılacak bir takım verilerin programa aktarılmasıdır. Bu veriler; blok modeldeki blokların x, y ve z yönündeki toplam blok sayıları, genel şev açısı, bloğun ayrıtları ve blokların ekonomik değerleridir.

Adım 2: Hava blokları ve üretilmesi durumunda şev altı kalacak cevher blokları tespit edilmelidir. Bu adımın amacı, topoğrafya üstünde kalan sıfır değerli bloklar ile sonra üretilmesi muhtemel olan konilerin bloklarının alacağı sıfır değerinin karışmamasıdır. Ayrıca, özellikle düşük şev açılarında analiz yapılması durumunda, blok model dışına taşarak şev altı kalacak cevher bloklarının analiz dışı bırakılması gerekmektedir. Bunun için analiz öncesi bu cevher bloklarının tespit edilmelerinde fayda vardır.

Adım 3: İlk kattan son kata kadar, tek başına karlı olarak üretilebilecek koni aranmalıdır. İlk kattan itibaren her pozitif blok için koniler oluşturulmalı, herhangi pozitif bloğun koni değerinin pozitif olması durumunda ilgili koni üretilmeli ve optimum sınıra dahil edilmelidir. Eğer optimum sınıra dahil edilen koni varsa, işlem ilk kattan itibaren orjinal değerlerle tekrar edilmelidir.

Adım 4: Ocak sınırının son halinden itibaren orjinal değerlerle bu adım uygulanmalıdır. Optimum ocak sınırının bulunması:

Adım 4.1: Son durumda yüzeye en yakın pozitif bloğun katı tespit edilmelidir. Böylelikle adım 4'ün tekrarlanması durumunda pozitif bloğun bulunmadığı ilk katlarda arama yapılmayarak zamandan tasarruf edilecektir.

Adım 4.2: Bu adımın amacı, geriye kalan blokların önem sıralarını tespit ederek en yüksek kümülatif değere göre optimum ocak sınırının tespit edilmesidir. Daha önceki adımlarda tek başına da karlı olan koniler üretildiği için bu ve bundan sonraki adımlarda koniler birbirinin kesişimlerini hesaba kadar değerlendirileceklerdir. Optimum ocak sınırının tespiti için aşağıdaki adımlar uygulanmalıdır. Herhangi bir

adımında karlı ocak tespit edilirse analiz adım 4'ten itibaren ilk kattan başlayarak tekrarlanmalıdır.

Adım 4.2.1: İlk kattan son kata kadar, tek başına karlı olarak üretilebilecek koni aranmalıdır. Adım 3 ile aynı amacı taşımaktadır. Sadece bu adımda analiz yapılan kata kadar olan bloklar incelenerek zamandan tasarruf edilmelidir. İlk kattan itibaren her pozitif blok için koniler oluşturulmalı, herhangi pozitif bloğun koni değerinin pozitif olması durumunda ilgili koni üretilmeli ve optimum sınıra dahil edilmelidir. Eğer optimum sınıra dahil edilen koni varsa, işlem ilk kattan itibaren orjinal değerlerle tekrar edilmelidir.

Adım 4.2.2: İlgili kata kadar, kalan blokların önem değeri tespit edilmelidir. Bu adımın amacı, tüm blokların önem değerlerinin hesaplanmasıdır.

Adım 4.2.3: Sadece tek bir koni içerisinde kalan blok olup olmadığı tespit edilmelidir. Bu adımın amacı, konilerin kesişiminde bulunmayan ve sadece bir koninin içerisinde bulunan blokların tespit edilmesidir. Bu tespit sonucunda, ilgili bloğun bulunduğu koninin kaynak bloğunun karlılık incelemesi yapılacaktır. Eğer kaynak blok, sadece kendi konisi içerisinde kalan blokların ödemesini yaptığında sıfır ya da negatif değer alıyorsa, bu cevher bloğunun üretilmesi, diğer konilere herhangi bir ekonomik destek sağlamayacaktır. Eğer herhangi kaynak bloğun, sadece kendi konisi içerisinde kalan blokların ödemesini yaptığında sıfır ya da negatif değer aldığı tespit edilirse, bu bloğun kendisi dahil, konisi içerisinde önem değeri atadığı blokların önem değeri bir azaltılmalıdır ve sadece tek bir koni içerisinde kalan blok kontrolü tekrar yapılmalıdır.

Adım 4.2.4: Kalan pozitif bloklarının koni değerleri ve sonrasında nihai önemleri hesaplanmalıdır. Bu adımda, her cevher bloğundan oluşturacak konilerin değerleri hesaplanmalıdır. Eğer koni değeri sıfır olursa, ilgili koniye, sıfıra olabildiğince yakın bir değer verilmelidir. Bu işlem sonrasında cevher bloğunun toplam önemi, bu bloğun konisinin değerine oranlanarak nihai önem tespit edilmelidir.

Adım 4.2.5: Bloklar nihai önem değerlerine göre büyükten küçüğe sıralanmalıdır. Bu adımda, üretim sırasının tespit edilebilmesi için, bloklar nihai önem değerlerine göre sıralanmalıdır.

Adım 4.2.6: Nihai önem sırasına göre, sıradaki bloğun üretimi gerçekleştirilmelidir ve üretilen konilerin kümülatif değerleri hesaplanmalıdır. Bu adımda, önemi en büyük olan cevher bloğundan başlayarak, ilgili bloğun konisi oluşturularak üretilmelidir. Sonrasında bu adımda üretilen konilerin kümülatif değeri hesaplanmalıdır.

Adım 4.2.7: Kümülatif değer pozitif olup olmadığı kontrol edilmelidir. Bu adımda, kümülatif değer pozitif olması, karlı bir ocak bulunduğunu işaret etmektedir. Bu durumda kümülatif değeri pozitif yapan cevher blokları üretilmeli, optimum ocak sınırına dahil edilmeli ve adım 4'ten itibaren analiz başa dönerek devam etmelidir. Kümülatif değer negatif olması durumunda, nihai önem sırasındaki bloğun koni değeri hesaplanarak işlem devam etmelidir.

Adım 4.2.8: Tüm blokların incelenip incelenmediği kontrol edilmelidir. Bu adımın amacı, nihai önem sırasındaki blokların hepsinin incelenip incelenmediğini kontrol etmektir. Nihai önem sırasındaki tüm cevher blokları incelendikten sonra optimum ocak tespit edilememişse, adım 4.3'e geri dönülerek, işleme sıradaki katı da dahil ederek analiz tekrar edilmelidir.

Adım 4.2.9: Son katın incelemesinin yapıp yapılmadığı kontrol edilmelidir. Bu adımın amacı, analizin ne zaman biteceğinin tespit edilmesidir. Son katın incelemesi yapıldığında, program optimum ocak sınırını raporlayarak sona ermelidir.

Bölüm 3.2.5'de de değinilen, Zeyni ve diğerleri (2011) tarafından verilmiş olan örnek iki boyutlu blok model için tez kapsamında geliştirilen hareketli koni algoritması uygulandığında gerçek çözüm değerini vermektedir. Algoritmanın izlediği adımlar ve optimum çözüm aşağıda verilmektedir.

i/j	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3
2	-4	7	-4	6	-4	-4	-4	8	-4
3	-5	-5	-5	15	-5	-5	-5	-5	-5

Şekil 3.15 İki boyutlu ekonomik blok model

Adım 1: Şekil 3.15'te gösterilen blok model için blokların sütun sayısı yani j yönündeki blok sayısı 9 olarak, blokların satır sayısı yani i yönündeki kat sayısı 3 olarak programa girilmelidir. Bu örnek için genel şev açısı 45 derece olarak girilmelidir. Aynı şekilde bloklar kare şeklinde olmasından dolayı oransal açıdan herhangi aynı değer verilmelidir. Örnek olarak 10 x 10 değeri uygundur.

Adım 2: Bu adımda hava blokları tespit edilmelidir. Örnekte hava bloğu yani sıfır değerinde blok yoktur. Aynı şekilde üretilmesi durumunda şev altı kalacak herhangi bir cevher bloğu mevcut değildir.

Adım 3: Bu adımda ilk kattan başlayarak son kata kadar tek başına efektif olan bloklar tespit edilmelidir. Örnek blok modelin ilk katında pozitif değerli blok mevcut değildir. İkinci kata kadar olan bloklar değerlendirildiğinde +7 değerinde olan pozitif (2,2) bloğunun koni değeri -2 olmaktadır (Şekil 3.16). +6 değerinde olan pozitif (2,4) bloğunun koni değeri -3 olmaktadır (Şekil 3.17). İlgili katın son pozitif bloğu olan (2,8) tek başına değerlendirildiğinde ise koni değeri -1 olmaktadır (Şekil 3.18). Dolayısıyla ikinci kata olan blokların koniler kaldırıldığında karlı bir ocak tespit edilememektedir.

i/j	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0	0	0	-3	-3	-3	-3	-3	-3
2	-4	-2	-4	6	-4	-4	-4	8	-4

Şekil 3.16 (2,2) bloğunun tek başına kaldırılması varsayıldığında elde edilen sonuç

i/j	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	-3	-3	0	0	0	-3	-3	-3	-3
2	-4	7	-4	-3	-4	-4	-4	8	-4

Şekil 3.17 (2,4) bloğunun tek başına kaldırılması varsayıldığında elde edilen sonuç

i/j	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	-3	-3	-3	-3	-3	-3	0	0	0
2	-4	7	-4	6	-4	-4	-4	-1	-4

Şekil 3.18 (2,8) bloğunun tek başına kaldırılması varsayıldığında elde edilen sonuç

Aynı şekilde blok modelin son katı olan üçüncü kat da incelemeye dahil edildiğinde, ilgili katın tek pozitif bloğu olan (3,4) tek başına kaldırılması varsayıldığında oluşturulan koni -2 değerini almaktadır (Şekil 3.19).

i/j	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	-3	0	0	0	0	0	-3	-3	-3
2	-4	7	0	0	0	-4	-4	8	-4
3	-5	-5	-5	-2	-5	-5	-5	-5	-5

Şekil 3.19 (3,4) bloğunun tek başına kaldırılması varsayıldığında elde edilen sonuç

Bu adımda hiç bir katta karlı koni tespit edilemediği için bir sonraki adıma geçilmelidir.

Adım 4: Bu adımdan sonraki adımlarda karlı bir ocak tespit edildiği takdirde, tekrar bu adıma geri dönmeli ve analize ocağın son değerleri ile bu adımdan itibaren baştan başlanmalıdır.

Adım 4.1: Son durumda yüzeye en yakın pozitif bloğun bulunduğu kat örnek olarak verilen blok modelde ikinci kattır. Zamandan tasarruf için analizde pozitif blok araması bu kattan itibaren yapılmalıdır.

Adım 4.2: Bu adımda, geriye kalan blokların önem sıralarını tespit ederek en yüksek kümülatif değere göre optimum ocak sınırının tespit edilmelidir. Bu adım 9 aşamadan meydana gelmektedir.

Adım 4.2.1: İlk pozitif blok ikinci katta mevcut olmasından dolayı tek başına karlı olarak üretilebilecek koni bu katta aranmalıdır. İlgili örnek için şu ana kadar herhangi karlı bir ocak tespit edilemediği için adım 3'te elde edilen sonuçlarla aynı sonuçları vermektedir.

Adım 4.2.2: İkinci kata kadar, blokların önem değerini tespit edilmelidir. Blokların önem değerlerinin yer aldığı matris Şekil 3.20'de gösterilmiştir.

i/j	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	1	1	2	1	1	0	1	1	1
2	0	1	0	1	0	0	0	1	0

Şekil 3.20 İkinci kata kadar olan blokların önem değerleri

Adım 4.2.3: İkinci kata kadar olan bloklar için bu adım uygulandığında önem değeri bir olan yani tek koni içerisinde kalan blokların ödemesi yapıldığında (2,2) kaynak bloğu (1,1) ve (1,2) blokları için ödeme yapılmalıdır. Bunun sonucunda (2,2) kaynak bloğunun değeri +1'dir. (2,4) kaynak bloğu (1,4) ve (1,5) bloklarının ödemesini gerçekleştirmelidir. Bunun sonucunda (2,4) kaynak bloğunun değeri sıfır olmaktadır. (2,8) kaynak bloğu (1,7), (1,8) ve (1,9) bloklarının ödemesini gerçekleştirmelidir. Bunun sonucunda (2,8) kaynak bloğunun değeri -1 olmaktadır. Son durumda değeri pozitif kalmayan kaynak bloklar olduğu görülmektedir. Bu durumda ilgili blokların karlı ocak tespitinde etkili kalmamaktadır. Bu blokların

önem değeri atadığı bloklardan verilen önem değeri geri alınmalıdır. Blokların önemlerinin son hali Şekil 3.21’de gösterilmektedir.

i/j	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
2	0	1	0	0	0	0	0	0	0

Şekil 3.21 Karlı ocak tespitinde etkisi olmayan blokların atadığı önem değerlerinin geri alınması

Son durumda Şekil 3.21 incelediğinde önem değeri 1 olan blokların var olduğu görülmektedir. Bu blokların ödemeleri yapılmalıdır. Ödemeler sonucunda kaynak blokların karlı ocak tespitinde etkisi kalıp kalmadığı kontrol edilmelidir. Örnekte bu şartları sağlayan sadece (2,4) bloğu bulunmaktadır. (2,4) kaynak bloğu, önem değeri 1 olan bloklara ödemelerini yaptığında -2 değerini almaktadır. Kaynak blok pozitif kalamadığı için atadığı önem değerleri geri alınmalıdır. Blokların önem değerlerinin son durumu Şekil 3.22’de gösterilmektedir.

i/j	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Şekil 3.22 İkinci katta blokların önem değerlerinin son durumu

Şekil 3.22’de de gösterildiği gibi karlı ocak tespitinde etkisi olacak herhangi cevher bloğu kalmamaktadır. Bu sebeple algoritma adım 4’e geri dönmeli, üçüncü kat da dahil edilerek tekrarlanmalıdır.

Adım 4: Bu adımdan sonraki adımlarda karlı bir ocak tespit edildiği takdirde, tekrar bu adıma geri dönmeli ve analize ocağın son değerleri ile bu adımdan itibaren baştan başlanmalıdır.

Adım 4.1: Son durumda yüzeye en yakın pozitif bloğun bulunduğu kat örnek olarak verilen blok modelde ikinci kattır.

Adım 4.2: Bu adımda, geriye kalan blokların önem sıralarını tespit ederek en yüksek kümülatif değere göre optimum ocak sınırının tespit edilmelidir. Bu adım 9 aşamadan meydana gelmektedir.

Adım 4.2.1: İlk pozitif blok ikinci katta mevcut olmasından dolayı tek başına karlı olarak üretilebilecek koni ikinci ve üçüncü kat için aranmalıdır. İlgili örnek için şu ana kadar herhangi karlı bir ocak tespit edilemediği için adım 3'te elde edilen sonuçlarla aynı sonuçları vermektedir.

Adım 4.2.2: Üçüncü kata kadar blokların önem değerini tespit edilmelidir. Blokların önem değerlerinin yer aldığı matris Şekil 3.23'te gösterilmiştir.

i/j	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	1	2	3	2	2	1	1	1	1
2	0	1	1	2	1	0	0	1	0
3	0	0	0	1	0	0	0	0	0

Şekil 3.23 Üçüncü kata kadar olan blokların önem değerleri

Adım 4.2.3: Üçüncü kata kadar olan bloklar için bu adım uygulandığında önem değeri bir olan yani tek koni içerisinde kalan blokların ödemesi yapıldığında (2,2) kaynak bloğu (1,1) bloğu için ödeme yapmalıdır. Bunun sonucunda (2,2) kaynak bloğunun değeri +4'tür. (2,8) kaynak bloğu (1,7), (1,8) ve (1,9) bloklarının ödemesini gerçekleştirmelidir. Bunun sonucunda (2,8) kaynak bloğunun değeri -1 olmaktadır. Aynı şekilde (3,4) kaynak bloğu (1,6), (2,3) ve (2,5) bloklarının ödemesini gerçekleştirmelidir. Bunun sonucunda (3,4) kaynak bloğunun değeri 4'tür. (2,8) kaynak bloğunun pozitif kalamadığı görülmektedir. İlgili bloğun verdiği önem değerleri geri alındığında son durum Şekil 3.24'te gösterilmektedir.

i/j	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	1	2	3	2	2	1	0	0	0
2	0	1	1	2	1	0	0	0	0
3	0	0	0	1	0	0	0	0	0

Şekil 3.24 Üçüncü katta blokların önem değerlerinin son durumu

Adım 4.2.4: Kalan pozitif blokların koni değerleri hesaplanmalıdır. Sonrasında bu blokların nihai önemleri hesaplanmalıdır. Nihai önem değeri, ilgili kaynak bloğun konisi içerisinde kalan önem değeri 1'den büyük olan blokların önem değerlerinin toplamının, ilgili bloğun koni değerinin mutlak değerine oranlanmasıyla elde edilmektedir. Elde edilen sonuçlar Tablo 3.7'de verilmektedir.

Tablo 3.7 Cevher bloklarının toplam önemleri, koni değerleri ve nihai önemleri

Sıra No	Blok No	Toplam Önem	Koni Değeri	Nihai Önem
1	(2,2)	5	-2	2,5
2	(2,4)	9	-3	3
3	(3,4)	11	-2	5,5

Adım 4.2.5: Bloklar nihai önem değerlerine göre büyükten küçüğü sıralanmalıdır. Bu adımda, üretim sırasının tespit edilebilmesi için, bloklar nihai önem değerlerine göre sıralanmalıdır.

Adım 4.2.5: Bu adımda nihai önemlerine göre azalan şekilde cevher blokları sıralanmalıdır. Tablo 3.8'de blokların nihai önemlerine sıralanmış hali gösterilmektedir.

Tablo 3.8 Cevher bloklarının nihai önemlerine göre sıralanması

Sıra No	Blok No	Toplam Önem	Koni Değeri	Nihai Önem
1	(3,4)	11	-2	5,5
2	(2,4)	9	-3	3
3	(2,2)	5	-2	2,5

Adım 4.2.6: Nihai önem sırasına göre, sıradaki bloğun üretimi gerçekleştirilmeli ve üretilen konilerin kümülatif değerleri hesaplanmalıdır. Bu adımda, önemi en büyük olan cevher bloğundan başlayarak, ilgili bloğun konisi oluşturularak üretilmelidir. Sonrasında bu adımda üretilen konilerin kümülatif değeri hesaplanmalıdır.

Adım 4.2.6: Bu adımda ilk olarak (3,4) kaynak bloğunun varsayılan üretimi gerçekleştirilmelidir. Bu durumda elde edilen sonuç Şekil 3.25'te gösterilmektedir.

i/j	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	-3	0	0	0	0	0	-3	-3	-3
2	-4	7	0	0	0	-4	-4	8	-4
3	-5	-5	-5	-2	-5	-5	-5	-5	-5

Şekil 3.25 (3,4) bloğunun varsayılan üretimi

Şekil 3.25'te de gösterildiği üzere, ilk varsayılan üretim sonrası elde edilen değer -2'dir. Kümülatif değer pozitif olmadığı için güncel nihai önem sırasındaki bir sonraki bloğun varsayılan üretimi gerçekleştirilmelidir. Bu blok (2,4)'ün üretilmesinden dolayı (2,2)'dir. (2,2) bloğunun üretilmesiyle kümülatif değer +2 olmaktadır. Kümülatif değer pozitif olması karlı bir ocağın tespit edildiğini işaret etmektedir. Bu durumda kümülatif değeri pozitif yapan blokların konileri üretilmeli ve optimum ocak sınırına dahil edilmelidir. Blok modelde pozitif blok kalması durumunda analiz adım 4'ten itibaren tespit edilen karlı ocağı dikkate alarak tekrar başlamalıdır. Bu örnekte (2,2) bloğunun üretilmesinden sonra pozitif blok kalmamasından dolayı analiz sonlanmalıdır. Bulunan optimum değer gerçek değer ile aynı olup +2 dir. Ocağın nihai hali Şekil 3.26'da gösterilmektedir.

i/j	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0	0	0	0	0	0	-3	-3	-3
2	-4	2	0	0	0	-4	-4	8	-4
3	-5	-5	-5	0	-5	-5	-5	-5	-5

Şekil 3.26 Nihai ocağın görünümü

### 3.4 Geliştirilen Algoritmanın Kesin Çözüm Veren Lerchs-Grossmann Algoritması İle Karşılaştırılması

Hareketli koni algoritmaları sezgisel olarak işlem yapmaktadır. Bu yüzden, geliştirilme aşamalarında her zaman doğruluğu kesin olan diğer yöntemlerle karşılaştırılmalıdır. Tez kapsamında geliştirilen algoritma, kesin çözüm verdiği matematiksel olarak kanıtlanmış olan Lerchs-Grossmann algoritması ile karşılaştırılmıştır.

Karşılaştırma işlemi üç boyutlu olarak yapılmıştır. Öncelikle iki algoritmanın da kullanabileceği test verileri hazırlanmıştır. İki algoritma için de nihai şev açısı  $45^\circ$  olarak seçilmiştir. Lerchs-Grossmann algoritması,  $45^\circ$ 'lik açıda bir cevher bloğunun kazanılabilmesi için kaldırılması gereken dekapaj bloklarının tespitinde Lipkewich ve Borgman (1969) tarafından geliştirilen *knights move* arama modelini kullanmaktadır (Lipkewich ve Borgman, 1969). Tez kapsamında geliştirilen algoritma arama modeli olarak çember denklemini kullanmaktadır. Kaynak bloğunun merkezinden her kat için oluşturulan hayali çember içinde kalan bloklar incelenmektedir. Her kat için çemberin yarıçapı nihai şev açısına ve blok boyutlarına göre belirlenmektedir. *Knights move* arama modeli ile yakın bir arama yapılabilmesi için her kat için bulunan yarıçap, bir kat sayı ile çarpılarak büyütülmüş ve iki algoritmanın kullandığı arama modelleri karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma işlemi için 15 kat aşağıda bulunan tek bir cevher bloğunun  $45^\circ$ 'lik açı ile kazanılması için çıkarılması gereken dekapaj bloğu sayıları mümkün olduğunca eşitlenmeye çalışılmıştır.

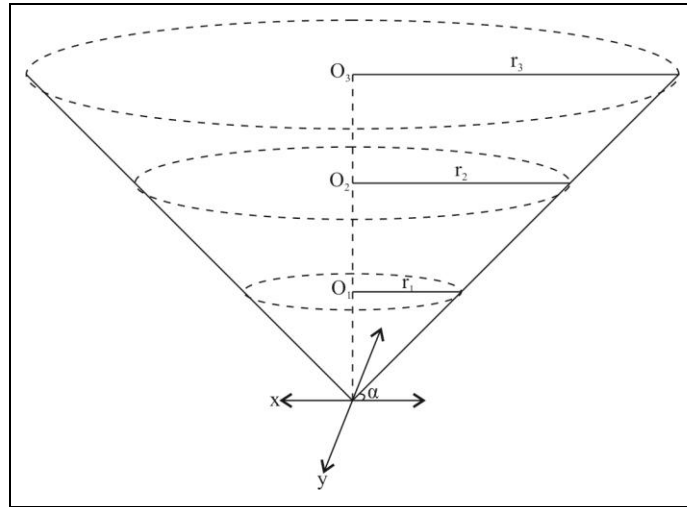
Geliştirilen algoritmada kullanılan çember denklemi temeline dayalı arama modelinde herhangi blok için oluşturulan arama konisinin geometrik parametreleri Şekil 3.27’de gösterilmektedir. Nihai şev açısının ‘ $\alpha$ ’ olduğu bir ocak için, yüksekliği ‘ $k$ ’ olan herhangi bir blok için ‘ $n$ ’ seviye üstteki arama yarıçapı ‘ $r$ ’ aşağıdaki eşitliğin çözümüne eşittir (3.1).

$$r = \frac{n \times k}{\tan(\alpha)} \quad (3.1)$$

Koni oluşturulan bloğun ‘ $n$ ’ seviye üzerinde herhangi bir bloğun merkez noktası, ilgili seviyeye kadar oluşturulan ters koninin taban çemberinin üzerinde ya da içinde kalıyorsa, bu blok kaynak bloğun çıkarılması için kaldırılması gereken bloklardan bir tanesidir. Kaynak bloğun ‘ $n$ ’ seviye üzerinde herhangi bir bloğun, oluşturulan koni içinde olup olmadığının kontrolü için çember denklemi kullanılmalıdır. ‘ $n$ ’ seviye yukarıda çember oluşturmak için ilgili seviyedeki koni yarıçapı ‘ $r_n$ ’,  $n$ . seviye için hesaplanmalıdır. Çemberin merkezinden, doğu-batı yönünde ‘ $a_n$ ’ ve kuzey-güney yönünde ‘ $b_n$ ’ kadar uzaklık olan herhangi bir bloğun merkez noktası için aşağıda verilen basit eşitsizlik sağlanmalıdır (3.2).

$$r_n^2 \geq a_n^2 + b_n^2 \quad (3.2)$$

$$1 \geq \frac{a_n^2}{r_n^2} + \frac{b_n^2}{r_n^2} \quad (3.3)$$



Şekil 3.27 Belirlenen nihai şev açısına göre oluşturulan koninin etki alanı





Bellek: 4 GB

Karşılaştırma işlemi birim dekapaj bloğu kazı maliyeti 2,5 TL olarak sabit tutulmuş, kömürün yoğunluğu 1,4 gr/cm<sup>3</sup> olarak alınmış ve 4 farklı kömür satış fiyatı için yapılmıştır. Tablo 3.9’da birim kömür bloğu satış fiyatı 50 TL için, Tablo 3.10’da birim kömür bloğu satış fiyatı 70 TL için, Tablo 3.11’de birim kömür bloğu satış fiyatı 90 TL için, Tablo 3.12’de ise birim kömür bloğu satış fiyatı 110 TL için elde edilen sonuçlar verilmiştir. Tablolarda süre sütunu, yukarıda teknik özellikleri verilen bilgisayar için programın hesaplama işleminde çözüme ulaşıncaya kadar geçen zamanı ifade etmektedir. 30 saniye altındaki süreler dikkate alınmamış ve “-“ işaretiyle belirtilmiştir. Bilgisayarın kullandığı işletim sistemi özelliklerine göre uygulama yöneticisi aracısıyla analiz yapılan program için işlem önceliği değiştirilerek, programın çalışması esnasında işlemcinin yüzde kaçının kullanılacağı ayarlanabilmektedir. İlgili sonuçların analizinde işlemci %50 performans ile çalıştırılmıştır. Bu öncelik atama işlemine göre çözüme ulaşma süreleri de değişmektedir. Ayrıca her algoritma, temel mantığı sabit tutularak, sonucu tahmin edilen ara hesaplamaları yaptırmama suretiyle hızlandırılabilir. Bu sebeple algoritmalar her zaman geliştirilmeye açıktır.

Tablo 3.9 Birim kömür bloğu satış fiyatı 50 TL için elde edilen sonuçlar

Kullanılan Algoritma	Kat Sayısı	Pozitif Blok Sayısı	Negatif Blok Sayısı	Örtü Kazı Oranı (m <sup>3</sup> /ton)	Toplam Kar (TL)	Süre (Dakika)
Lerchs Grossmann	5	50	369	5,27	1577,5	-
Hareketli Koni	5	52	389	5,34	1627,5	-
Lerchs Grossmann	10	97	1181	8,70	1897,5	-
Hareketli Koni	10	103	1272	8,82	1970,0	-
Lerchs Grossmann	13	97	1181	8,70	1897,5	4
Hareketli Koni	13	103	1272	8,82	1970,0	-

Tablo 3.9’da verilen sonuçlar incelendiğinde, iki algoritmanın da ürettiği sonuçlar birbirine yakındır. Hareketli koni algoritmasının koni oluşturmada kullandığı arama modelinde bir pozitif bloğu çıkartmak için üzerinden kaldırılması gereken blok sayısı nispeten daha az olduğu için daha fazla pozitif bloğu çıkarma imkanı bulmuştur. Birim kömür bloğu satış fiyatı 50 TL için optimum ocağı iki algoritma da ilk 10 katta tespit etmiştir. Kat sayısı arttırıldığında, derinliğin artması sebebiyle daha karlı bir ocak tespit edilememiştir.

Tablo 3.10 Birim kömür bloğu satış fiyatı 70 TL için elde edilen sonuçlar

Kullanılan Algoritma	Kat Sayısı	Pozitif Blok Sayısı	Negatif Blok Sayısı	Örtü Kazı Oranı (m <sup>3</sup> /ton)	Toplam Kar (TL)	Süre (Dakika)
Lerchs Grossmann	5	55	483	6,27	2642,5	-
Hareketli Koni	5	57	513	6,43	2707,5	-
Lerchs Grossmann	10	148	2429	11,72	4287,5	-
Hareketli Koni	10	160	2737	12,21	4357,5	-
Lerchs Grossmann	13	156	2627	12,03	4352,5	3
Hareketli Koni	13	171	3022	12,62	4415,0	-
Lerchs Grossmann	15	156	2627	12,03	4352,5	12
Hareketli Koni	15	171	3022	12,62	4415,0	-

Tablo 3.10’da verilen sonuçlar incelendiğinde, iki algoritmanın da ürettiği sonuçlar birbirine yakındır. Birim kömür bloğu satış fiyatı 70 TL için optimum ocağı iki algoritma da ilk 13 katta tespit etmiştir. Kat sayısı arttırıldığında, derinliğin artması sebebiyle daha karlı bir ocak tespit edilememiştir. Ayrıca artan kat sayısına bağlı olarak incelenen blok sayısının da artması sebebiyle Lerchs-Grossmann algoritmasının çözüme ulaşma süresi ivmeli olarak artmaya başladığı gözlemlenmektedir.

Tablo 3.11 Birim kömür bloğu satış fiyatı 90 TL için elde edilen sonuçlar

Kullanılan Algoritma	Kat Sayısı	Pozitif Blok Sayısı	Negatif Blok Sayısı	Örtü Kazı Oranı (m <sup>3</sup> /ton)	Toplam Kar (TL)	Süre (Dakika)
Lerchs Grossmann	5	57	539	6,75	3782,5	-
Hareketli Koni	5	57	513	6,43	3847,5	-
Lerchs Grossmann	10	160	2793	12,47	7417,5	-
Hareketli Koni	10	160	2737	12,22	7557,5	-
Lerchs Grossmann	13	174	3169	13,01	7737,5	3
Hareketli Koni	13	180	3337	13,24	7857,5	-
Lerchs Grossmann	15	174	3169	13,01	7737,5	17
Hareketli Koni	15	180	3337	13,24	7857,5	-

Tablo 3.11’de verilen sonuçlar incelendiğinde, iki algoritmanın da ürettiği sonuçlar birbirine yakındır. Birim kömür bloğu satış fiyatı 90 TL için optimum ocağı iki algoritma da ilk 13 katta tespit etmiştir. Birim kömür bloğu satış fiyatı 70 TL için yapılan analiz ile aynı derinlikte optimum ocağın tespit edildiği gözlemlenmektedir. Çıkarılan pozitif blok sayılarına bakıldığında, 90 TL için yapılan analizde karlı olarak daha fazla pozitif blok çıkarılması sebebiyle ocak tabanı genişlemiştir.

Tablo 3.12 Birim kömür bloğu satış fiyatı 110 TL için elde edilen sonuçlar

Kullanılan Algoritma	Kat Sayısı	Pozitif Blok Sayısı	Negatif Blok Sayısı	Örtü Kazı Oranı (m <sup>3</sup> /ton)	Toplam Kar (TL)	Süre (Dakika)
Lerchs Grossmann	5	57	539	6,75	4922,5	-
Hareketli Koni	5	57	513	6,43	4987,5	-
Lerchs Grossmann	10	161	2831	12,56	10632,5	-
Hareketli Koni	10	161	2778	12,32	10765,0	-
Lerchs Grossmann	13	241	5858	17,36	11865,0	-
Hareketli Koni	13	252	6353	18,01	11837,5	-
Lerchs Grossmann	15	283	7443	18,79	12522,5	1
Hareketli Koni	15	298	8141	19,51	12427,5	-
Lerchs Grossmann	16	283	7443	18,79	12522,5	3
Hareketli Koni	16	298	8141	19,51	12427,5	-
Lerchs Grossmann	17	283	7443	18,79	12522,5	8
Hareketli Koni	17	298	8141	19,51	12427,5	-
Lerchs Grossmann	20	283	7443	18,79	12522,5	95
Hareketli Koni	20	298	8141	19,51	12427,5	-

Tablo 3.12’de verilen sonuçlar incelendiğinde, iki algoritmanın da ürettiği sonuçlar birbirine yakındır. Birim kömür bloğu satış fiyatı 110 TL için optimum ocağı iki algoritma da ilk 15 katta tespit etmiştir. Birim fiyat 90 TL’den 110 TL’ye çıkması ile daha derinlerde karlı olarak üretim yapılabildiği gözlemlenmektedir. Elde edilen kar miktarlarına bakıldığında Lerchs-Grossmann algoritmasının kesin sonuç vermesi sebebiyle daha az pozitif blok çıkararak gereken dekapaj miktarını azaltmış ve ihmal edilecek kadar da olsa daha karlı sonuç üretmeyi başarmıştır. Fakat ilk 20 kat için yapılan analizin sonucuna bakıldığında kesin çözüme 95 dakikada ulaştığı görülmektedir. Gerçek uygulama verilerinde blok sayıları milyonlarla ifade

edilmektedir. Lerchs-Grossmann algoritması ile bu sayılarda çözüm üretilmesi oldukça zordur ve ciddi zamana ihtiyaç vardır.

## **BÖLÜM DÖRT**

### **GELİŞTİRİLEN ALGORİTMANIN DEĞİŞEN ŞEV AÇISI VE KÖMÜR SATIŞ FİYATLARINDA ÖRNEK BİR SAHA İÇİN UYGULANMASI**

#### **4.1 Giriş**

Optimum nihai ocak sınırını belirleyen algoritmaların doğruluk testlerinin sadece test verileri ile değil, ayrıca gerçek saha verileri ile de yapılması gerekmektedir. Çünkü artan blok sayısı, değişen birim maliyetler ve sahanın jeolojik parametrelerine göre tasarlanacak ocağın nihai şev açısı, bu algoritmaların beklenenin aksine çelişkili sonuçlar üretmesini muhtemel kılmaktadır. Ayrıca artan veri sayısı sonucunda, blokların kesişim varyasyonlarında öngörülemeyen ihtimallerin de değerlendirilmiş olması sağlanmaktadır. Bu yüzden, optimum nihai ocak sınırı algoritmalarının doğruluk testlerinin çeşitli gerçek veri setleriyle tekrarlanması önemlidir.

Tez kapsamında geliştirilen algoritmanın yüksek blok sayılarında, değişen nihai ocak şev açısında, değişen kömür satış fiyatlarında ve dikdörtgenler prizması şeklindeki bloklarda gerçekleştirilen uygulamasına bu bölümde değinilmiştir. Uygulamada, Dokuz Eylül Üniversitesi Maden Mühendisliği öğretim elemanları tarafından 2011 yılında gerçekleştirilen TKİ-GELİ Müessesesi Yatağan Turgut bölgesi kömür sahası yeraltı AR-GE projesinden alınan veriler kullanılmıştır. Bölüm 4.2’de ilgili saha tanımlanmış, Bölüm 4.3’te uygulamada kullanılan parametreler ve elde edilen sonuçlar verilmiş, Bölüm 4.4’te ise uygulamanın sonuçları değerlendirilmiştir.

#### **4.2 T.K.İ. Yatağan-Turgut Kömür Madeni**

Çalışma alanı, Güneybatı Anadolu’da Muğla iline bağlı Yatağan ilçesinin kuzeybatısında Turgut kasabasının kuzeydoğusunda yer almaktadır. Turgut kasabasının Yatağan’a uzaklığı 10 km’dir. Bölgenin yer bulduru haritası Şekil 4.1’de verilmiştir.



### 4.3 T.K.İ. Yatağan-Turgut Kömür Madeni Nihai Ocak Sınır Tespiti Çalışması

Tez kapsamında kullanılan uygulama verileri, çalışma sahası olarak seçilen T.K.İ. Yatağan-Turgut kömür madenine ait sondaj verileri kullanılarak elde edilmiştir.

Blok model, kuzey-güney yönünde 127, doğu-batı yönünde 142 ve düşey yönde 170 olmak üzere toplam 3065780 adet bloktan oluşmaktadır. Blok boyutları; doğu ve kuzey yönünde 25 m ve düşey yönde kömür kalınlığını daha hassas şekilde ifade edebilmek amacıyla 2 m olarak seçilmiştir.

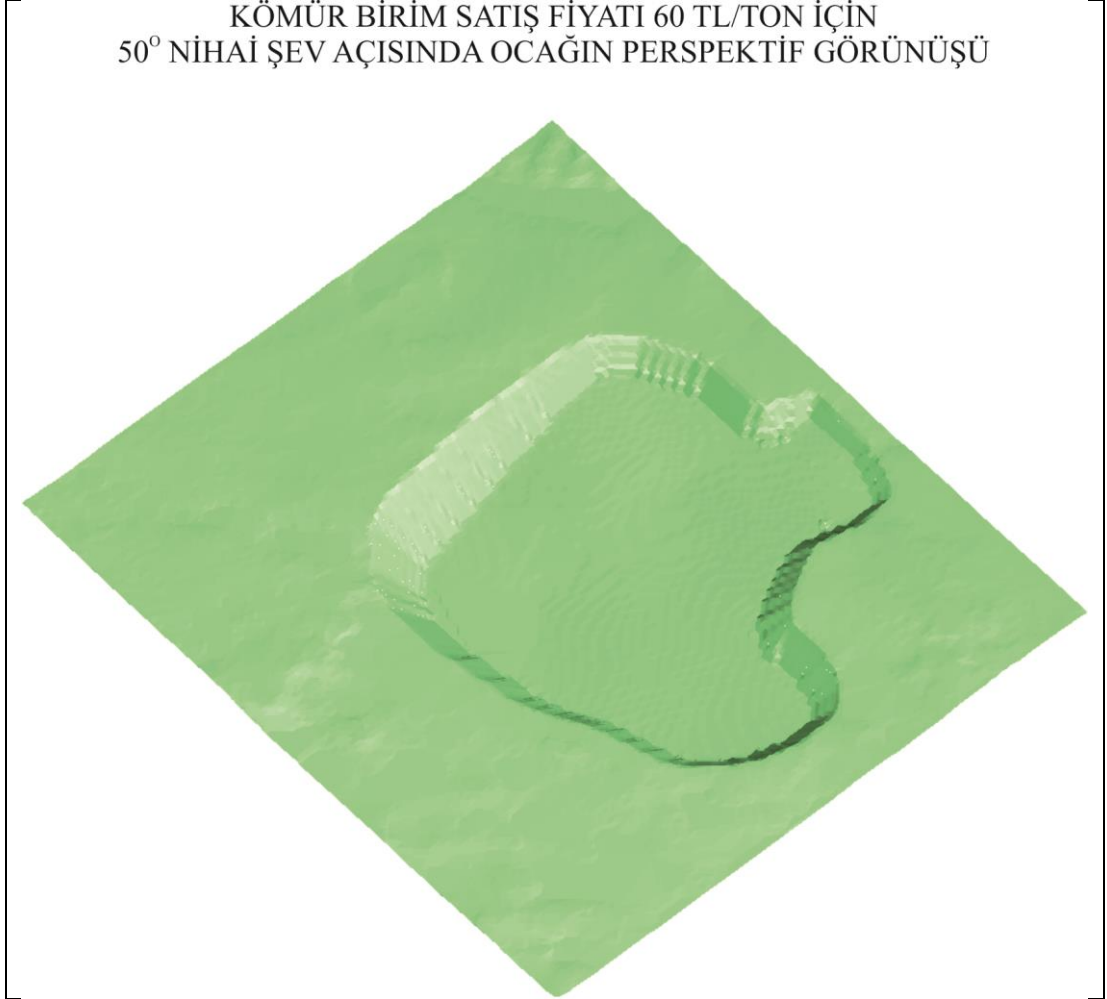
Sondaj verileri, jeostatiksel tahmin yöntemleri kullanılarak tanımlanan blok modele aktarılmıştır. TKİ-GELİ Müessesesi Yatağan Turgut bölgesi kömür sahası yeraltı AR-GE projesi verilerine dayanarak dekapaj kazı maliyeti 2 TL/m<sup>3</sup> olarak kömür içermeyen bloklara gider olarak atanmıştır. Kömür içeren bloklara ise 50 TL/ton, 60 TL/ton, 63 TL/ton, 65 TL/ton, 70 TL/ton ve 80 TL/ton olarak kömür birim satış fiyatları kar olarak atanarak nihai ocak sınırındaki değişimler incelenmiştir. Ayrıca bir kömür bloğunun çıkarılması için açılması gereken boşluğun hacmini yani dekapaj miktarını belirleyen en önemli faktör şev açısı olduğu için, nihai ocak şev açısı 30°, 35°, 40°, 45° ve 50° olarak seçilmiş ve nihai ocak sınırındaki etkileri incelenmiştir.

Aşağıdaki şekillerde yapılan incelemelerden elde edilen sonuçlar sırasıyla verilmektedir.

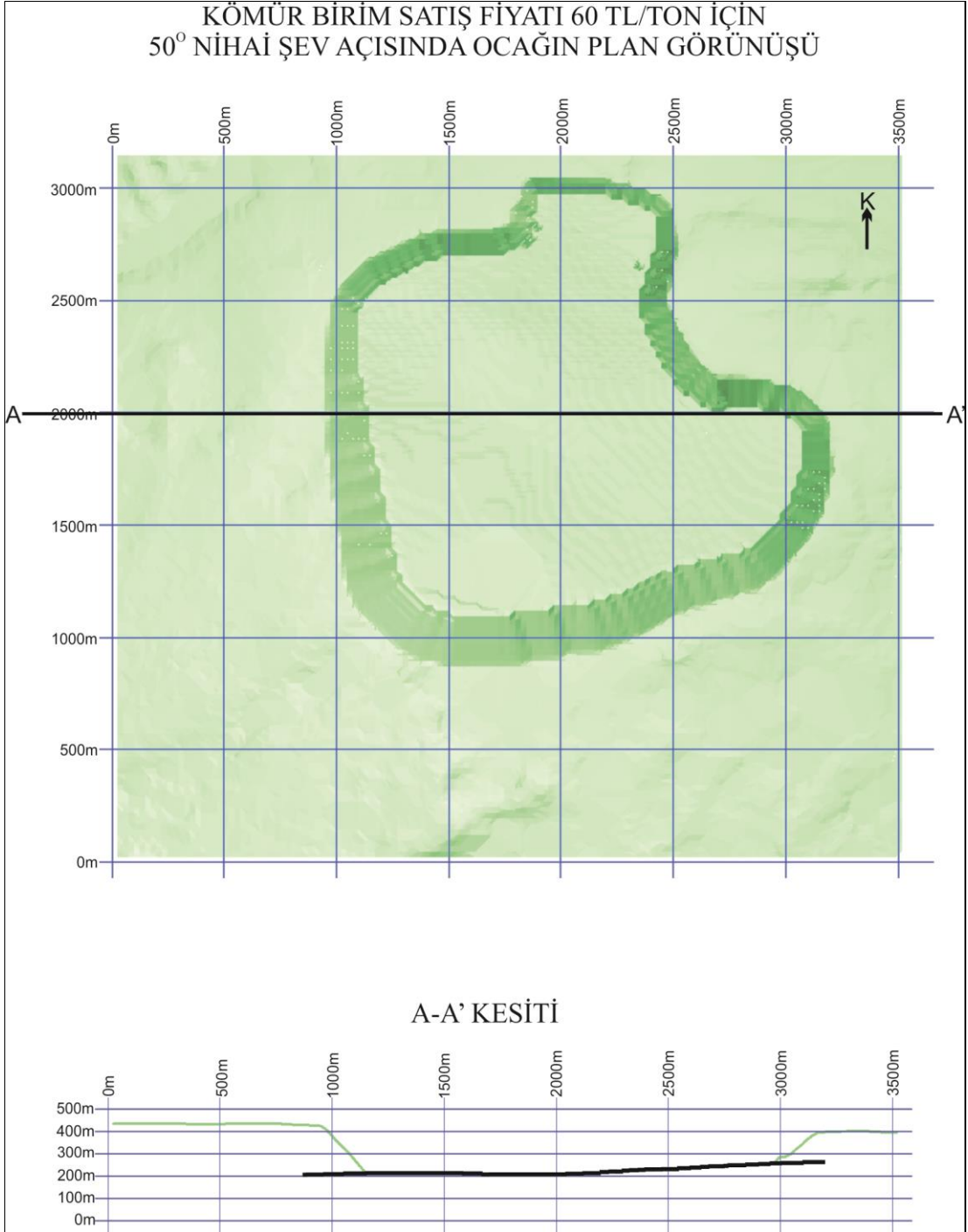
#### **Kömür birim satış fiyatı 60 TL/ton için 50° nihai şev açısında ocağın incelenmesi;**

Yapılan inceleme sonucunda 527926 adet dekapaj bloğu kazısı yapılarak 11183 adet kömür bloğu çıkarılmıştır. Toplam dekapaj miktarı 571,82 milyon m<sup>3</sup>, çıkarılan toplam kömür miktarı ise 19,57 milyon tondur. Bu durumda örtü kazı oranı 29,22 m<sup>3</sup>/ton olmaktadır. Bu parametreler dikkate alındığında, ocağın işletilmesi durumunda beklenen kar 30582500 TL'dir.

Şekil 4.2’de kömür birim satış fiyatı 60 TL/ton için 50° nihai şev açısındaki ocağın perspektif görünüşü verilmektedir. Şekil 4.3’te ise ocağın plan görünüşü ve belirtilen A-A’ doğrultusunda alınan kesit verilmektedir.



Şekil 4.2 Kömür birim satış fiyatı 60 TL/ton için 50° nihai şev açısında ocağın perspektif görünüşü

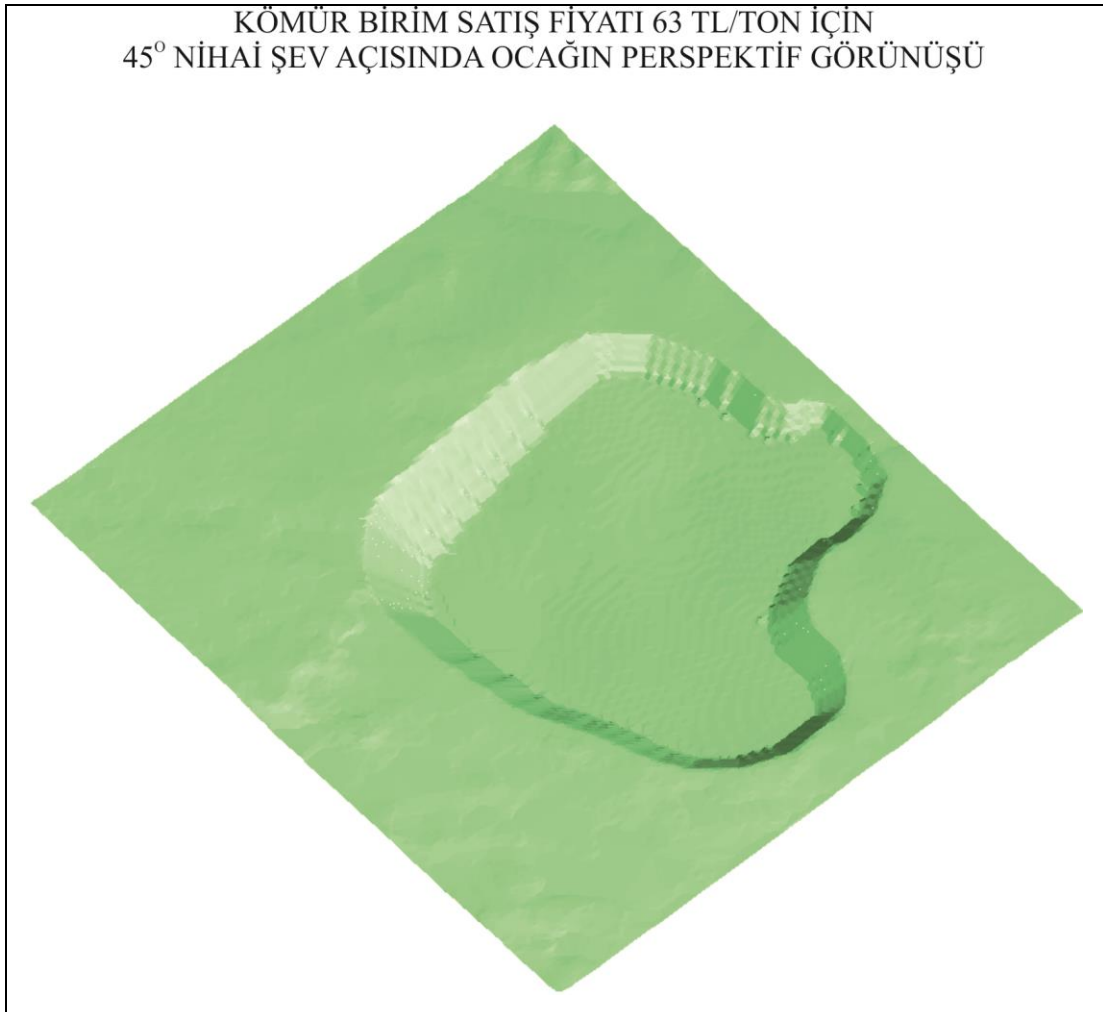


Şekil 4.3 Kömür birim satış fiyatı 60 TL/ton için 50° nihai şev açısındaki ocağın plan görünüşü ve A-A' doğrultusunda alınan kesit

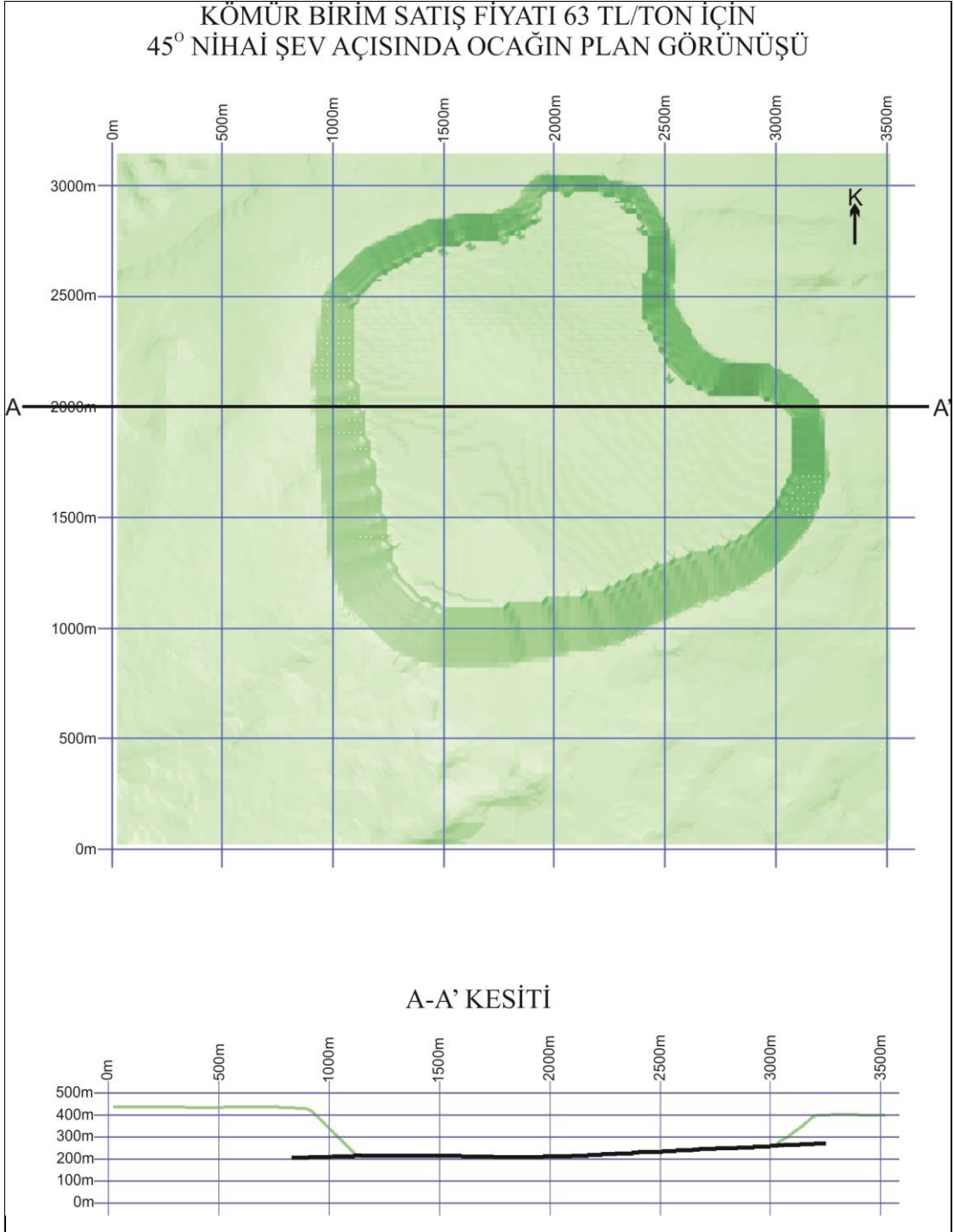
**Kömür birim satış fiyatı 63 TL/ton için 45° nihai şev açısında ocağın incelenmesi;**

Yapılan inceleme sonucunda 480507 adet dekapaj bloğu kazısı yapılarak 11330 adet kömür bloğu çıkarılmıştır. Toplam dekapaj miktarı 600,63 milyon m<sup>3</sup>, çıkarılan toplam kömür miktarı ise 19,83 milyon tondur. Bu durumda örtü kazı oranı 30,29 m<sup>3</sup>/ton olmaktadır. Bu parametreler dikkate alındığında, ocağın işletilmesi durumunda beklenen kar 48431500 TL'dir.

Şekil 4.4'de kömür birim satış fiyatı 63 TL/ton için 45° nihai şev açısındaki ocağın perspektif görünüşü verilmektedir. Şekil 4.5'te ise ocağın plan görünüşü ve belirtilen A-A' doğrultusunda alınan kesit verilmektedir.



Şekil 4.4 Kömür birim satış fiyatı 63 TL/ton için 45° nihai şev açısında ocağın perspektif görünüşü

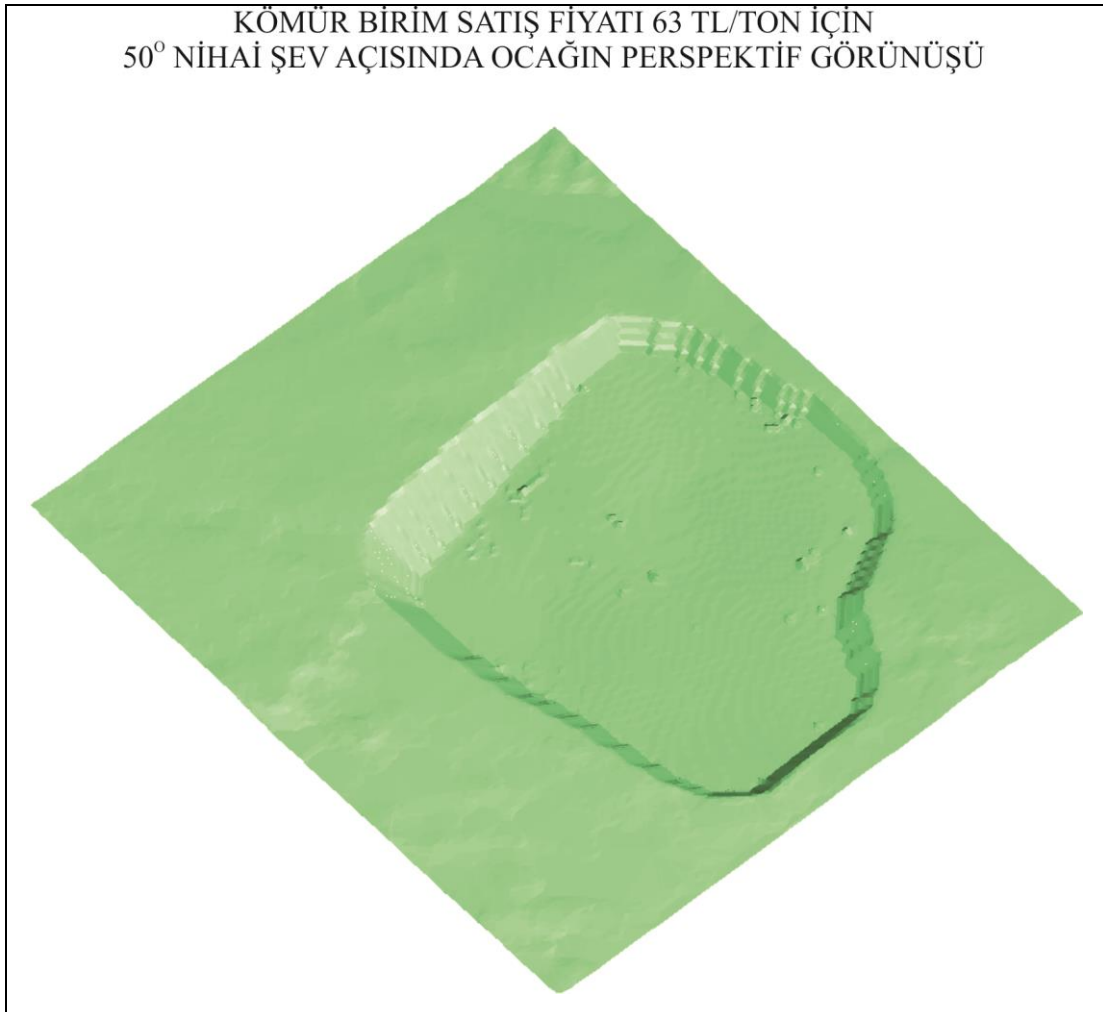


Şekil 4.5 Kömür birim satış fiyatı 63 TL/ton için 45° nihai şev açısındaki ocağın plan görünüşü ve A-A' doğrultusunda alınan kesit

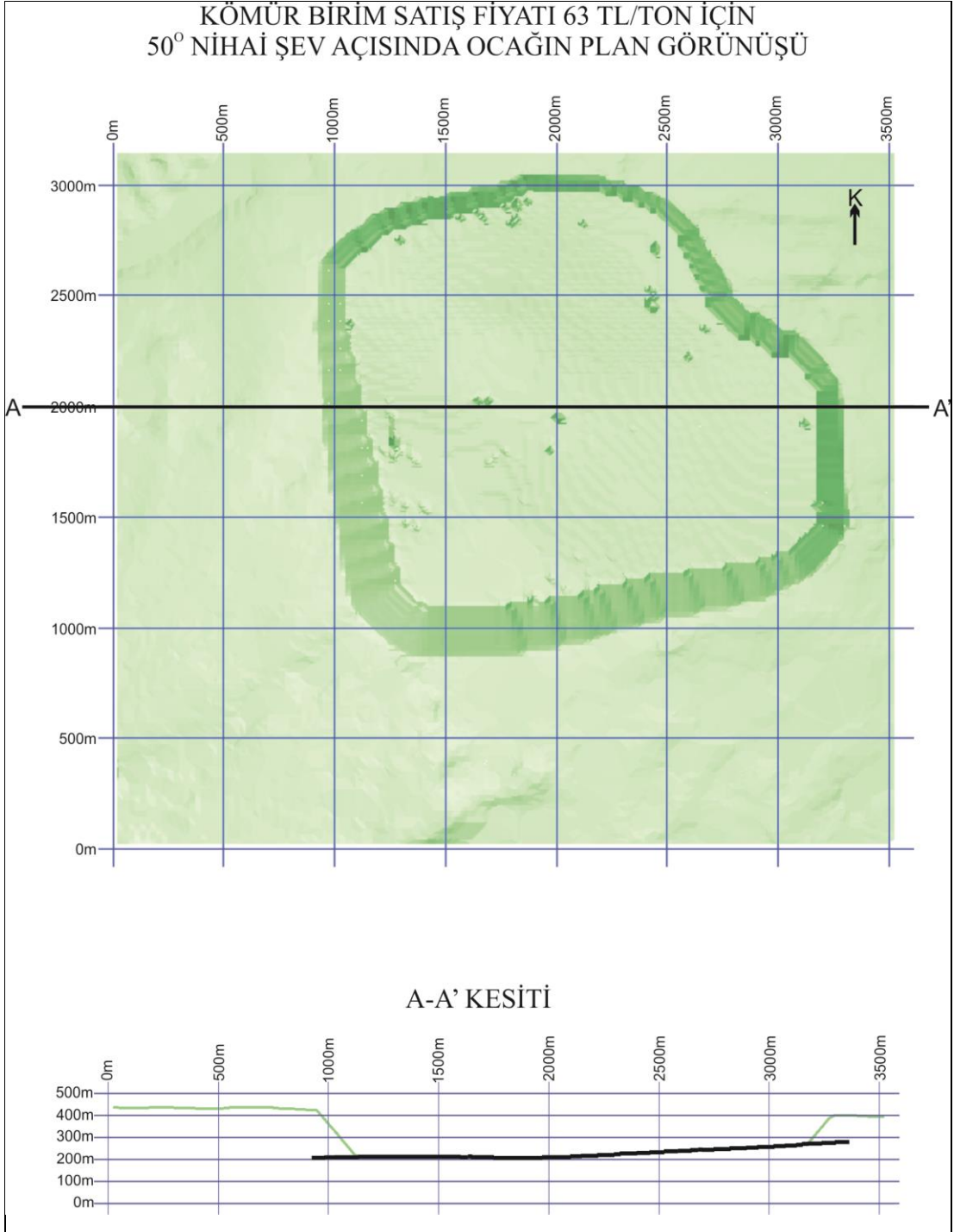
**Kömür birim satış fiyatı 63 TL/ton için 50° nihai şev açısında ocağın incelenmesi;**

Yapılan inceleme sonucunda 527926 adet dekapaj bloğu kazısı yapılarak 12556 adet kömür bloğu çıkarılmıştır. Toplam dekapaj miktarı 659,91 milyon m<sup>3</sup>, çıkarılan toplam kömür miktarı ise 21,97 milyon tondur. Bu durumda örtü kazı oranı 30,03 m<sup>3</sup>/ton olmaktadır. Bu parametreler dikkate alındığında, ocağın işletilmesi durumunda beklenen kar 65111800 TL'dir.

Şekil 4.6'da kömür birim satış fiyatı 63 TL/ton için 50° nihai şev açısındaki ocağın perspektif görünüşü verilmektedir. Şekil 4.7'de ise ocağın plan görünüşü ve belirtilen A-A' doğrultusunda alınan kesit verilmektedir.



Şekil 4.6 Kömür birim satış fiyatı 63 TL/ton için 50° nihai şev açısında ocağın perspektif görünüşü

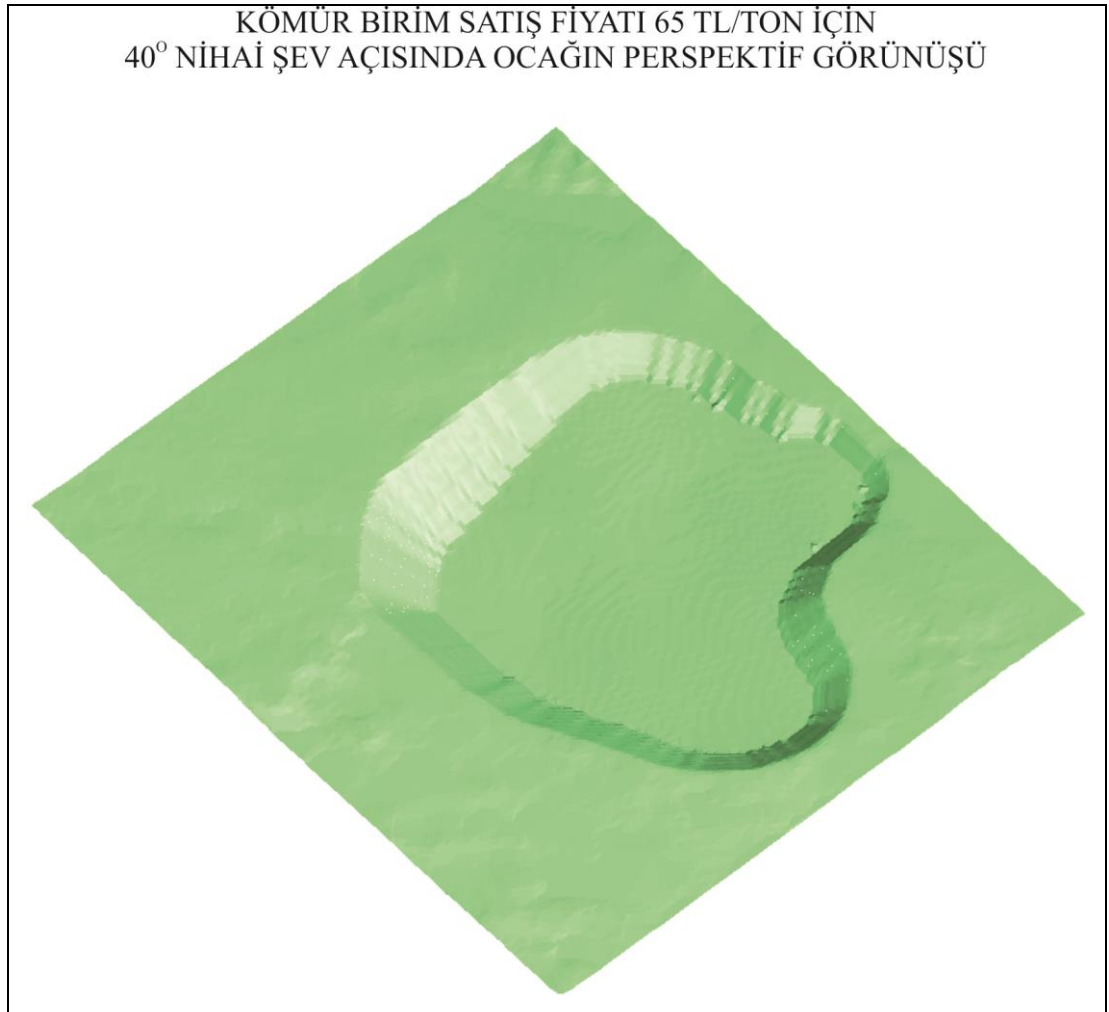


Şekil 4.7 Kömür birim satış fiyatı 63 TL/ton için 50° nihai şev açısındaki ocağın plan görünüşü ve A-A' doğrultusunda alınan kesit

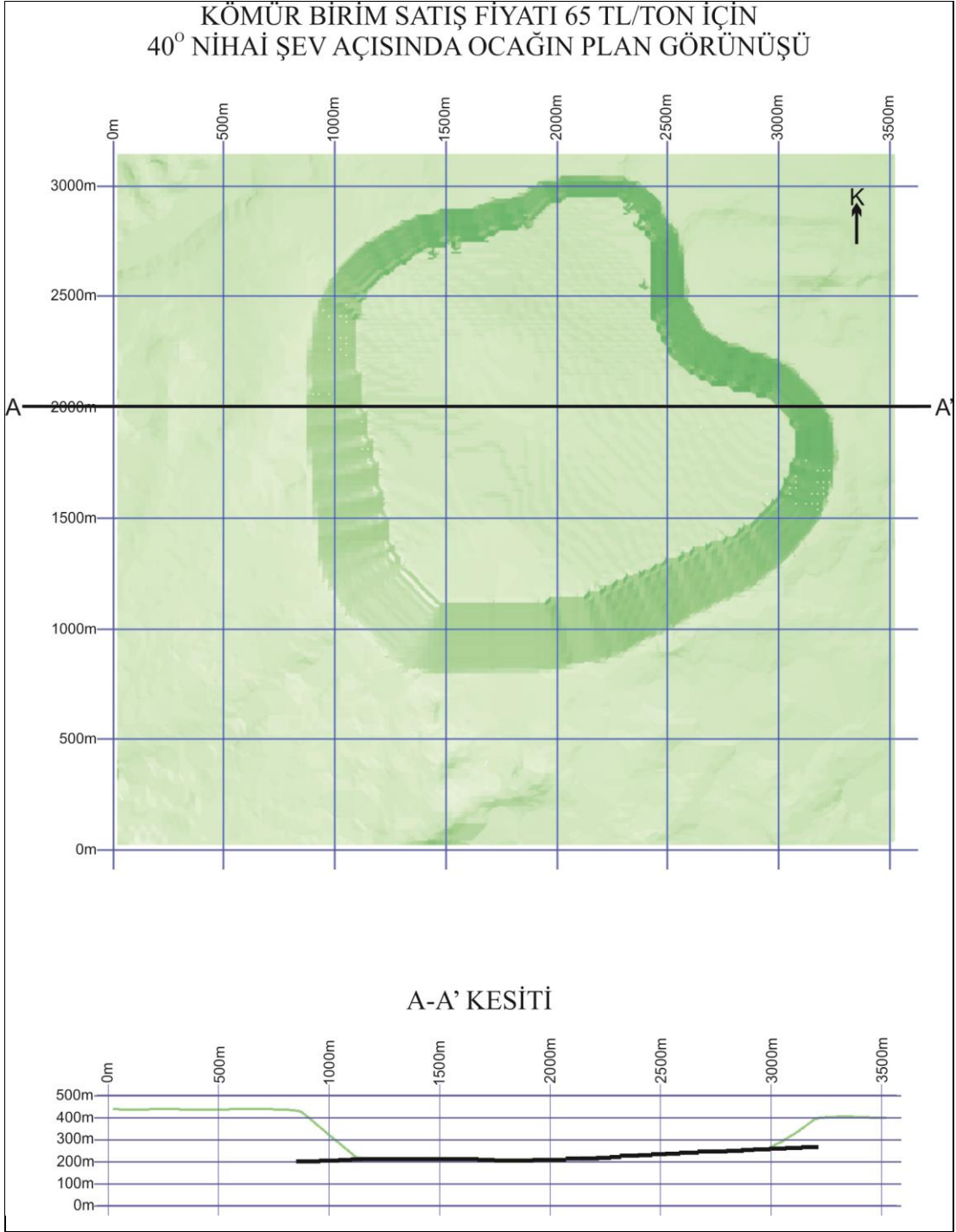
**Kömür birim satış fiyatı 65 TL/ton için 40° nihai şev açısında ocağın incelenmesi;**

Yapılan inceleme sonucunda 494173 adet dekapaj bloğu kazısı yapılarak 11332 adet kömür bloğu çıkarılmıştır. Toplam dekapaj miktarı 617,72 milyon m<sup>3</sup>, çıkarılan toplam kömür miktarı ise 19,83 milyon tondur. Bu durumda örtü kazı oranı 31,15 m<sup>3</sup>/ton olmaktadır. Bu parametreler dikkate alındığında, ocağın işletilmesi durumunda beklenen kar 54149100 TL'dir.

Şekil 4.8'de kömür birim satış fiyatı 65 TL/ton için 40° nihai şev açısındaki ocağın perspektif görünüşü verilmektedir. Şekil 4.9'da ise ocağın plan görünüşü ve belirtilen A-A' doğrultusunda alınan kesit verilmektedir.



Şekil 4.8 Kömür birim satış fiyatı 65 TL/ton için 40° nihai şev açısında ocağın perspektif görünüşü

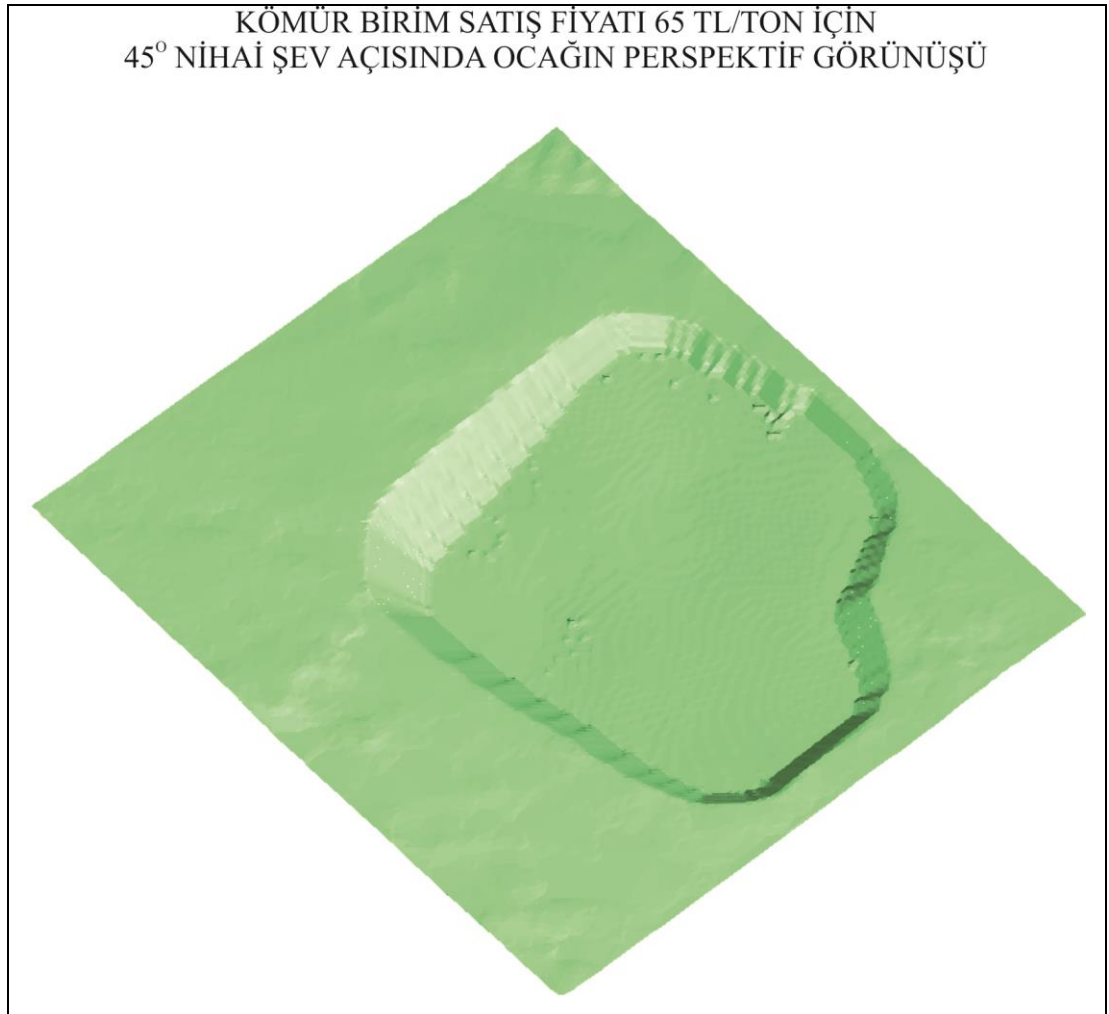


Şekil 4.9 Kömür birim satış fiyatı 65 TL/ton için 40° nihai şev açısındaki ocağın plan görünüşü ve A-A' doğrultusunda alınan kesit

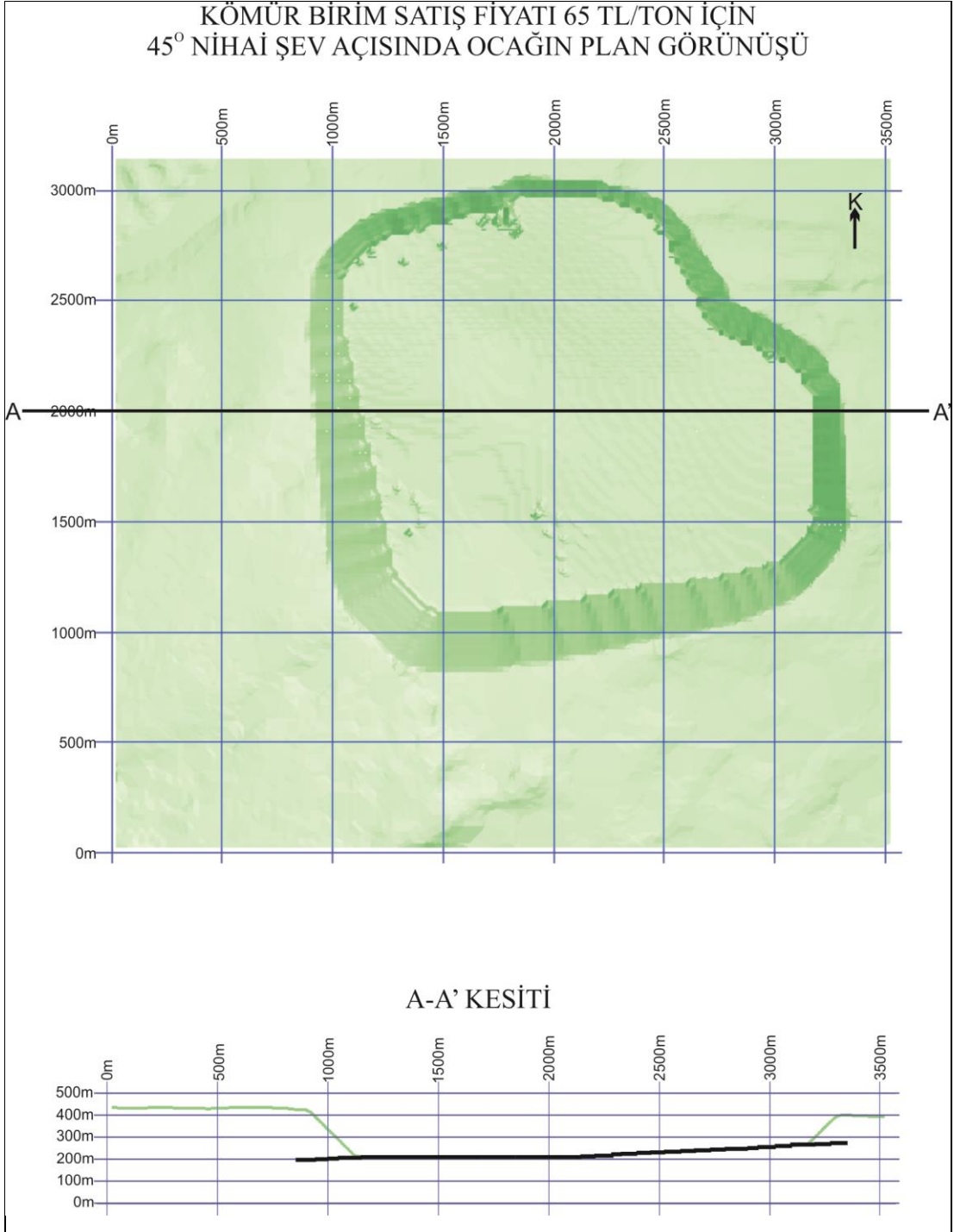
**Kömür birim satış fiyatı 65 TL/ton için 45° nihai şev açısında ocağın incelenmesi;**

Yapılan inceleme sonucunda 545456 adet dekapaj bloğu kazısı yapılarak 12621 adet kömür bloğu çıkarılmıştır. Toplam dekapaj miktarı 681,82 milyon m<sup>3</sup>, çıkarılan toplam kömür miktarı ise 22,09 milyon tondur. Bu durumda örtü kazı oranı 30,87 m<sup>3</sup>/ton olmaktadır. Bu parametreler dikkate alındığında, ocağın işletilmesi durumunda beklenen kar 72629800 TL'dir.

Şekil 4.10'da kömür birim satış fiyatı 65 TL/ton için 45° nihai şev açısındaki ocağın perspektif görünüşü verilmektedir. Şekil 4.11'de ise ocağın plan görünüşü ve belirtilen A-A' doğrultusunda alınan kesit verilmektedir.



Şekil 4.10 Kömür birim satış fiyatı 65 TL/ton için 45° nihai şev açısında ocağın perspektif görünüşü

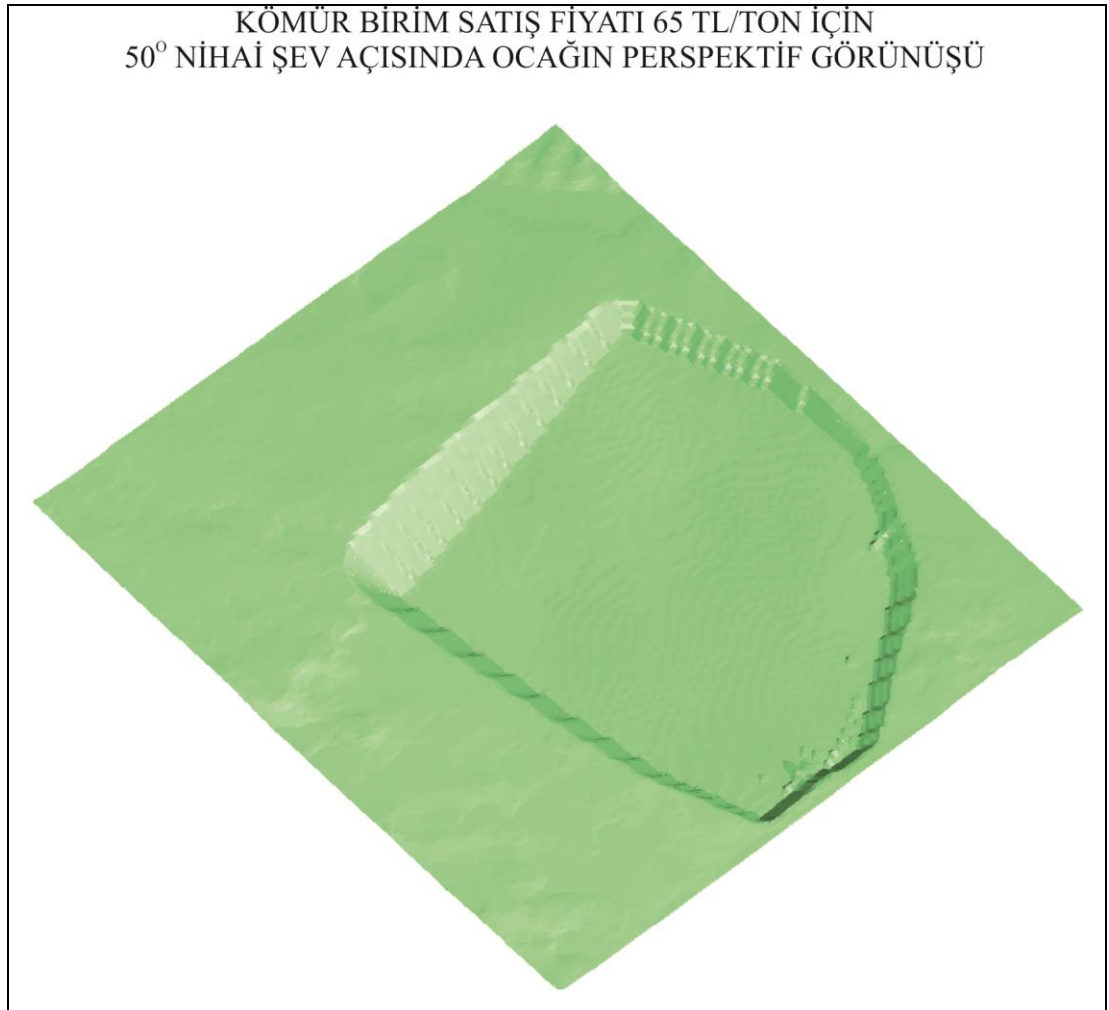


Şekil 4.11 Kömür birim satış fiyatı 65 TL/ton için 45° nihai şev açısındaki ocağın plan görünüşü ve A-A' doğrultusunda alınan kesit

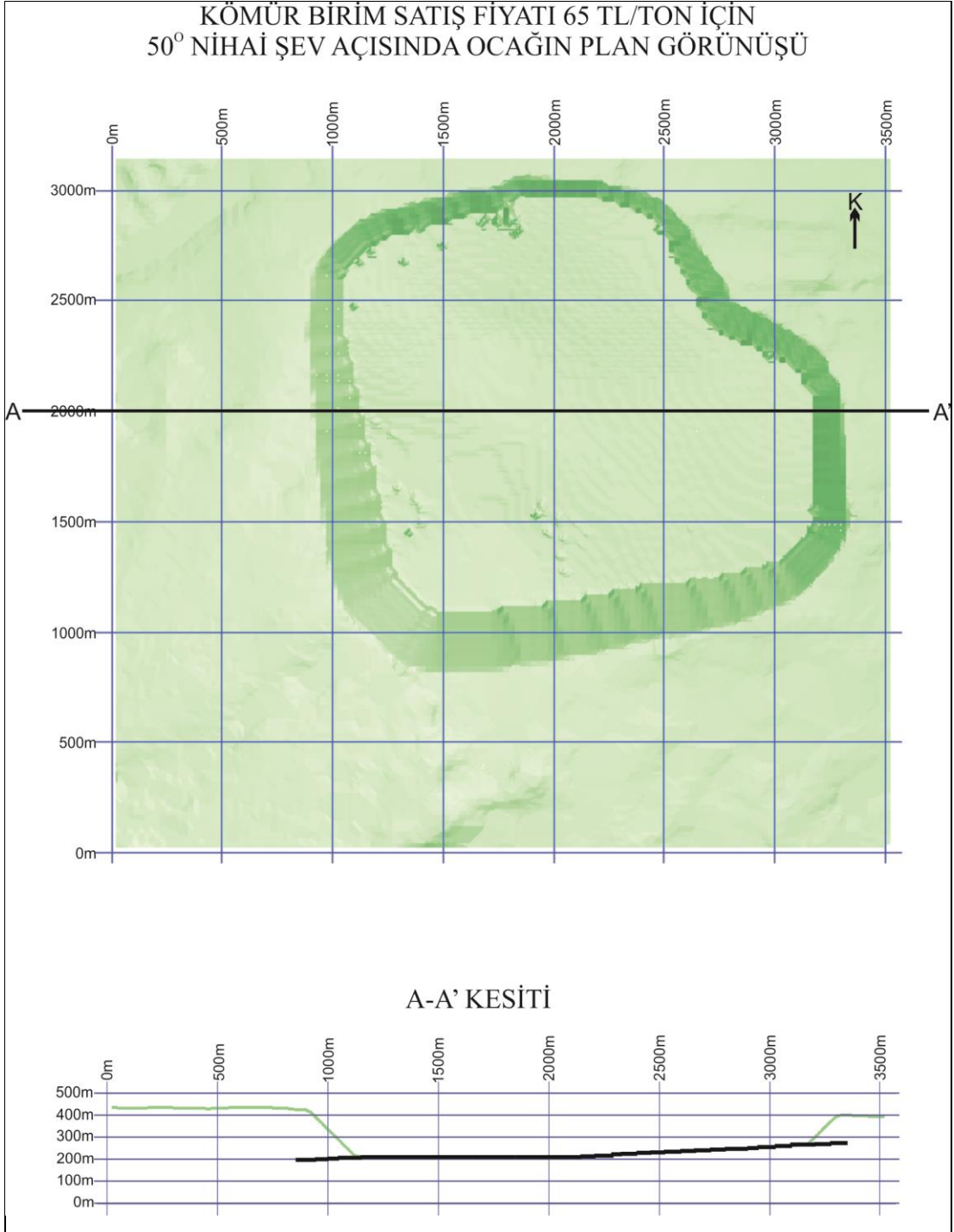
**Kömür birim satış fiyatı 65 TL/ton için 50° nihai şev açısında ocağın incelenmesi;**

Yapılan inceleme sonucunda 569990 adet dekapaj bloğu kazısı yapılarak 13434 adet kömür bloğu çıkarılmıştır. Toplam dekapaj miktarı 712,49 milyon m<sup>3</sup>, çıkarılan toplam kömür miktarı ise 23,51 milyon tondur. Bu durumda örtü kazı oranı 30,31 m<sup>3</sup>/ton olmaktadır. Bu parametreler dikkate alındığında, ocağın işletilmesi durumunda beklenen kar 103814200 TL'dir.

Şekil 4.12'de kömür birim satış fiyatı 65 TL/ton için 50° nihai şev açısındaki ocağın perspektif görünüşü verilmektedir. Şekil 4.13'te ise ocağın plan görünüşü ve belirtilen A-A' doğrultusunda alınan kesit verilmektedir.



Şekil 4.12 Kömür birim satış fiyatı 65 TL/ton için 50° nihai şev açısında ocağın perspektif görünüşü

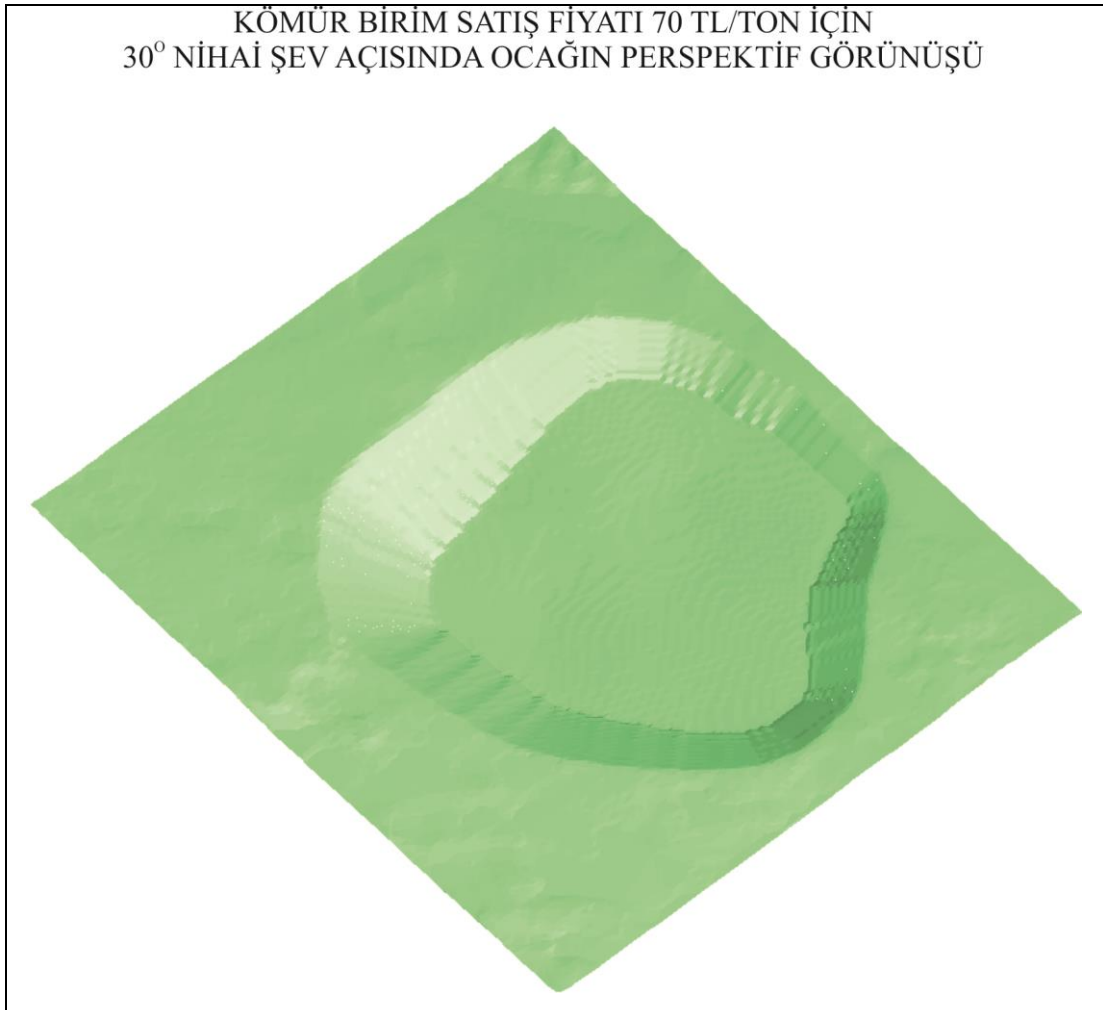


Şekil 4.13 Kömür birim satış fiyatı 65 TL/ton için 50° nihai şev açısındaki ocağın plan görünüşü ve A-A' doğrultusunda alınan kesit

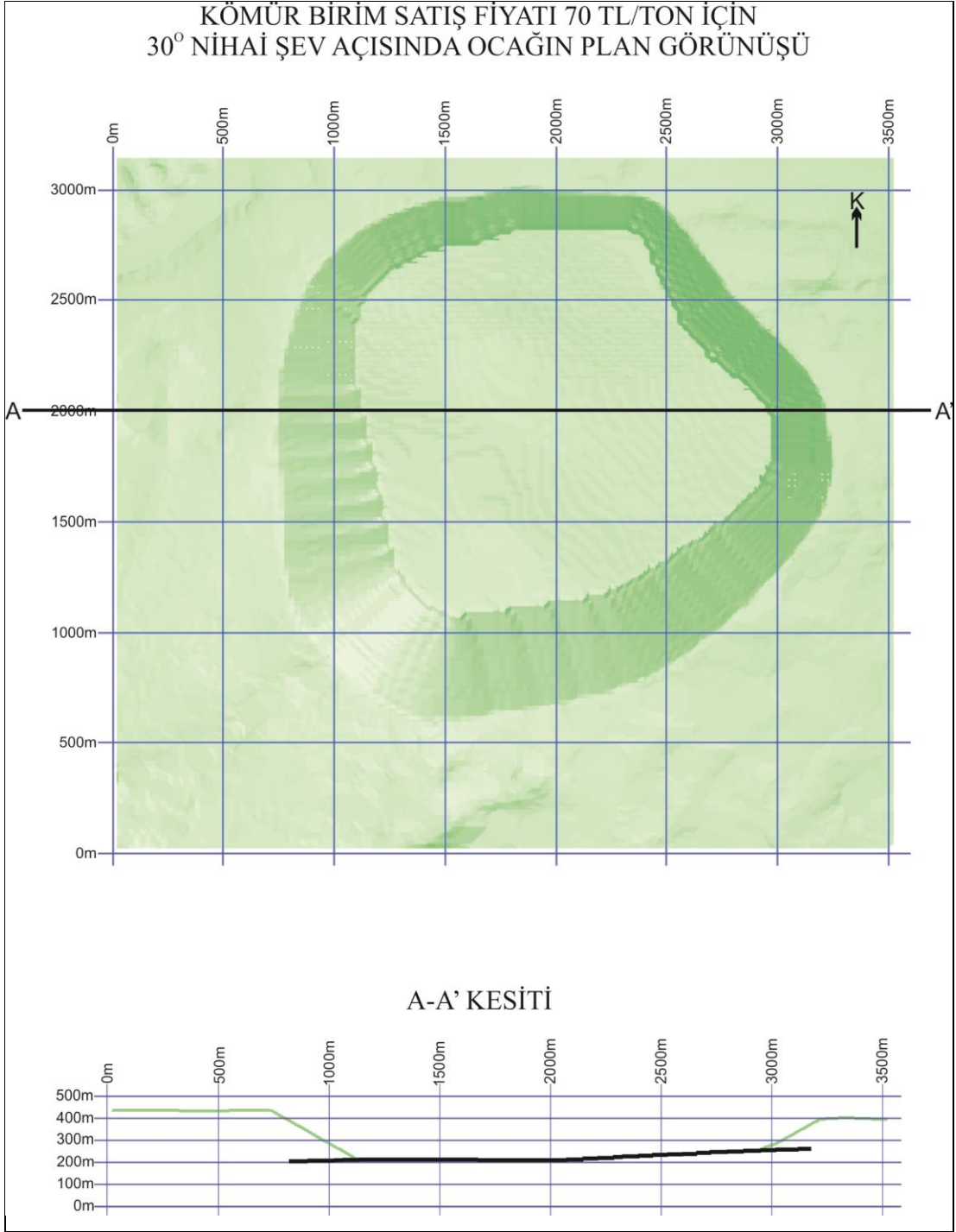
**Kömür birim satış fiyatı 70 TL/ton için 30° nihai şev açısında ocağın incelenmesi;**

Yapılan inceleme sonucunda 551010 adet dekapaj bloğu kazısı yapılarak 11286 adet kömür bloğu çıkarılmıştır. Toplam dekapaj miktarı 688,76 milyon m<sup>3</sup>, çıkarılan toplam kömür miktarı ise 19,75 milyon tondur. Bu durumda örtü kazı oranı 34,87 m<sup>3</sup>/ton olmaktadır. Bu parametreler dikkate alındığında, ocağın işletilmesi durumunda beklenen kar 5010000 TL'dir.

Şekil 4.14'te kömür birim satış fiyatı 70 TL/ton için 30° nihai şev açısındaki ocağın perspektif görünüşü verilmektedir. Şekil 4.15'te ise ocağın plan görünüşü ve belirtilen A-A' doğrultusunda alınan kesit verilmektedir.



Şekil 4.14 Kömür birim satış fiyatı 70 TL/ton için 30° nihai şev açısında ocağın perspektif görünüşü

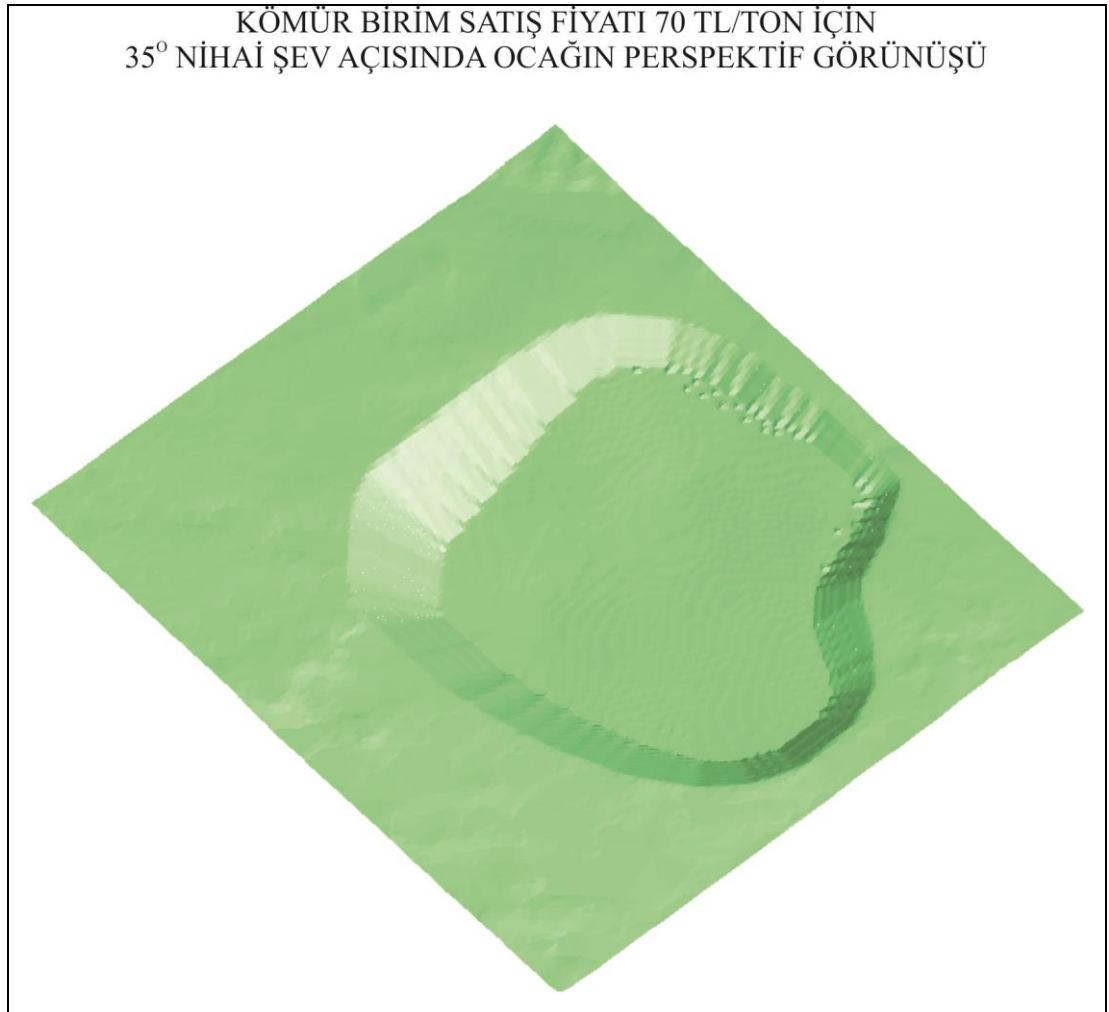


Şekil 4.15 Kömür birim satış fiyatı 70 TL/ton için 30° nihai şev açısındaki ocağın plan görünüşü ve A-A' doğrultusunda alınan kesit

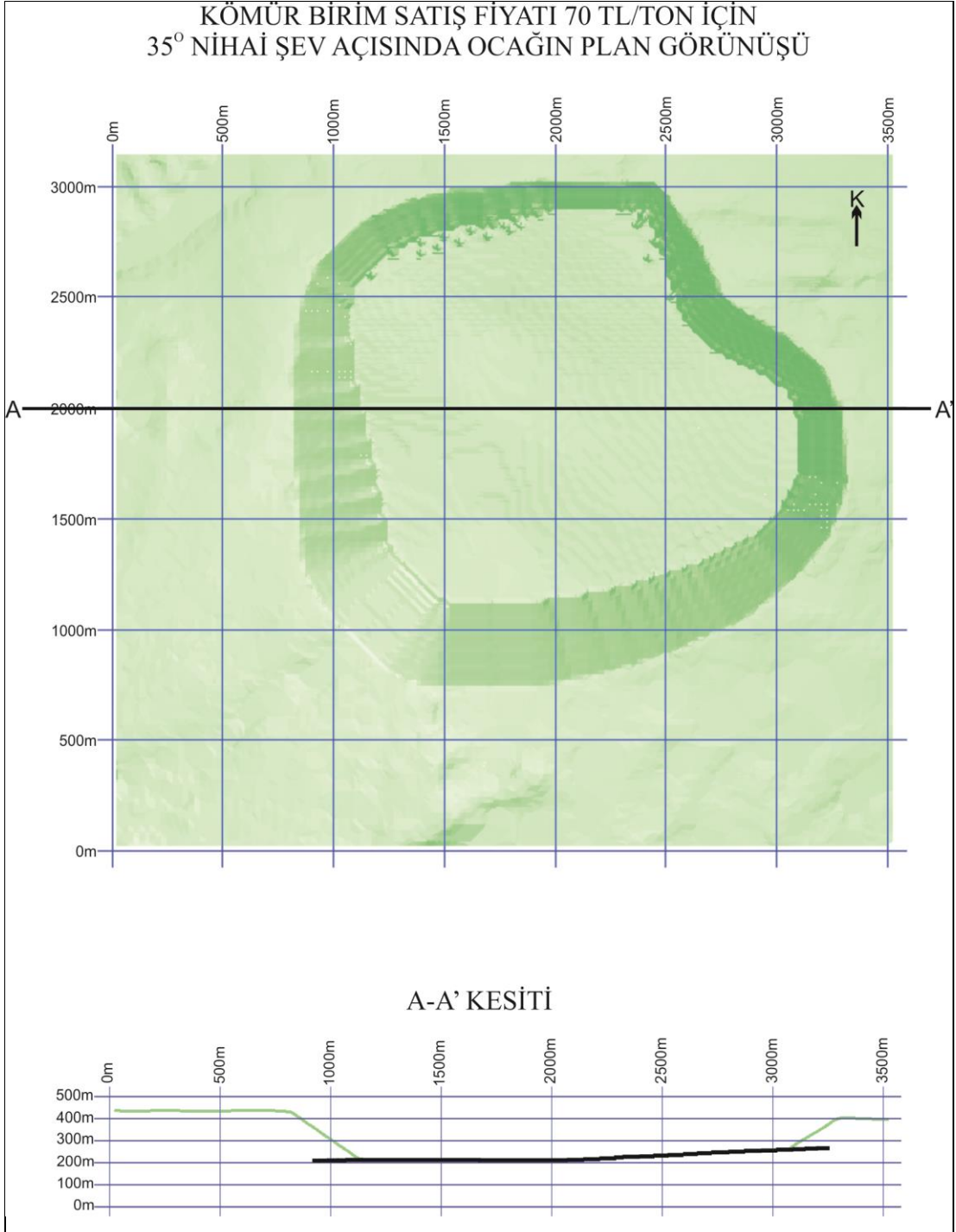
**Kömür birim satış fiyatı 70 TL/ton için 35° nihai şev açısında ocağın incelenmesi;**

Yapılan inceleme sonucunda 545236 adet dekapaj bloğu kazısı yapılarak 11772 adet kömür bloğu çıkarılmıştır. Toplam dekapaj miktarı 681,55 milyon m<sup>3</sup>, çıkarılan toplam kömür miktarı ise 20,60 milyon tondur. Bu durumda örtü kazı oranı 33,08 m<sup>3</sup>/ton olmaktadır. Bu parametreler dikkate alındığında, ocağın işletilmesi durumunda beklenen kar 78980000 TL'dir.

Şekil 4.16'da kömür birim satış fiyatı 70 TL/ton için 35° nihai şev açısındaki ocağın perspektif görünüşü verilmektedir. Şekil 4.17'de ise ocağın plan görünüşü ve belirtilen A-A' doğrultusunda alınan kesit verilmektedir.



Şekil 4.16 Kömür birim satış fiyatı 70 TL/ton için 35° nihai şev açısında ocağın perspektif görünüşü

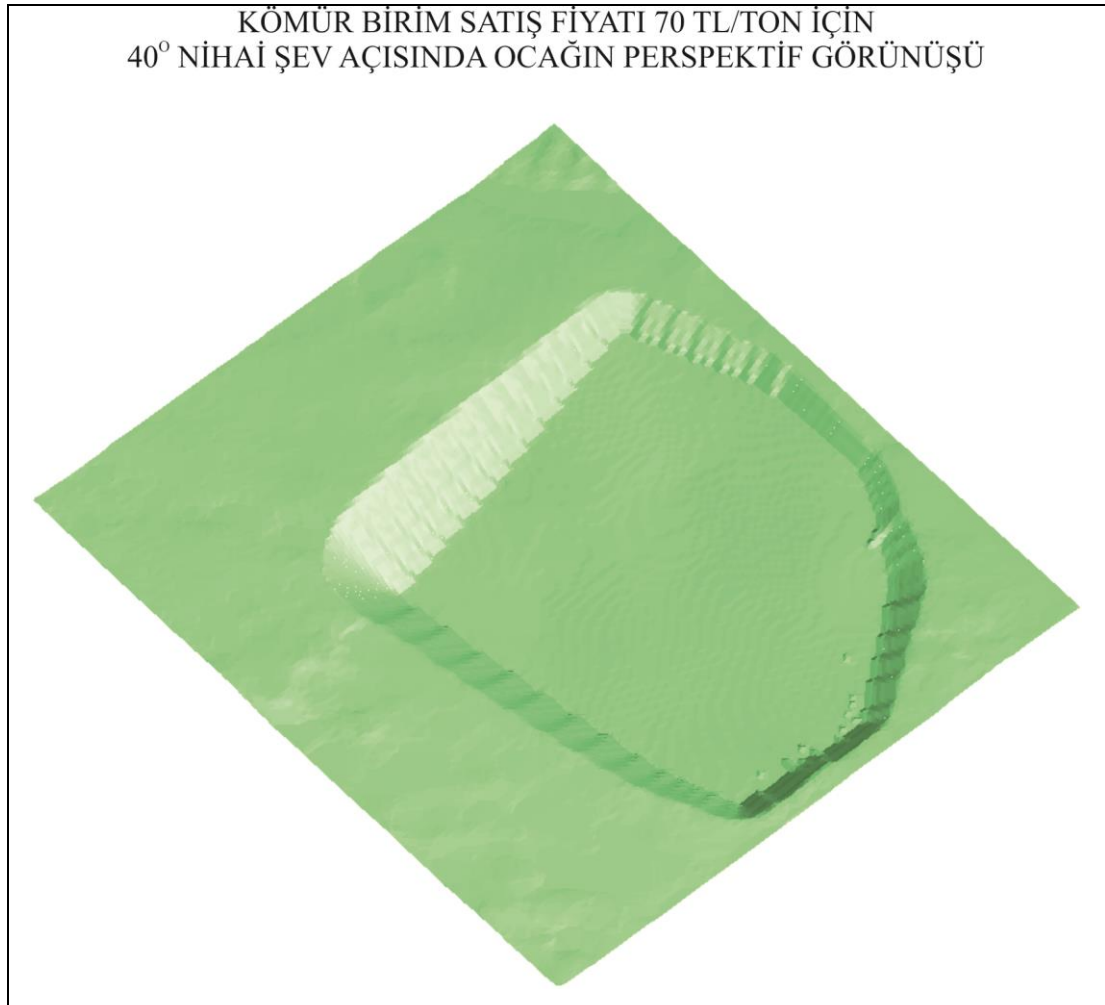


Şekil 4.17 Kömür birim satış fiyatı 70 TL/ton için 35° nihai şev açısındaki ocağın plan görünüşü ve A-A' doğrultusunda alınan kesit

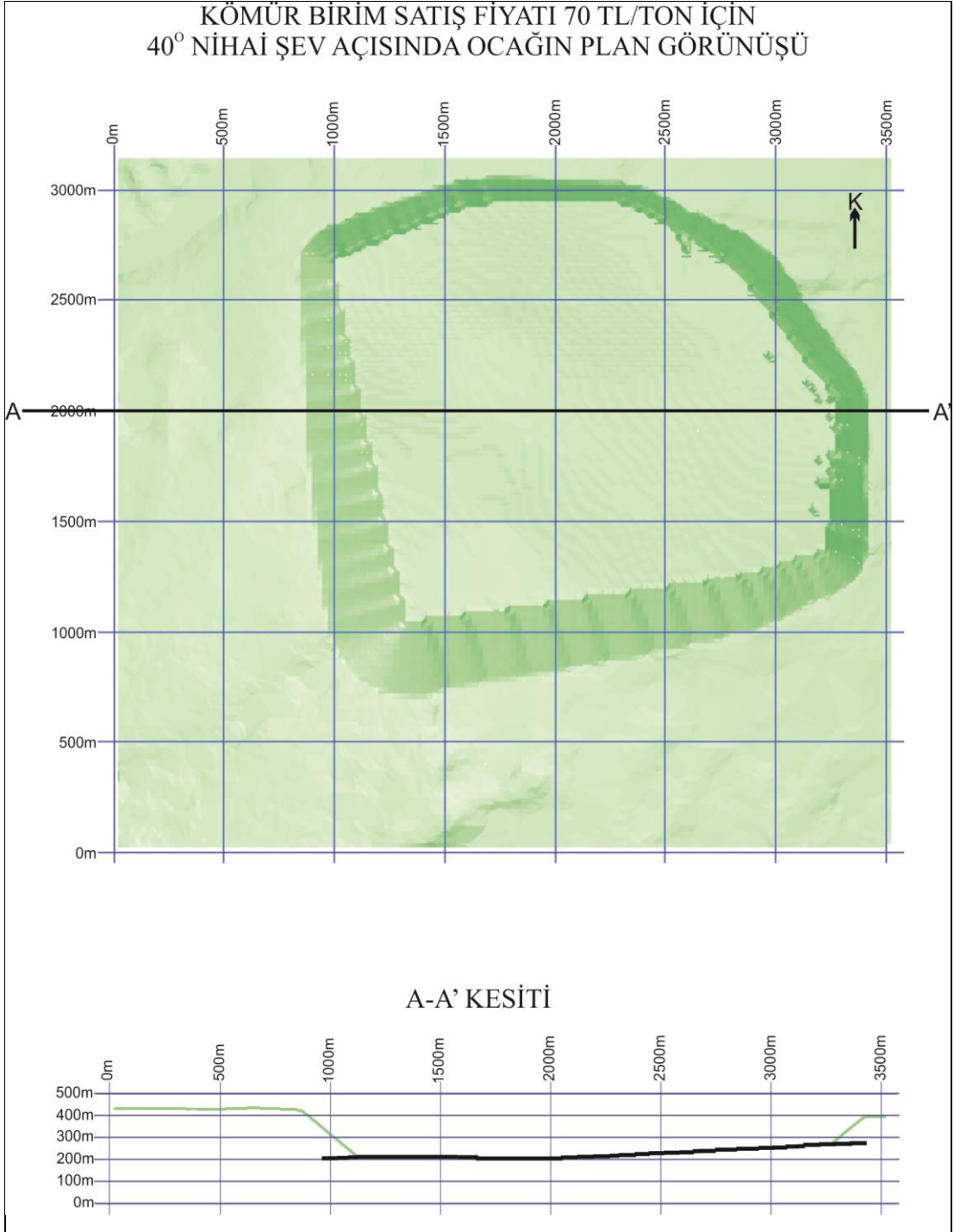
**Kömür birim satış fiyatı 70 TL/ton için 40° nihai şev açısında ocağın incelenmesi;**

Yapılan inceleme sonucunda 603224 adet dekapaj bloğu kazısı yapılarak 13348 adet kömür bloğu çıkarılmıştır. Toplam dekapaj miktarı 754,03 milyon m<sup>3</sup>, çıkarılan toplam kömür miktarı ise 23,36 milyon tondur. Bu durumda örtü kazı oranı 32,28 m<sup>3</sup>/ton olmaktadır. Bu parametreler dikkate alındığında, ocağın işletilmesi durumunda beklenen kar 127070000 TL'dir.

Şekil 4.18'de kömür birim satış fiyatı 70 TL/ton için 40° nihai şev açısındaki ocağın perspektif görünüşü verilmektedir. Şekil 4.19'da ise ocağın plan görünüşü ve belirtilen A-A' doğrultusunda alınan kesit verilmektedir.



Şekil 4.18 Kömür birim satış fiyatı 70 TL/ton için 40° nihai şev açısında ocağın perspektif görünüşü

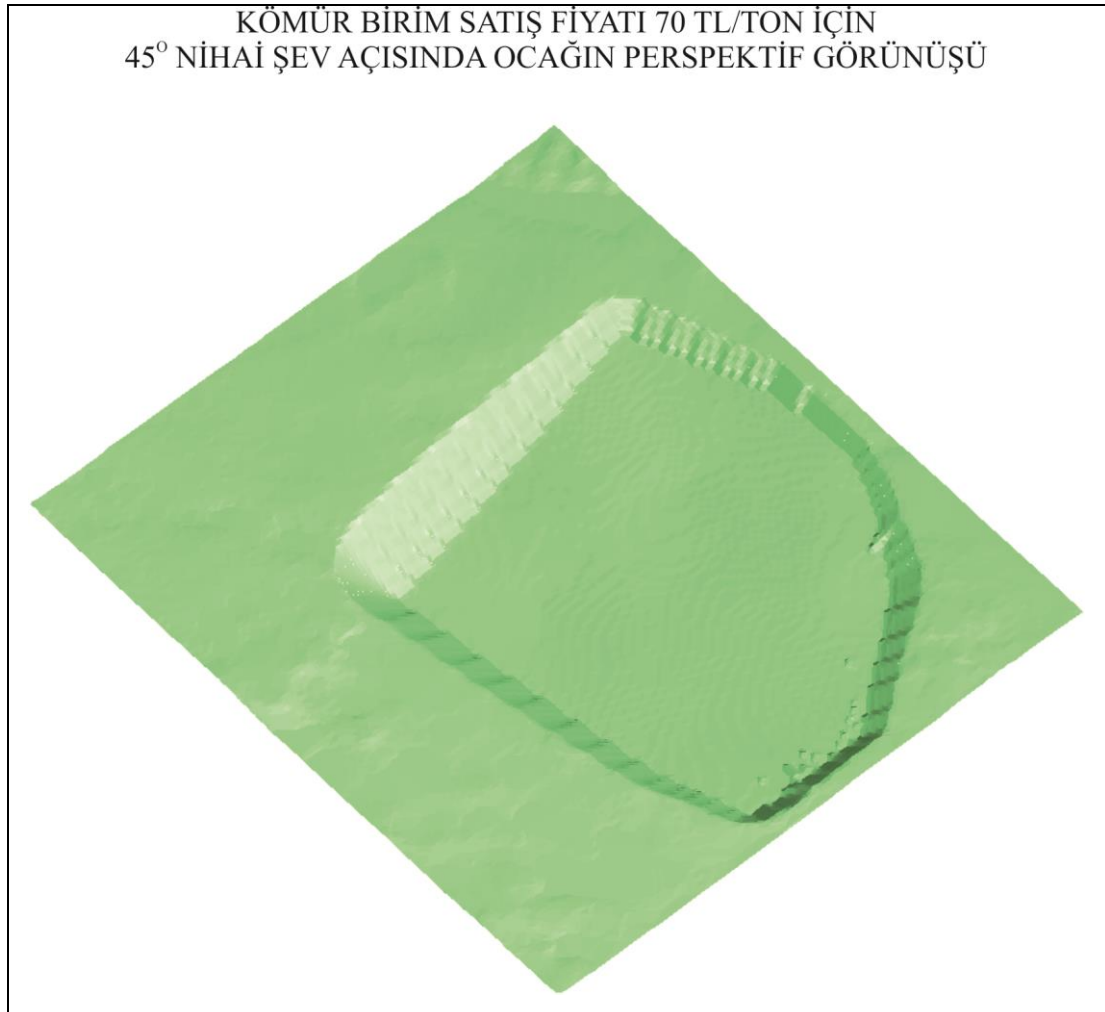


Şekil 4.19 Kömür birim satış fiyatı 70 TL/ton için 40° nihai şev açısındaki ocağın plan görünüşü ve A-A' doğrultusunda alınan kesit

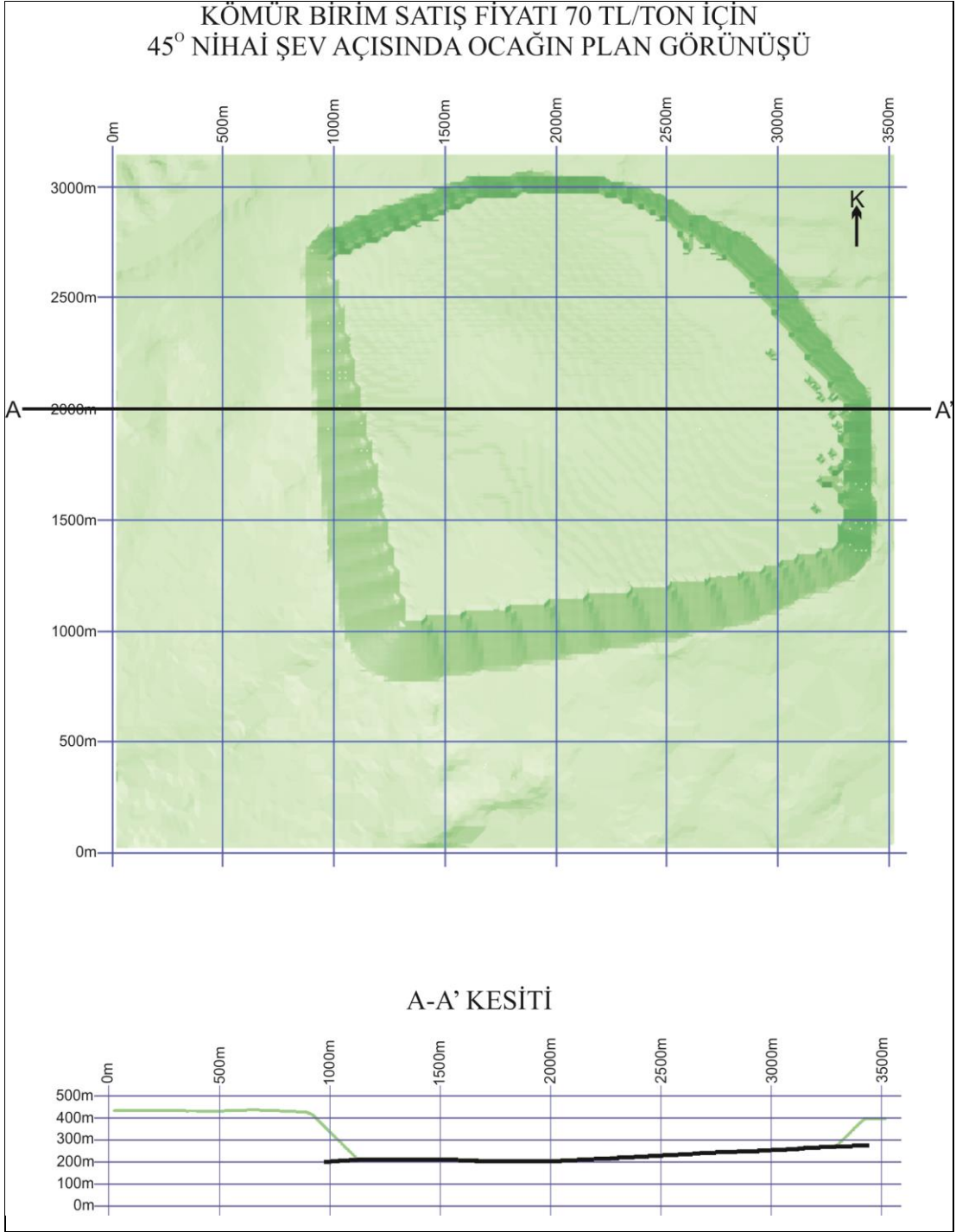
**Kömür birim satış fiyatı 70 TL/ton için 45° nihai şev açısında ocağın incelenmesi;**

Yapılan inceleme sonucunda 584852 adet dekapaj bloğu kazısı yapılarak 13402 adet kömür bloğu çıkarılmıştır. Toplam dekapaj miktarı 731,07 milyon m<sup>3</sup>, çıkarılan toplam kömür miktarı ise 23,45 milyon tondur. Bu durumda örtü kazı oranı 31,17 m<sup>3</sup>/ton olmaktadır. Bu parametreler dikkate alındığında, ocağın işletilmesi durumunda beklenen kar 179615000 TL'dir.

Şekil 4.20'de kömür birim satış fiyatı 70 TL/ton için 45° nihai şev açısındaki ocağın perspektif görünüşü verilmektedir. Şekil 4.21'de ise ocağın plan görünüşü ve belirtilen A-A' doğrultusunda alınan kesit verilmektedir.



Şekil 4.20 Kömür birim satış fiyatı 70 TL/ton için 45° nihai şev açısında ocağın perspektif görünüşü

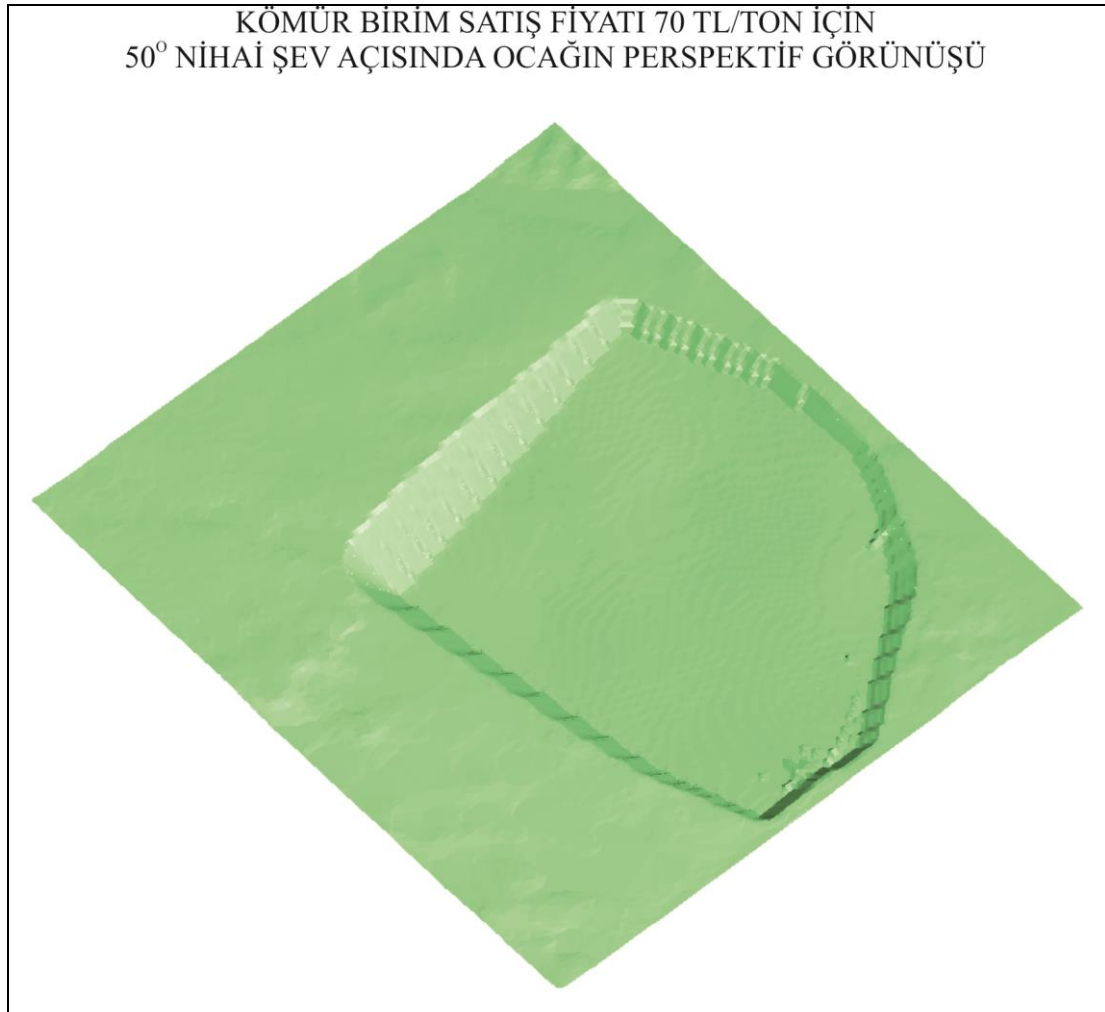


Şekil 4.21 Kömür birim satış fiyatı 70 TL/ton için 45° nihai şev açısındaki ocağın plan görünüşü ve A-A' doğrultusunda alınan kesit

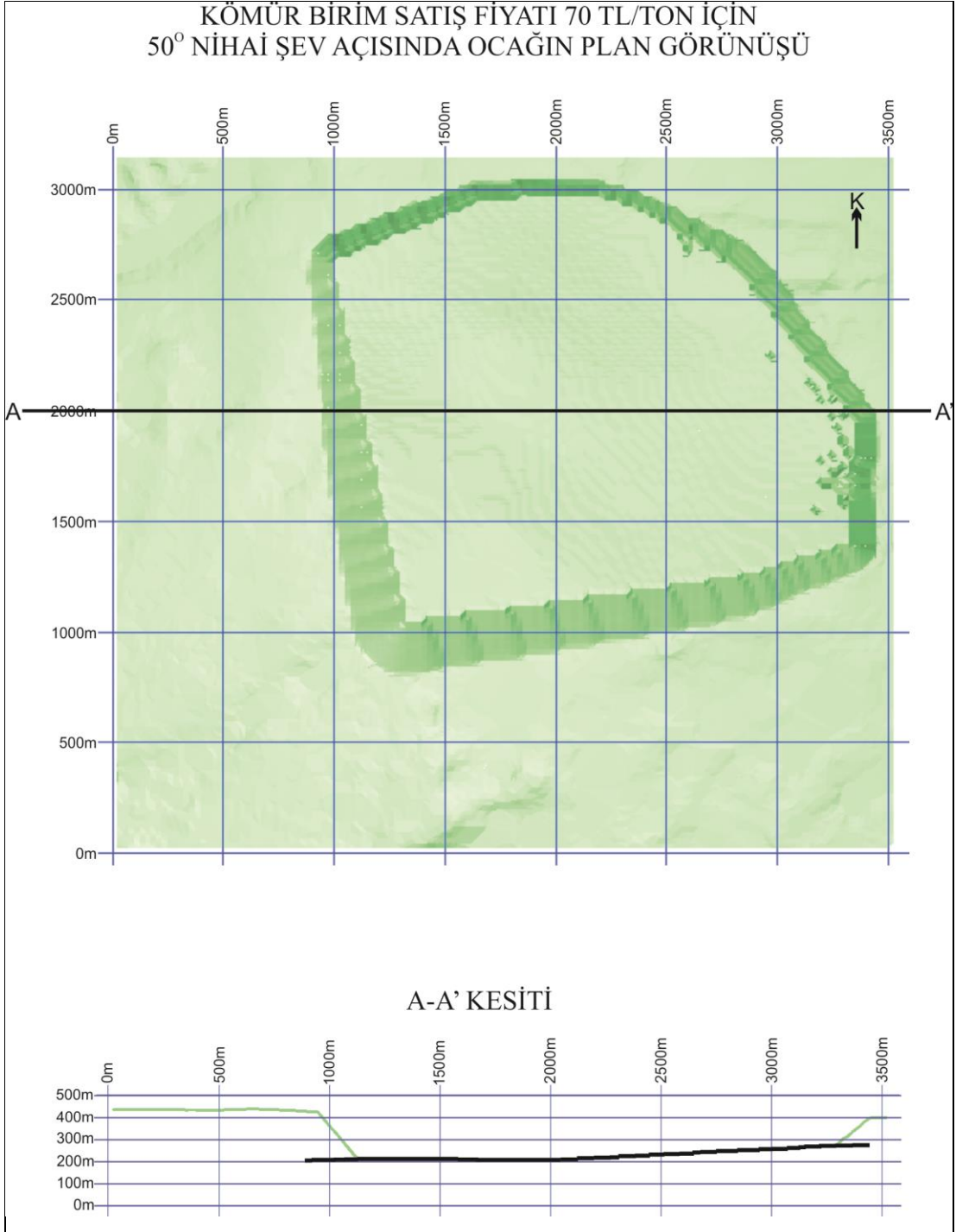
**Kömür birim satış fiyatı 70 TL/ton için 50° nihai şev açısında ocağın incelenmesi;**

Yapılan inceleme sonucunda 569990 adet dekapaj bloğu kazısı yapılarak 13434 adet kömür bloğu çıkarılmıştır. Toplam dekapaj miktarı 712,49 milyon m<sup>3</sup>, çıkarılan toplam kömür miktarı ise 23,51 milyon tondur. Bu durumda örtü kazı oranı 30,31 m<sup>3</sup>/ton olmaktadır. Bu parametreler dikkate alındığında, ocağın işletilmesi durumunda beklenen kar 220690000 TL'dir.

Şekil 4.22'de kömür birim satış fiyatı 70 TL/ton için 50° nihai şev açısındaki ocağın perspektif görünüşü verilmektedir. Şekil 4.23'te ise ocağın plan görünüşü ve belirtilen A-A' doğrultusunda alınan kesit verilmektedir.



Şekil 4.22 Kömür birim satış fiyatı 70 TL/ton için 50° nihai şev açısında ocağın perspektif görünüşü

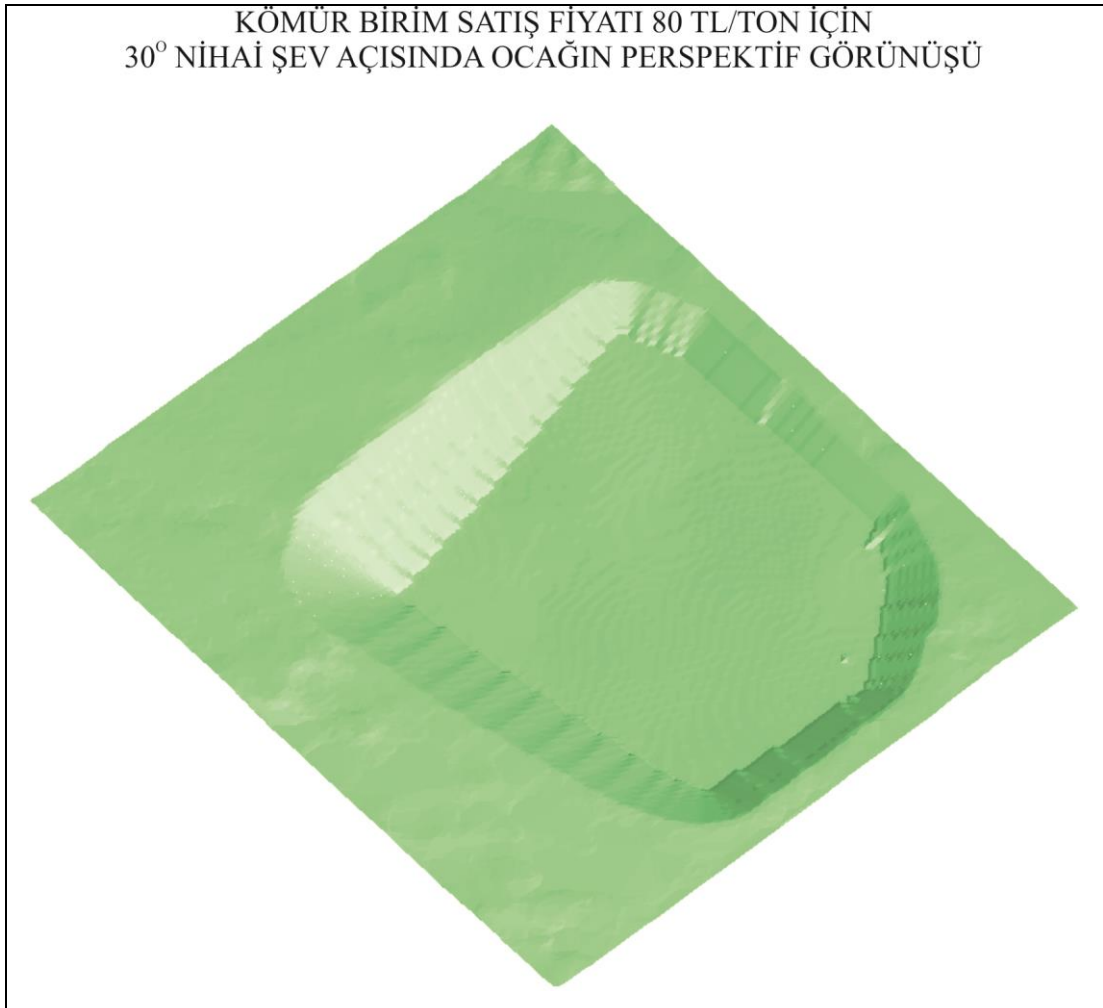


Şekil 4.23 Kömür birim satış fiyatı 70 TL/ton için 50° nihai şev açısındaki ocağın plan görünüşü ve A-A' doğrultusunda alınan kesit

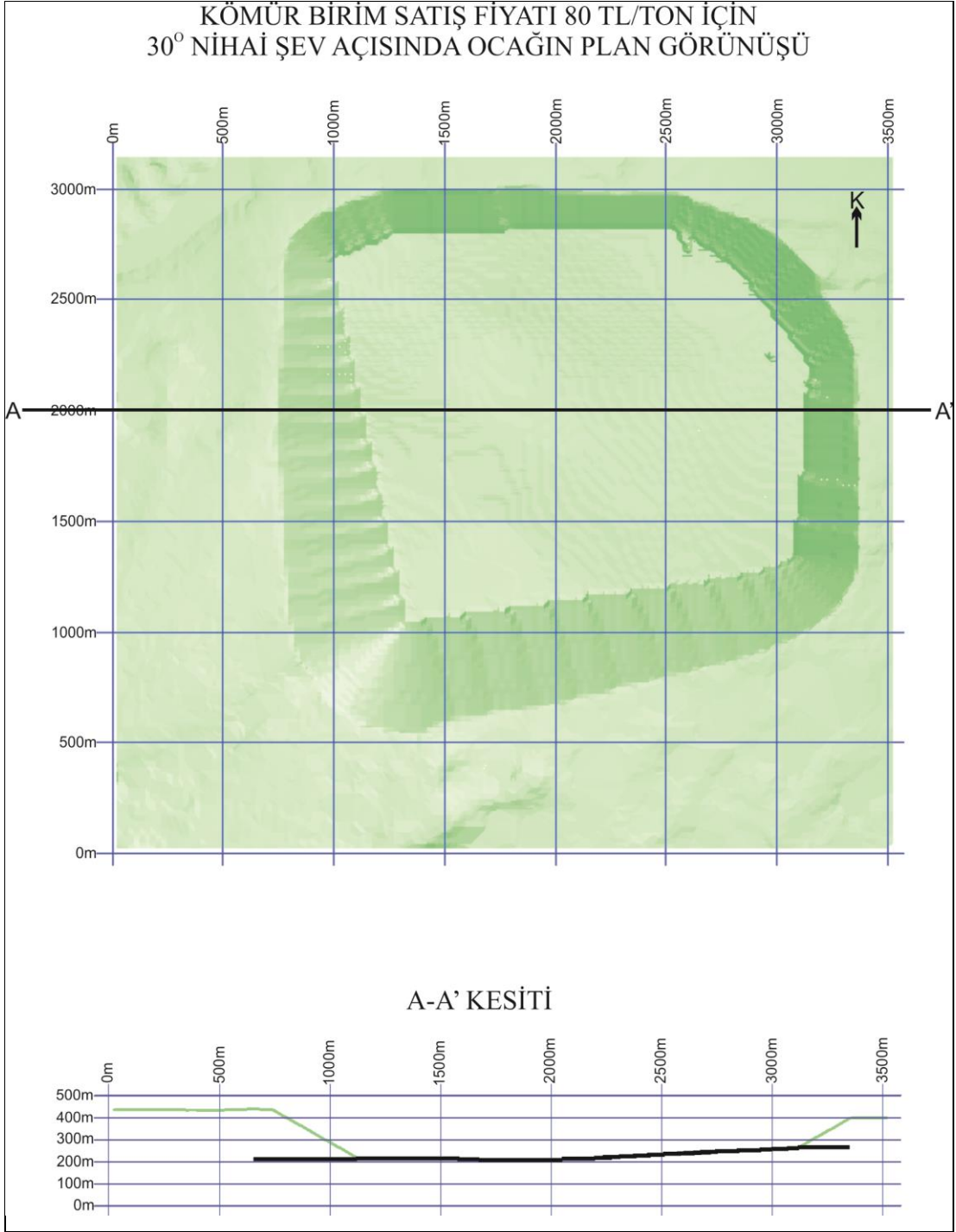
**Kömür birim satış fiyatı 80 TL/ton için 30° nihai şev açısında ocağın incelenmesi;**

Yapılan inceleme sonucunda 646159 adet dekapaj bloğu kazısı yapılarak 12911 adet kömür bloğu çıkarılmıştır. Toplam dekapaj miktarı 807,70 milyon m<sup>3</sup>, çıkarılan toplam kömür miktarı ise 22,59 milyon tondur. Bu durumda örtü kazı oranı 35,75 m<sup>3</sup>/ton olmaktadır. Bu parametreler dikkate alındığında, ocağın işletilmesi durumunda beklenen kar 192142500 TL'dir.

Şekil 4.24'te kömür birim satış fiyatı 80 TL/ton için 30° nihai şev açısındaki ocağın perspektif görünüşü verilmektedir. Şekil 4.25'te ise ocağın plan görünüşü ve belirtilen A-A' doğrultusunda alınan kesit verilmektedir.



Şekil 4.24 Kömür birim satış fiyatı 80 TL/ton için 30° nihai şev açısında ocağın perspektif görünüşü

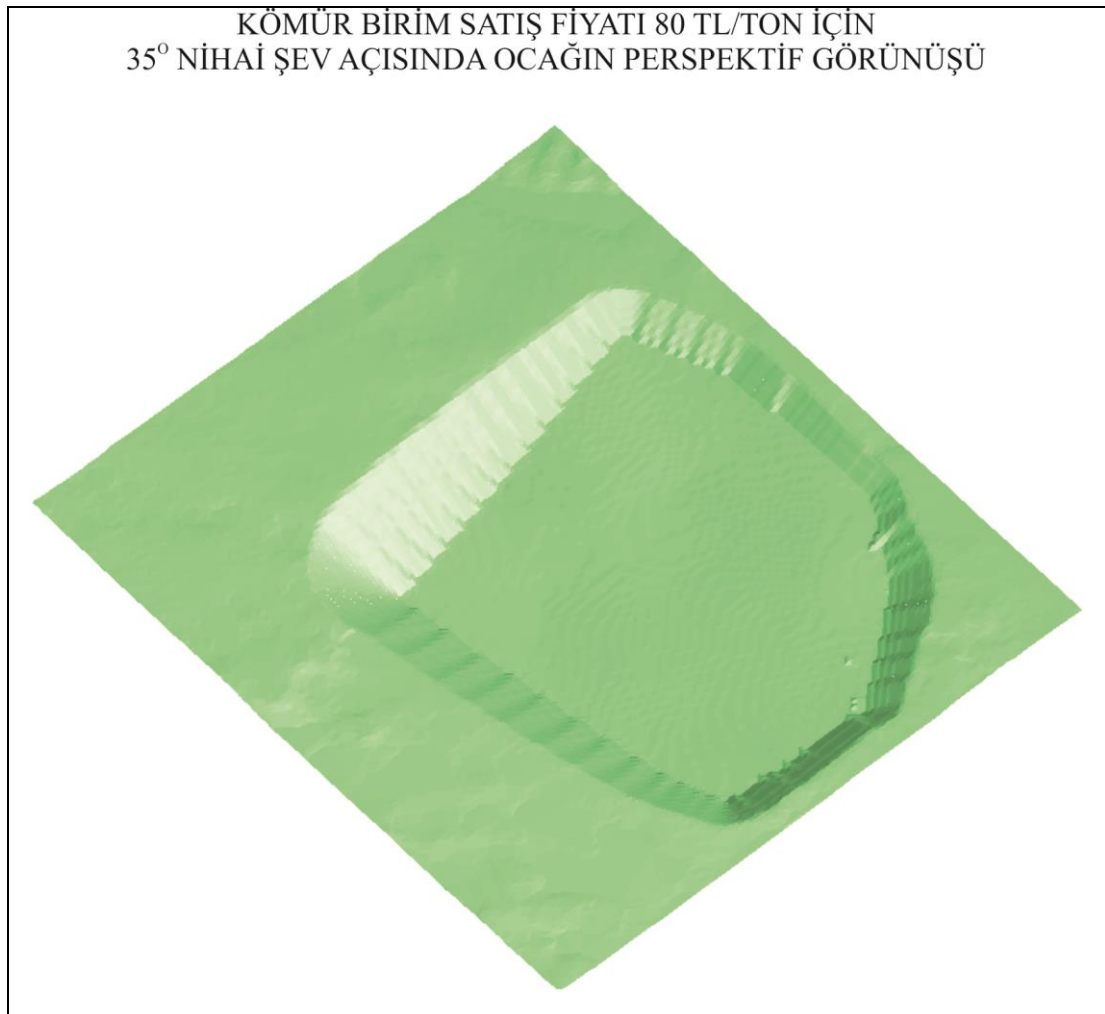


Şekil 4.25 Kömür birim satış fiyatı 80 TL/ton için 30° nihai şev açısındaki ocağın plan görünüşü ve A-A' doğrultusunda alınan kesit

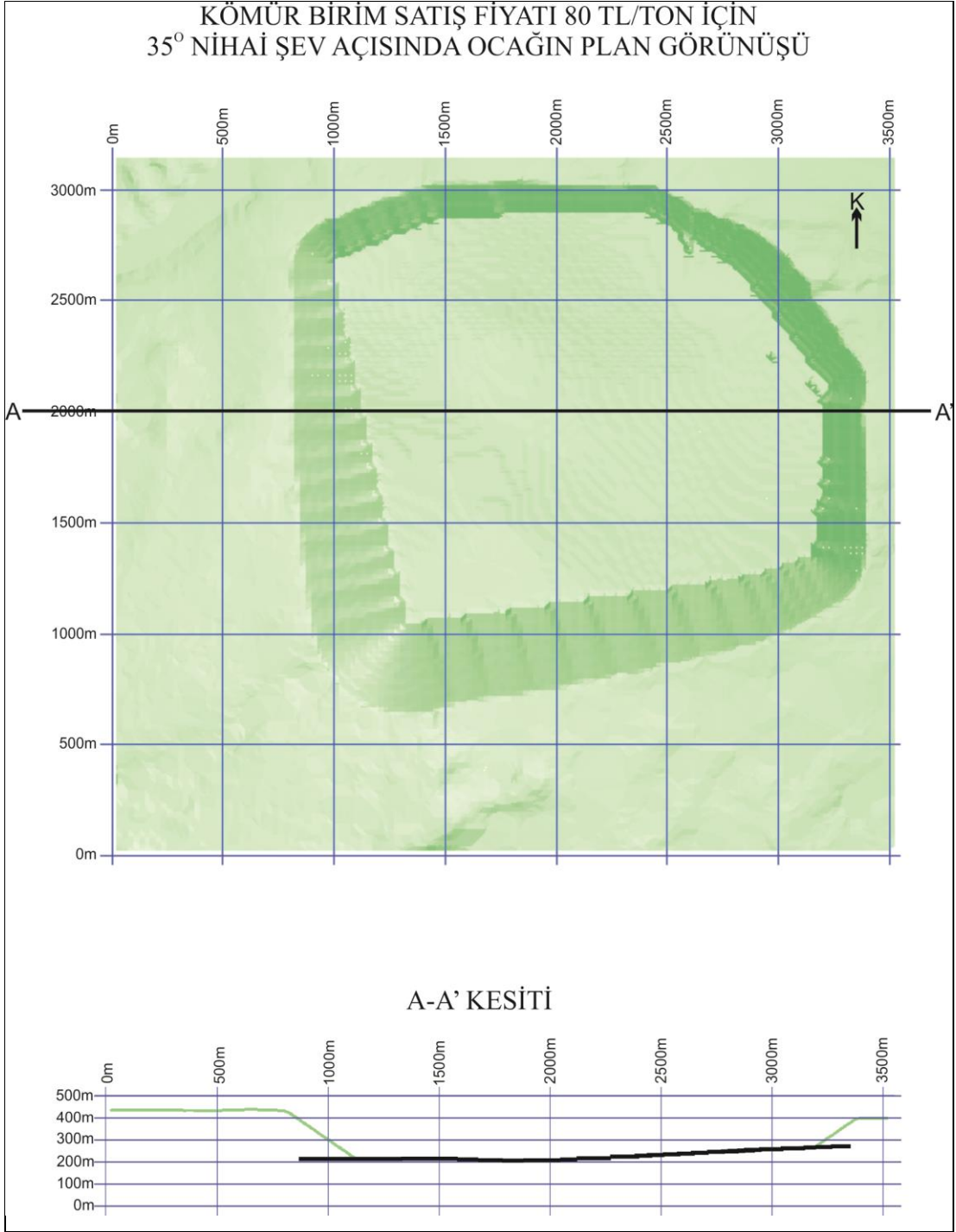
**Kömür birim satış fiyatı 80 TL/ton için 35° nihai şev açısında ocağın incelenmesi;**

Yapılan inceleme sonucunda 622875 adet dekapaj bloğu kazısı yapılarak 13192 adet kömür bloğu çıkarılmıştır. Toplam dekapaj miktarı 778,59 milyon m<sup>3</sup>, çıkarılan toplam kömür miktarı ise 23,09 milyon tondur. Bu durumda örtü kazı oranı 33,73 m<sup>3</sup>/ton olmaktadır. Bu parametreler dikkate alındığında, ocağın işletilmesi durumunda beklenen kar 289692500 TL'dir.

Şekil 4.26'da kömür birim satış fiyatı 80 TL/ton için 35° nihai şev açısındaki ocağın perspektif görünüşü verilmektedir. Şekil 4.27'de ise ocağın plan görünüşü ve belirtilen A-A' doğrultusunda alınan kesit verilmektedir.



Şekil 4.26 Kömür birim satış fiyatı 80 TL/ton için 35° nihai şev açısında ocağın perspektif görünüşü

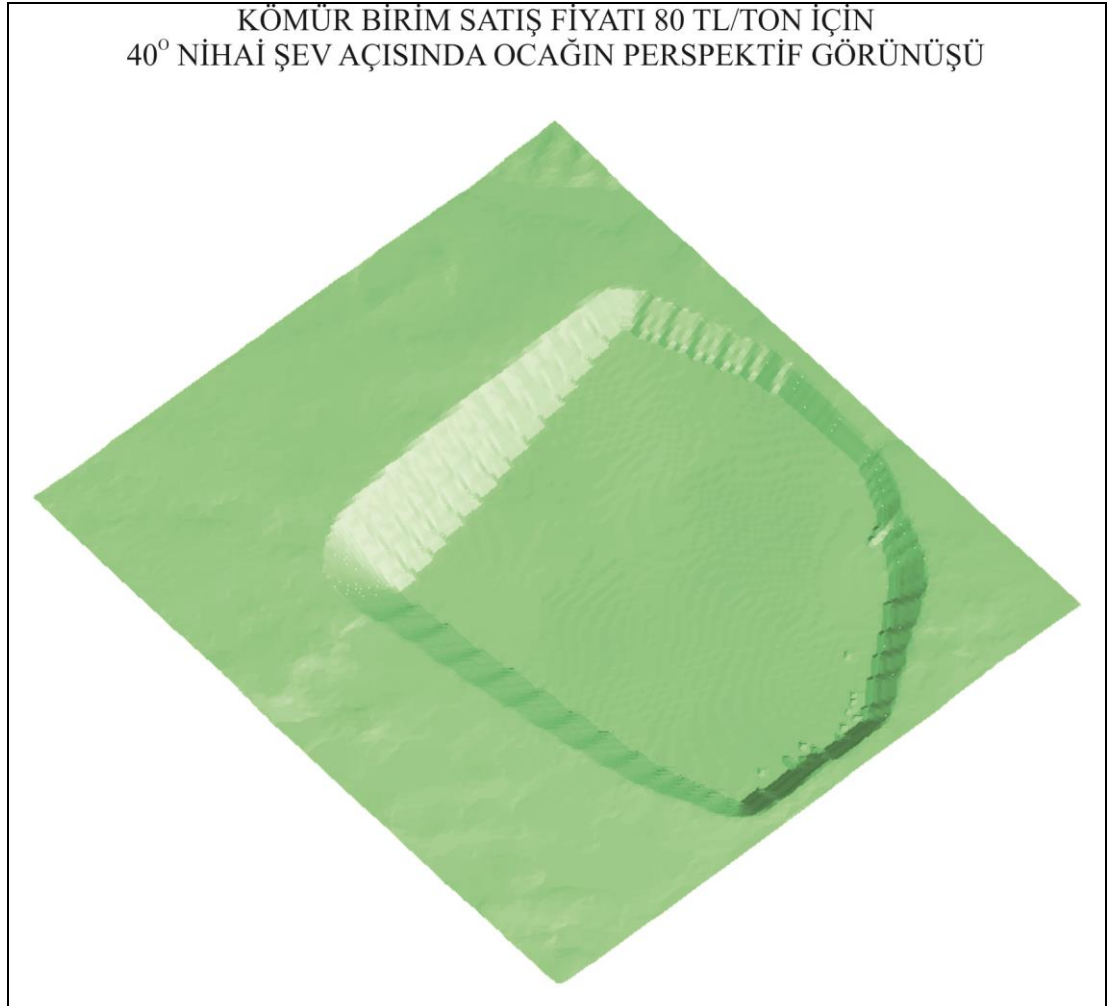


Şekil 4.27 Kömür birim satış fiyatı 80 TL/ton için 35° nihai şev açısındaki ocağın plan görünüşü ve A-A' doğrultusunda alınan kesit

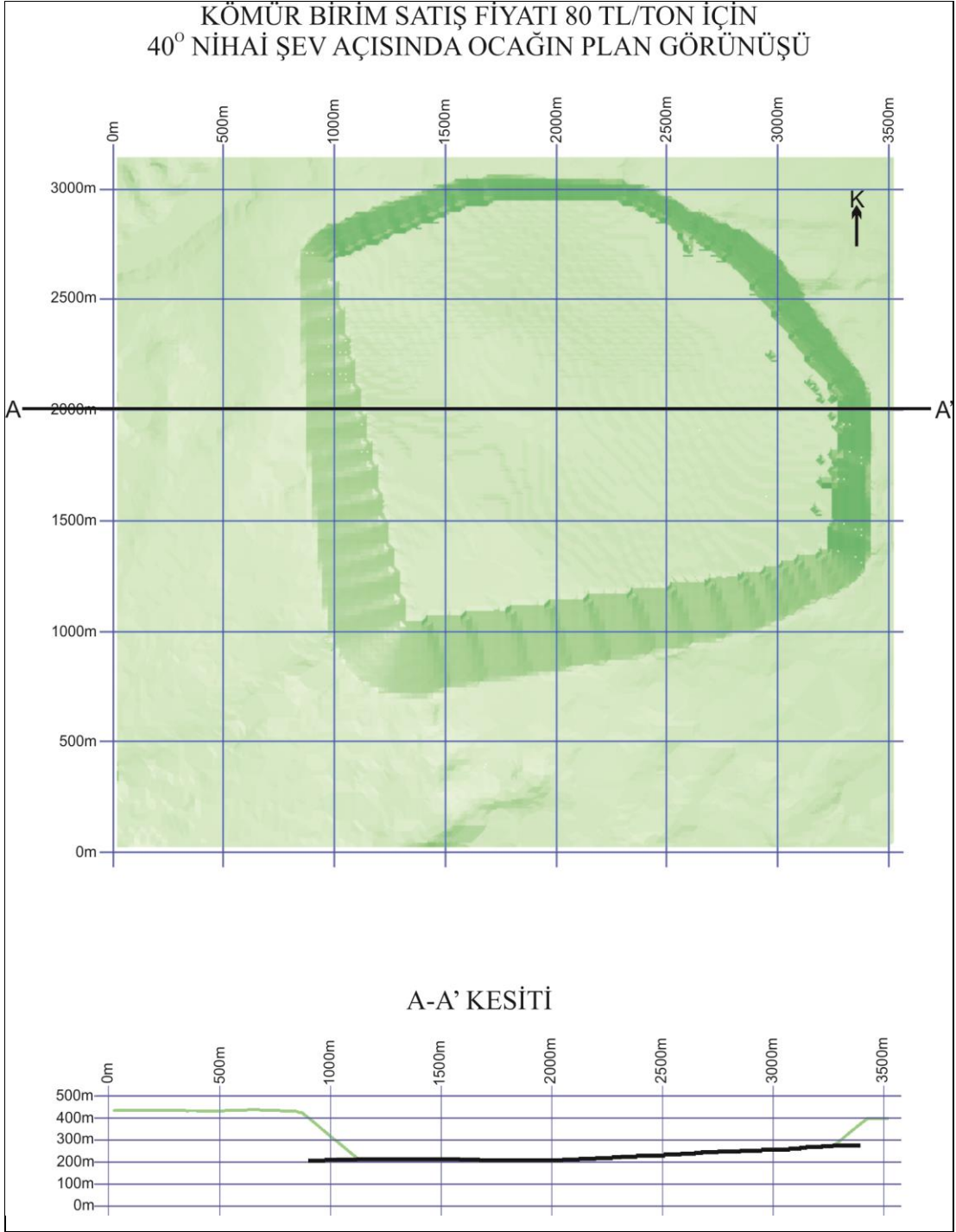
**Kömür birim satış fiyatı 80 TL/ton için 40° nihai şev açısında ocağın incelenmesi;**

Yapılan inceleme sonucunda 603224 adet dekapaj bloğu kazısı yapılarak 13348 adet kömür bloğu çıkarılmıştır. Toplam dekapaj miktarı 754,03 milyon m<sup>3</sup>, çıkarılan toplam kömür miktarı ise 23,36 milyon tondur. Bu durumda örtü kazı oranı 32,28 m<sup>3</sup>/ton olmaktadır. Bu parametreler dikkate alındığında, ocağın işletilmesi durumunda beklenen kar 360660000 TL'dir.

Şekil 4.28'de kömür birim satış fiyatı 80 TL/ton için 40° nihai şev açısındaki ocağın perspektif görünüşü verilmektedir. Şekil 4.29'da ise ocağın plan görünüşü ve belirtilen A-A' doğrultusunda alınan kesit verilmektedir.



Şekil 4.28 Kömür birim satış fiyatı 80 TL/ton için 40° nihai şev açısında ocağın perspektif görünüşü

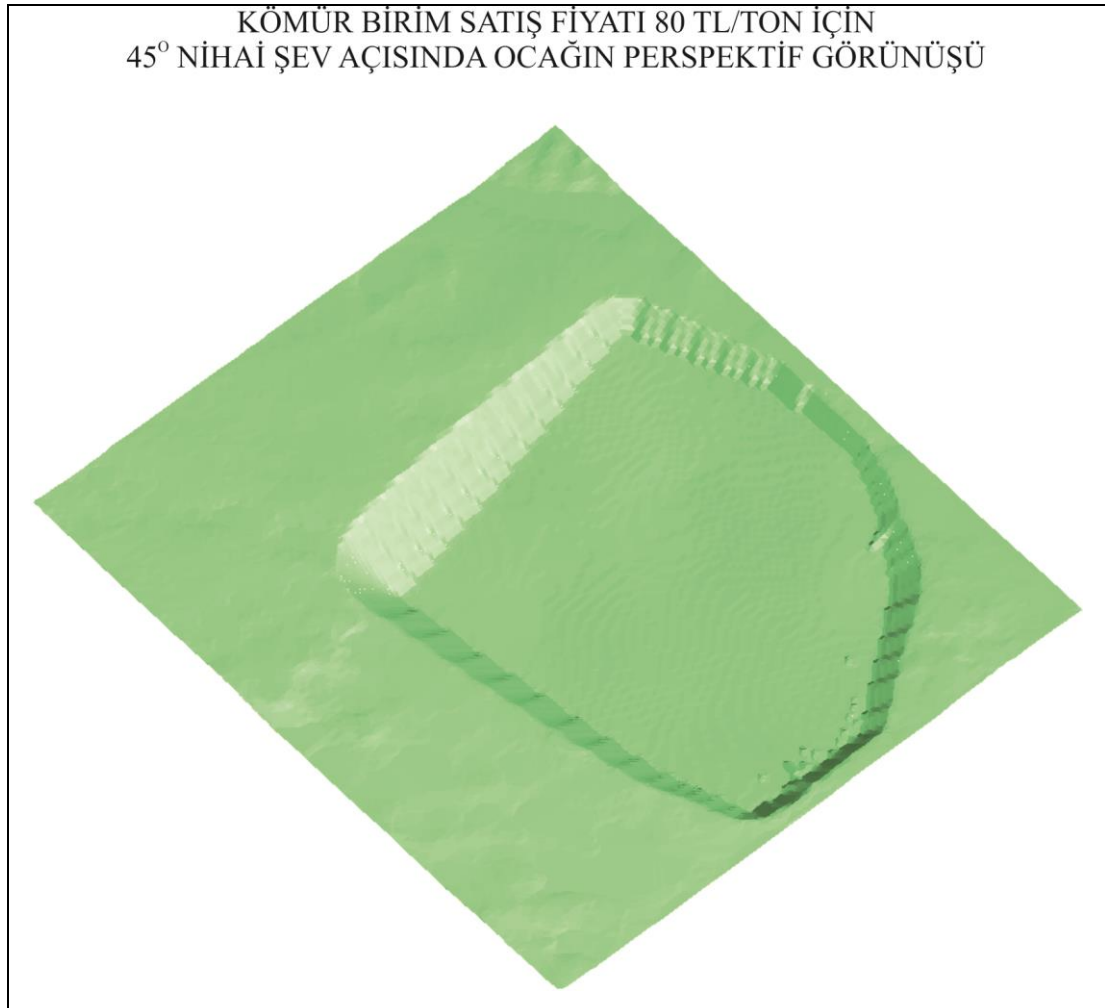


Şekil 4.29 Kömür birim satış fiyatı 80 TL/ton için 40° nihai şev açısındaki ocağın plan görünüşü ve A-A' doğrultusunda alınan kesit

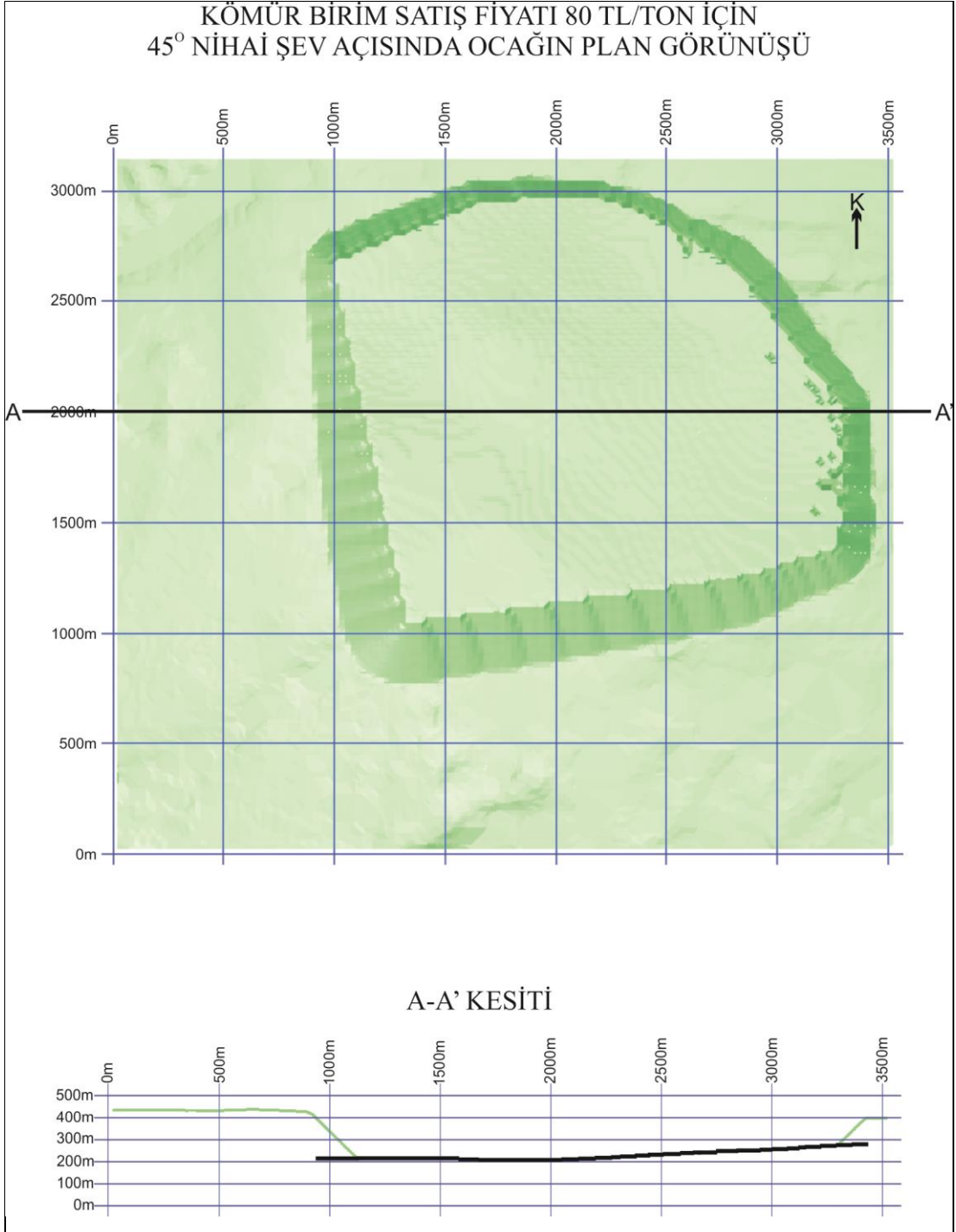
**Kömür birim satış fiyatı 80 TL/ton için 45° nihai şev açısında ocağın incelenmesi;**

Yapılan inceleme sonucunda 584852 adet dekapaj bloğu kazısı yapılarak 13402 adet kömür bloğu çıkarılmıştır. Toplam dekapaj miktarı 731,07 milyon m<sup>3</sup>, çıkarılan toplam kömür miktarı ise 23,45 milyon tondur. Bu durumda örtü kazı oranı 31,17 m<sup>3</sup>/ton olmaktadır. Bu parametreler dikkate alındığında, ocağın işletilmesi durumunda beklenen kar 414150000 TL'dir.

Şekil 4.30'da kömür birim satış fiyatı 80 TL/ton için 45° nihai şev açısındaki ocağın perspektif görünüşü verilmektedir. Şekil 4.31'de ise ocağın plan görünüşü ve belirtilen A-A' doğrultusunda alınan kesit verilmektedir.



Şekil 4.30 Kömür birim satış fiyatı 80 TL/ton için 45° nihai şev açısında ocağın perspektif görünüşü

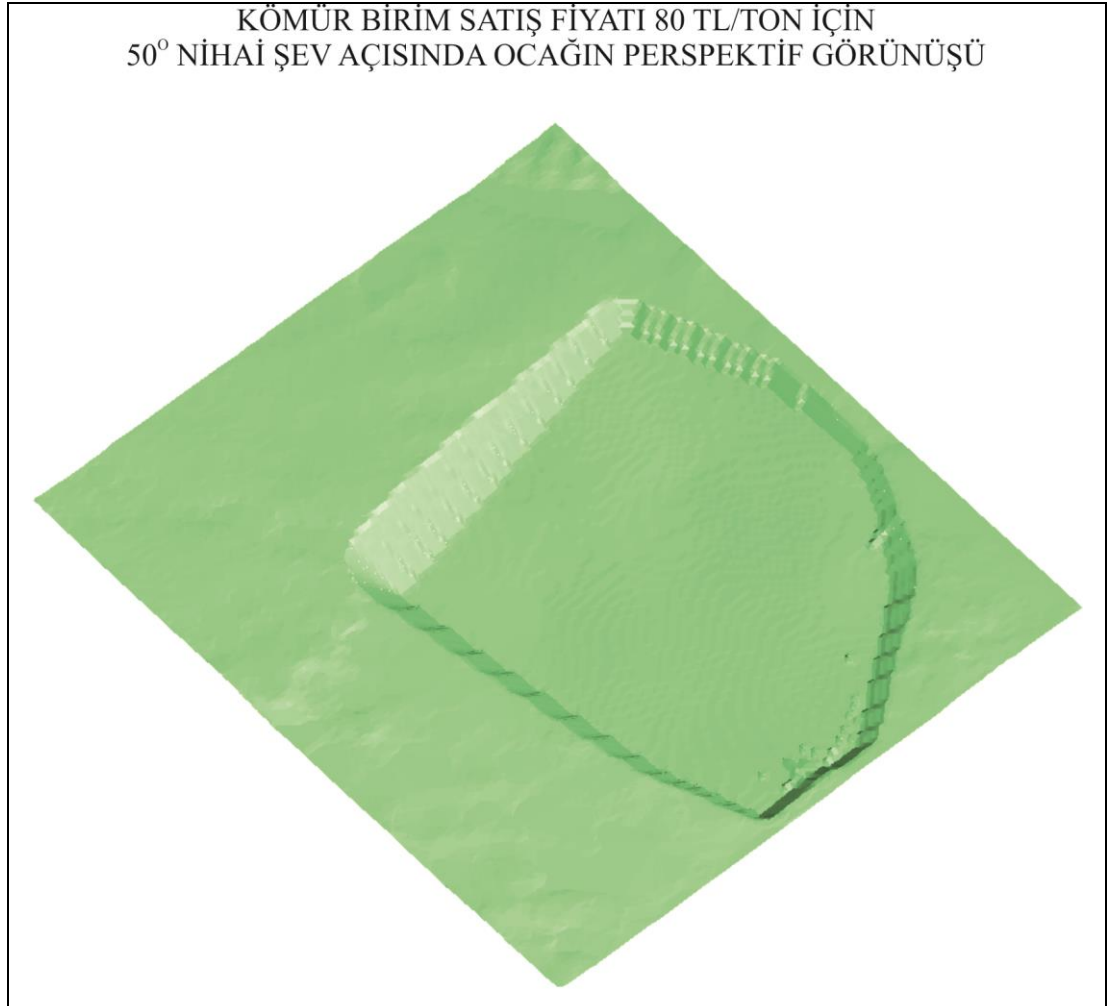


Şekil 4.31 Kömür birim satış fiyatı 80 TL/ton için 45° nihai şev açısındaki ocağın plan görünüşü ve A-A' doğrultusunda alınan kesit

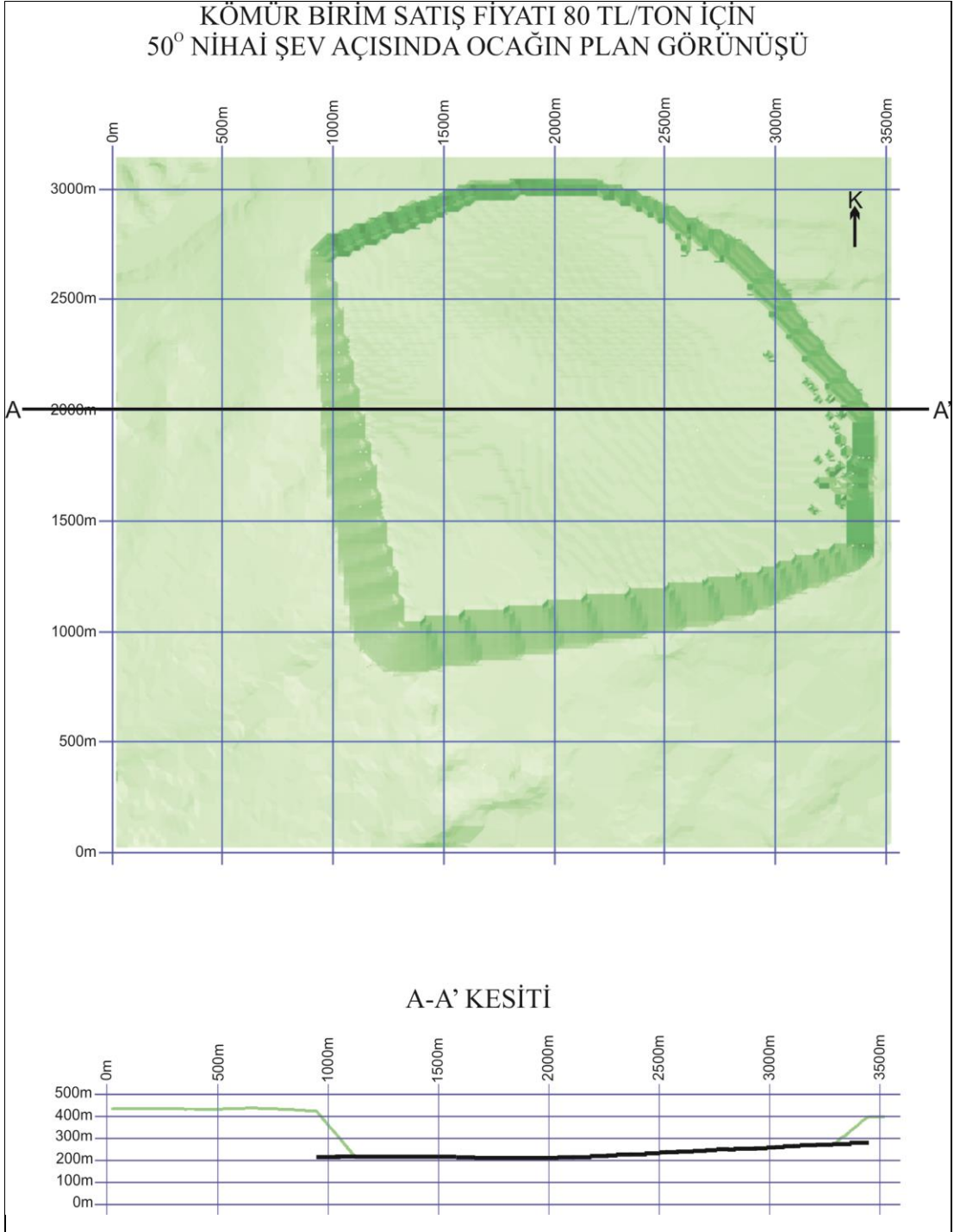
**Kömür birim satış fiyatı 80 TL/ton için 50° nihai şev açısında ocağın incelenmesi;**

Yapılan inceleme sonucunda 569910 adet dekapaj bloğu kazısı yapılarak 13433 adet kömür bloğu çıkarılmıştır. Toplam dekapaj miktarı 712,39 milyon m<sup>3</sup>, çıkarılan toplam kömür miktarı ise 23,51 milyon tondur. Bu durumda örtü kazı oranı 30,30 m<sup>3</sup>/ton olmaktadır. Bu parametreler dikkate alındığında, ocağın işletilmesi durumunda beklenen kar 455845000 TL'dir.

Şekil 4.32'de kömür birim satış fiyatı 80 TL/ton için 50° nihai şev açısındaki ocağın perspektif görünüşü verilmektedir. Şekil 4.33'te ise ocağın plan görünüşü ve belirtilen A-A' doğrultusunda alınan kesit verilmektedir.



Şekil 4.32 Kömür birim satış fiyatı 80 TL/ton için 50° nihai şev açısında ocağın perspektif görünüşü



Şekil 4.33 Kömür birim satış fiyatı 80 TL/ton için 50° nihai şev açısındaki ocağın plan görünüşü ve A-A' doğrultusunda alınan kesit

**T.K.İ. Yatağan-Turgut kömür madeni nihai ocak sınır tespiti için yapılan çalışmanın toplu sonuçları;**

T.K.İ. Yatağan-Turgut kömür madeni nihai ocak sınır tespiti için yapılan çalışmanın toplu sonuçları Tablo 4.1’de verilmektedir.

Tablo 4.1 T.K.İ. Yatağan-Turgut kömür madeni nihai ocak sınır tespiti için yapılan çalışmanın toplu sonuçları

Kömür Satış Fiyatı (TL)			Nihai Ocak Şev Açısı (Derece)				
Birim Fiyat (TL/Ton)	Birim Blok Fiyatı (TL/Blok)		30°	35°	40°	45°	50°
50	87500	Pozitif Blok Sayısı	0	0	0	0	0
		Negatif Blok Sayısı	0	0	0	0	0
		Toplam Kömür Kazısı (ton)	0	0	0	0	0
		Toplam Dekapaj (m <sup>3</sup> )	0	0	0	0	0
		Örtü Kazı Oranı (m <sup>3</sup> /ton)	-	-	-	-	-
		Toplam Kar (TL)	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
60	105000	Pozitif Blok Sayısı	0	0	0	0	11183
		Negatif Blok Sayısı	0	0	0	0	457453
		Toplam Kömür Kazısı (ton)	0	0	0	0	19570250
		Toplam Dekapaj (m <sup>3</sup> )	0	0	0	0	571816250
		Örtü Kazı Oranı (m <sup>3</sup> /ton)	-	-	-	-	29,22
		Toplam Kar (TL)	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>30582500</b>
63	110300	Pozitif Blok Sayısı	0	0	0	11330	12556
		Negatif Blok Sayısı	0	0	0	480507	527926
		Toplam Kömür Kazısı (ton)	0	0	0	19827500	21973000
		Toplam Dekapaj (m <sup>3</sup> )	0	0	0	600633750	659907500
		Örtü Kazı Oranı (m <sup>3</sup> /ton)	-	-	-	30,29	30,03
		Toplam Kar (TL)	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>48431500</b>	<b>65111800</b>
65	113800	Pozitif Blok Sayısı	0	0	11332	12621	13434
		Negatif Blok Sayısı	0	0	494173	545456	569990
		Toplam Kömür Kazısı (ton)	0	0	19831000	22086750	23509500
		Toplam Dekapaj (m <sup>3</sup> )	0	0	617716250	681820000	712487500
		Örtü Kazı Oranı (m <sup>3</sup> /ton)	-	-	31,15	30,87	30,31
		Toplam Kar (TL)	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>54149100</b>	<b>72629800</b>	<b>103814200</b>
70	122500	Pozitif Blok Sayısı	11286	11772	13348	13402	13434
		Negatif Blok Sayısı	551010	545236	603224	584852	569990
		Toplam Kömür Kazısı (ton)	19750500	20601000	23359000	23453500	23509500
		Toplam Dekapaj (m <sup>3</sup> )	688762500	681545000	754030000	731065000	712487500
		Örtü Kazı Oranı (m <sup>3</sup> /ton)	34,87	33,08	32,28	31,17	30,31
		Toplam Kar (TL)	<b>5010000</b>	<b>78980000</b>	<b>127070000</b>	<b>179615000</b>	<b>220690000</b>
80	140000	Pozitif Blok Sayısı	12911	13192	13348	13402	13433
		Negatif Blok Sayısı	646159	622875	603224	584852	569910
		Toplam Kömür Kazısı (ton)	22594250	23086000	23359000	23453500	23507750
		Toplam Dekapaj (m <sup>3</sup> )	807698750	778593750	754030000	731065000	712387500
		Örtü Kazı Oranı (m <sup>3</sup> /ton)	35,75	33,73	32,28	31,17	30,30
		Toplam Kar (TL)	<b>192142500</b>	<b>289692500</b>	<b>360660000</b>	<b>414150000</b>	<b>455845000</b>

Tablo 4.1 incelendiğinde, analizlerin yapıldığı nihai şev açılarına bağlı olarak birim kömür satış fiyatı 50 TL/ton için karlı bir ocağın mümkün olmadığı

görülmektedir. Nihai şev açısının  $30^\circ$  olduğu durumda birim kömür satış fiyatı 70 TL/ton olduğunda ilgili sahada karlı bir üretim mümkündür ve bu saha için kömür birim satış fiyatı 70 TL/ton sınır açık işletmenin sınır değeridir. Nihai şev açısının  $35^\circ$  olduğu durumda ilgili saha için açık işletme birim kömür satış fiyatı sınır değeri yaklaşık 65-70 TL/ton'dur. Nihai şev açısının  $40^\circ$  olduğu durumda birim kömür satış fiyatı sınır değeri yaklaşık 65 TL/ton'dur. Nihai şev açısının  $45^\circ$  olduğu durumda birim kömür satış fiyatı sınır değeri yaklaşık 63 TL/ton'dur. Nihai şev açısının  $50^\circ$  olduğu durumda ise birim kömür satış fiyatı sınır değeri yaklaşık 60 TL/ton olduğu gözlemlenmektedir.

## BÖLÜM BEŞ

### SONUÇLAR

Açık-yeraltı işletme sınırını tespit etmek, açık işletme planlamasında en önemli adımlardan birisidir. Sahanın fizibilite etütlerinde kullanılmasının dışında, açılacak ocağın ömrü boyunca zamana bağlı olarak değişen parametreler sebebiyle tekrarlanması gereken bir adımdır. Bu sebeple sonuca hızlı ulaşan ve kesin çözüm veren bir algoritmaya ihtiyaç vardır. Hareketli koni algoritmasının son yıllardaki gelişimi bu konuda ümit vericidir. Nihai sınır tespitinde önemli bir faktör olan doğru çözüme ulaşmak için gereken zaman, gelişen bilgisayar teknolojisi ile birlikte gün be gün azalmaktadır. Hareketli koni algoritmaları, optimum nihai ocak sınır tespiti algoritmaları arasında sonuca en hızlı ulaşan algoritmalarındandır. Bu sebeple üzerinde çalışarak daha da geliştirilmelidir. Tez kapsamında bu amaç doğrultusunda çalışmalar yürütülmüştür.

Hareketli koni algoritması sezgisel olarak çözüme ulaşmaktadır. Özellikle tek başına ekonomik olarak üretilmeyen cevher bloklarının birlikte üretilme alternatifleri değerlendirildiğinde, üretim sıralarının belirlenmesi, doğru çözüme ulaşmada en büyük etkendir. Üretim sıralarının belirlenmesi işlemi, hareketli koni III algoritmasında ekonomik olma ihtimaline göre blokları üretim sırasına koyarak üretmeyi amaçlamaktadır. Cevher bloklarının üretilmesi durumunda, kaldırılması gereken dekapaj bloklarının, bir başka cevher bloğunun üretilmesi durumunda kaldırılması gereken dekapaj bloklarıyla kaç adet ortak bloğa sahip olduklarının tespit edilmesiyle her bloğa önem değeri atanmaktadır (Zeyni ve diğer, 2011). Daha sonra ilgili cevher bloklarının koni değerleri hesaplanmaktadır. Cevher bloklarının toplam önem değeri, koni değerine oranlanarak nihai önem değeri hesaplanmaktadır. Kesişen cevher bloklarının üretim sırası, nihai önem değeri sırasındır. Bu tezde, hareketli koni III algoritmasının programlanma aşamasında ortaya çıkan fikirler değerlendirilerek mevcut algoritmalara bir katkı sağlanması amaçlanmıştır. Cevher konisi sıfır değerini aldığı payda sıfır olmaktadır ve bu matematikte tanımsız olarak ifade edilmektedir. Bu sorunu çözmek için koni değeri sıfır olduğunda sıfıra mümkün olduğunca yakın bir negatif değer atanmalıdır. Böylece ilgili cevher bloğun

nihai önem değeri tanımsız olmadan, olması gerektiği öncelik sırasında yer alacaktır. Ayrıca herhangi bir katta karlı bir ocak saptandığında, bir sonraki katta tek başına pozitif değerli koni oluşturabilecek cevher blokları söz konusudur. Bu durumda nihai önem değeri hesaplanırken, bu cevher bloklarının nihai önem sıraları tek başına ekonomik olmayan cevher bloklarının önem değerlerinden gerilere düşebilmektedir. Bu sebeple tek başına ekonomik olan bir koni üretilmesi gerekiyken, önem sırasının geride kalması sebebiyle üretilmeme durumunu meydana gelebilmektedir. Bu sorunun çözümü için, herhangi bir katta karlı ocak tespiti söz konusu olduğunda, algoritma tüm katlar için tekrar başa dönmeli ve tek başına karlı olan koniler kazanılıp, tekrar önem değeri atanması gerekmektedir. Bir diğer önemli nokta ise kesişen konilerde meydana gelmektedir. Başka bir bloğun konisiyle kesişen bir koninin, ilk olarak kesişim bölgesi dışında kalan bloklara ödemeyi yapması gerekmektedir. Eğer bu ödeme sonucunda koninin değeri sıfır ya da negatif oluyorsa bu koninin kesişim bölgesi için verdiği önem geri alınmalıdır. Bu geri alma durumundan sonra kesişim bölgesindeki bloklar sadece bir koniye ait kalmış olabilir. Bu durumda bu bloklar için kesişim dışında kalan bloklara yapıldığı gibi ödeme yapılmalı ve ilgili cevher bloğunun değerinin sıfır ya da negatif kalma durumu kontrol edilmelidir. Eğer böyle bir durum mevcutsa bu blok için de aynı işlemler söz konusudur ve bu işlem tüm kesişen bölgelerde her blok için tekrarlanmalıdır.

Algoritmanın doğruluk testleri Lerchs-Grossmann algoritması ile karşılaştırılarak yapılmıştır. Karşılaştırmada kullanılan blok model küp şeklinde bloklara ayrılmıştır. Toplam  $142 \times 127 \times 20$  olmak üzere 360680 adet blok incelenmiştir. Analizde kullanılan bilgisayarın teknik özellikleri;

İşletim sistemi: Windows 7 64 bit

İşlemci: Intel Core 2 Duo T9400 2.53 GHz

Bellek: 4 GB

Karşılaştırma işlemi birim dekapaj bloğu kazı maliyeti 2,5 TL olarak sabit tutulmuş, kömürün yoğunluğu  $1,4 \text{ gr/cm}^3$  olarak alınmış ve 4 farklı kömür satış fiyatı için yapılmıştır. Tablo 3.9'da birim kömür bloğu satış fiyatı 50 TL için, Tablo

3.10’da birim kömür bloğu satış fiyatı 70 TL için, Tablo 3.11’de birim kömür bloğu satış fiyatı 90 TL için, Tablo 3.12’de ise birim kömür bloğu satış fiyatı 110 TL için elde edilen sonuçlar verilmiştir.

Tablo 3.9’da verilen sonuçlar incelendiğinde, iki algoritmanın da ürettiği sonuçlar birbirine yakındır. Hareketli koni algoritmasının koni oluşturmada kullandığı arama modelinde bir pozitif bloğu çıkartmak için üzerinden kaldırılması gereken blok sayısı nispeten daha az olduğu için daha fazla pozitif bloğu çıkarma imkanı bulmuştur. Birim kömür bloğu satış fiyatı 50 TL için optimum ocağı iki algoritma da ilk 10 katta tespit etmiştir. Kat sayısı arttırıldığında, derinliğin artması sebebiyle daha karlı bir ocak tespit edilememiştir.

Tablo 3.10’da verilen sonuçlar incelendiğinde, iki algoritmanın da ürettiği sonuçlar birbirine yakındır. Birim kömür bloğu satış fiyatı 70 TL için optimum ocağı iki algoritma da ilk 13 katta tespit etmiştir. Kat sayısı arttırıldığında, derinliğin artması sebebiyle daha karlı bir ocak tespit edilememiştir. Ayrıca artan kat sayısına bağlı olarak incelenen blok sayısının da artması sebebiyle Lerchs-Grossmann algoritmasının çözüme ulaşma süresi ivmeli olarak artmaya başladığı gözlemlenmektedir.

Tablo 3.11’de verilen sonuçlar incelendiğinde, iki algoritmanın da ürettiği sonuçlar birbirine yakındır. Birim kömür bloğu satış fiyatı 90 TL için optimum ocağı iki algoritma da ilk 13 katta tespit etmiştir. Birim kömür bloğu satış fiyatı 70 TL için yapılan analiz ile aynı derinlikte optimum ocağın tespit edildiği gözlemlenmektedir. Çıkarılan pozitif blok sayılarına bakıldığında, 90 TL için yapılan analizde karlı olarak daha fazla pozitif blok çıkarılması sebebiyle ocak tabanı genişlemiştir.

Tablo 3.12’de verilen sonuçlar incelendiğinde, iki algoritmanın da ürettiği sonuçlar birbirine yakındır. Birim kömür bloğu satış fiyatı 110 TL için optimum ocağı iki algoritma da ilk 15 katta tespit etmiştir. Birim fiyat 90 TL’den 110 TL’ye çıkması ile daha derinlerde karlı olarak üretim yapılabildiği gözlemlenmektedir. Elde edilen kar miktarlarına bakıldığında Lerchs-Grossmann algoritmasının kesin sonuç

vermesi sebebiyle daha az pozitif blok çıkararak gereken dekapaj miktarını azaltmış ve ihmal edilecek kadar da olsa daha karlı sonuç üretmeyi başarmıştır. Fakat ilk 20 kat için yapılan analizin sonucuna bakıldığında kesin çözüme 95 dakikada ulaştığı görülmektedir. Gerçek uygulama verilerinde blok sayıları milyonlarla ifade edilmektedir. Lerchs-Grossmann algoritması ile bu sayılarda çözüm üretmek oldukça zordur ve ciddi zamana ihtiyaç vardır.

Bu çalışmada T.K.İ. Yatağan-Turgut kömür madenine ait veriler kullanılarak algoritmanın yüksek blok sayılarındaki performansı test edilmiştir. Sahanın blok modeli oluşturulmuştur. Blok model, kuzey-güney yönünde 127, doğu-batı yönünde 142 ve düşey yönde 170 olmak üzere toplam 3065780 adet bloktan oluşmaktadır. Blok boyutları; doğu ve kuzey yönünde 25 m ve düşey yönde kömür kalınlığını daha hassas şekilde ifade edebilmek amacıyla 2 m olarak seçilmiştir.

Sondaj verileri, jeostatiksel tahmin yöntemleri kullanılarak tanımlanan blok modele aktarılmıştır. TKİ-GELİ Müessesesi Yatağan Turgut bölgesi kömür sahası yeraltı AR-GE projesi verilerine dayanarak dekapaj kazı maliyeti 2 TL/m<sup>3</sup> olarak kömür içermeyen bloklara gider olarak atanmıştır. Kömür içeren bloklara ise 50 TL/ton, 60 TL/ton, 63 TL/ton, 65 TL/ton, 70 TL/ton ve 80 TL/ton olarak kömür birim satış fiyatları kar olarak atanarak nihai ocak sınırındaki değişimler incelenmiştir. Ayrıca bir kömür bloğunun çıkarılması için açılması gereken boşluğun hacmini, yani dekapaj miktarını belirleyen en önemli faktör şev açısı olduğu için, nihai ocak şev açısı 30°, 35°, 40°, 45° ve 50° olarak seçilmiş ve nihai ocak sınırındaki etkileri incelenmiştir.

Kömür birim satış fiyatı 60 TL/ton için 50° nihai şev açısında ocağın incelenmesi sonucunda 527926 adet dekapaj bloğu kazısı yapılarak 11183 adet kömür bloğu çıkarılmıştır. Toplam dekapaj miktarı 571,82 milyon m<sup>3</sup>, çıkarılan toplam kömür miktarı ise 19,57 milyon tondur. Bu durumda örtü kazı oranı 29,22 m<sup>3</sup>/ton olmaktadır. Bu parametreler dikkate alındığında ocağın işletilmesi durumunda beklenen kar 30582500 TL'dir.

Kömür birim satış fiyatı 63 TL/ton için 45° nihai şev açısında ocağın incelenmesi sonucunda 480507 adet dekapaj bloğu kazısı yapılarak 11330 adet kömür bloğu çıkarılmıştır. Toplam dekapaj miktarı 600,63 milyon m<sup>3</sup>, çıkarılan toplam kömür miktarı ise 19,83 milyon tondur. Bu durumda örtü kazı oranı 30,29 m<sup>3</sup>/ton olmaktadır. Bu parametreler dikkate alındığında ocağın işletilmesi durumunda beklenen kar 48431500 TL'dir.

Kömür birim satış fiyatı 63 TL/ton için 50° nihai şev açısında ocağın incelenmesi sonucunda 527926 adet dekapaj bloğu kazısı yapılarak 12556 adet kömür bloğu çıkarılmıştır. Toplam dekapaj miktarı 659,91 milyon m<sup>3</sup>, çıkarılan toplam kömür miktarı ise 21,97 milyon tondur. Bu durumda örtü kazı oranı 30,03 m<sup>3</sup>/ton olmaktadır. Bu parametreler dikkate alındığında ocağın işletilmesi durumunda beklenen kar 65111800 TL'dir.

Kömür birim satış fiyatı 65 TL/ton için 40° nihai şev açısında ocağın incelenmesi sonucunda 494173 adet dekapaj bloğu kazısı yapılarak 11332 adet kömür bloğu çıkarılmıştır. Toplam dekapaj miktarı 617,72 milyon m<sup>3</sup>, çıkarılan toplam kömür miktarı ise 19,83 milyon tondur. Bu durumda örtü kazı oranı 31,15 m<sup>3</sup>/ton olmaktadır. Bu parametreler dikkate alındığında ocağın işletilmesi durumunda beklenen kar 54149100 TL'dir.

Kömür birim satış fiyatı 65 TL/ton için 45° nihai şev açısında ocağın incelenmesi sonucunda 545456 adet dekapaj bloğu kazısı yapılarak 12621 adet kömür bloğu çıkarılmıştır. Toplam dekapaj miktarı 681,82 milyon m<sup>3</sup>, çıkarılan toplam kömür miktarı ise 22,09 milyon tondur. Bu durumda örtü kazı oranı 30,87 m<sup>3</sup>/ton olmaktadır. Bu parametreler dikkate alındığında ocağın işletilmesi durumunda beklenen kar 72629800 TL'dir.

Kömür birim satış fiyatı 65 TL/ton için 50° nihai şev açısında ocağın incelenmesi sonucunda 569990 adet dekapaj bloğu kazısı yapılarak 13434 adet kömür bloğu çıkarılmıştır. Toplam dekapaj miktarı 712,49 milyon m<sup>3</sup>, çıkarılan toplam kömür miktarı ise 23,51 milyon tondur. Bu durumda örtü kazı oranı 30,31 m<sup>3</sup>/ton

olmaktadır. Bu parametreler dikkate alındığında ocağın işletilmesi durumunda beklenen kar 103814200 TL'dir.

Kömür birim satış fiyatı 70 TL/ton için 30° nihai şev açısında ocağın incelenmesi sonucunda 551010 adet dekapaj bloğu kazısı yapılarak 11286 adet kömür bloğu çıkarılmıştır. Toplam dekapaj miktarı 688,76 milyon m<sup>3</sup>, çıkarılan toplam kömür miktarı ise 19,75 milyon tondur. Bu durumda örtü kazı oranı 34,87 m<sup>3</sup>/ton olmaktadır. Bu parametreler dikkate alındığında ocağın işletilmesi durumunda beklenen kar 5010000 TL'dir.

Kömür birim satış fiyatı 70 TL/ton için 35° nihai şev açısında ocağın incelenmesi sonucunda 545236 adet dekapaj bloğu kazısı yapılarak 11772 adet kömür bloğu çıkarılmıştır. Toplam dekapaj miktarı 681,55 milyon m<sup>3</sup>, çıkarılan toplam kömür miktarı ise 20,60 milyon tondur. Bu durumda örtü kazı oranı 33,08 m<sup>3</sup>/ton olmaktadır. Bu parametreler dikkate alındığında ocağın işletilmesi durumunda beklenen kar 78980000 TL'dir.

Kömür birim satış fiyatı 70 TL/ton için 40° nihai şev açısında ocağın incelenmesi sonucunda 603224 adet dekapaj bloğu kazısı yapılarak 13348 adet kömür bloğu çıkarılmıştır. Toplam dekapaj miktarı 754,03 milyon m<sup>3</sup>, çıkarılan toplam kömür miktarı ise 23,36 milyon tondur. Bu durumda örtü kazı oranı 32,28 m<sup>3</sup>/ton olmaktadır. Bu parametreler dikkate alındığında ocağın işletilmesi durumunda beklenen kar 127070000 TL'dir.

Kömür birim satış fiyatı 70 TL/ton için 45° nihai şev açısında ocağın incelenmesi sonucunda 584852 adet dekapaj bloğu kazısı yapılarak 13402 adet kömür bloğu çıkarılmıştır. Toplam dekapaj miktarı 731,07 milyon m<sup>3</sup>, çıkarılan toplam kömür miktarı ise 23,45 milyon tondur. Bu durumda örtü kazı oranı 31,17 m<sup>3</sup>/ton olmaktadır. Bu parametreler dikkate alındığında ocağın işletilmesi durumunda beklenen kar 179615000 TL'dir.

Kömür birim satış fiyatı 70 TL/ton için 50° nihai şev açısında ocağın incelenmesi sonucunda 569990 adet dekapaj bloğu kazısı yapılarak 13434 adet kömür bloğu çıkarılmıştır. Toplam dekapaj miktarı 712,49 milyon m<sup>3</sup>, çıkarılan toplam kömür miktarı ise 23,51 milyon tondur. Bu durumda örtü kazı oranı 30,31 m<sup>3</sup>/ton olmaktadır. Bu parametreler dikkate alındığında ocağın işletilmesi durumunda beklenen kar 220690000 TL'dir.

Kömür birim satış fiyatı 80 TL/ton için 30° nihai şev açısında ocağın incelenmesi sonucunda 646159 adet dekapaj bloğu kazısı yapılarak 12911 adet kömür bloğu çıkarılmıştır. Toplam dekapaj miktarı 807,70 milyon m<sup>3</sup>, çıkarılan toplam kömür miktarı ise 22,59 milyon tondur. Bu durumda örtü kazı oranı 35,75 m<sup>3</sup>/ton olmaktadır. Bu parametreler dikkate alındığında ocağın işletilmesi durumunda beklenen kar 192142500 TL'dir.

Kömür birim satış fiyatı 80 TL/ton için 35° nihai şev açısında ocağın incelenmesi sonucunda 622875 adet dekapaj bloğu kazısı yapılarak 13192 adet kömür bloğu çıkarılmıştır. Toplam dekapaj miktarı 778,59 milyon m<sup>3</sup>, çıkarılan toplam kömür miktarı ise 23,09 milyon tondur. Bu durumda örtü kazı oranı 33,73 m<sup>3</sup>/ton olmaktadır. Bu parametreler dikkate alındığında ocağın işletilmesi durumunda beklenen kar 289692500 TL'dir.

Kömür birim satış fiyatı 80 TL/ton için 40° nihai şev açısında ocağın incelenmesi sonucunda 603224 adet dekapaj bloğu kazısı yapılarak 13348 adet kömür bloğu çıkarılmıştır. Toplam dekapaj miktarı 754,03 milyon m<sup>3</sup>, çıkarılan toplam kömür miktarı ise 23,36 milyon tondur. Bu durumda örtü kazı oranı 32,28 m<sup>3</sup>/ton olmaktadır. Bu parametreler dikkate alındığında ocağın işletilmesi durumunda beklenen kar 360660000 TL'dir.

Kömür birim satış fiyatı 80 TL/ton için 45° nihai şev açısında ocağın incelenmesi sonucunda 584852 adet dekapaj bloğu kazısı yapılarak 13402 adet kömür bloğu çıkarılmıştır. Toplam dekapaj miktarı 731,07 milyon m<sup>3</sup>, çıkarılan toplam kömür miktarı ise 23,45 milyon tondur. Bu durumda örtü kazı oranı 31,17 m<sup>3</sup>/ton

olmaktadır. Bu parametreler dikkate alındığında ocağın işletilmesi durumunda beklenen kar 414150000 TL'dir.

Kömür birim satış fiyatı 80 TL/ton için 50° nihai şev açısında ocağın incelenmesi sonucunda 569910 adet dekapaj bloğu kazısı yapılarak 13433 adet kömür bloğu çıkarılmıştır. Toplam dekapaj miktarı 712,39 milyon m<sup>3</sup>, çıkarılan toplam kömür miktarı ise 23,51 milyon tondur. Bu durumda örtü kazı oranı 30,30 m<sup>3</sup>/ton olmaktadır. Bu parametreler dikkate alındığında ocağın işletilmesi durumunda beklenen kar 455845000 TL'dir.

Geliştirilen bu algoritmanın en büyük avantajlarından birisi kolay programlanabilir olmasıdır. Ayrıca istenilen kısıtlamaları algoritmaya uyumlu hale getirmek mümkündür. Bu avantaj göz önünde bulundurularak, algoritmanın litolojilerin mekanik özelliklerine bağlı olarak değişen şev açılarında da analiz yapılabilir hale getirilmesi ileriki çalışma olarak yapılacaktır.

Algoritmanın çözüme ulaşma süresi, blok sayıları milyonlara ulaştığında ivmeli olarak artmaktadır. Bu konuda, algoritmanın ilk aşamasında blokların önem değeri hesaplanarak, ortak cevher bloklarının kesişim bölgesi dışında kalan bölüme ödeme işlemi yapılarak ekonomik olamayacak bloklar tespit edilerek, daha sonraki üretim sırası belirleme aşamasında incelenecek cevher bloğu sayısı azaltılması hedeflenecektir. Böylece, blok sayısı azaltılarak, yüksek blok sayılarında daha hızlı çalışacaktır.

Bu tezde geliştirilen algoritma, gerçek bir kömür madeninde uygulanmıştır. İleriki çalışma olarak farklı yataklanma türlerine sahip cevherlerde de uygulanacaktır.

## KAYNAKLAR

- Carlson, T. R., Erickson, J. D., O'Brain, D. T. ve Pana, M. T. (1966). Computer techniques in mine planning. *Mining Engineering*, 18 (5), 53-56.
- Dowd, P. A. (1994). Optimal open pit design: Sensitivity to estimated block values. *Geological Society*, 79, 87-94.
- Johnson, T. B. ve Sharp, R. W. (1971). Three-dimensional dynamic programming method for optimal ultimate pit design. *US Bureau of Mines*, 7553.
- Khalokakaie, R. (1999). *Computer-aided optimal open pit design with variable slope angles*. Doktora Tezi, University of Leeds, England.
- Kim, Y. C. (1978). Ultimate pit limit design methodologies using computer models – the state of art. *Mining Engineering*, 30, 1454-1458.
- Korobov, S. (1974). Method for determining optimal open pit limits. *Technical Report*, 1-24.
- Köse, H., Yalçın, E., Şimşir, F., Onargan, T., Konak, G., Kızıl, M. S. (2009). *Açık işletme tekniği* (4. Baskı). İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları.
- Lerchs, H. ve Grossmann, I. F. (1965). Optimum design of open pit mines. *CIM Bulletin*, 58, 47-54.
- Lipkewich, M. P. ve Borgman, L. (1969). Two-and three-dimensional pit design optimization techniques. *A Decade of Digital Computing In The Mineral Industry*, 505-523.

- Onur, A. H. (1992). *Optimal open pit design and planning*. Doktora Tezi, University of Leeds, England.
- Onur, A. H. (1995), Açık işletmelerde nihai sınır tesbitinde yeni bir yöntem: Düzeltilmiş Korobov algoritması. *Türkiye 14. Madencilik Kongresi*, 269-275.
- Onur, A. H., Köse, H., Yalçın, E., Konak, G., Çolak, M., Yenice, H. ve diğer. (2011). *TKİ-GELİ müessesesi Yatağan Turgut bölgesi kömür sahası yeraltı AR-GE projesi*, İzmir.
- Shenggui, Z. ve Starfield, A. M. (1985). Dynamic programming with colour graphics smoothing for open-pit design on a personal computer. *International Journal of Mining Engineering*, 3, 27-34.
- Wang, Q. (1992). *Open pit production planning through pit-generation and pit-sequencing*. Doktora Tezi, Southern Illinois University, Carbondale, USA.
- Wang, Q. ve Sevim, H. (1995). Alternative to parameterization in finding a series of maximum-metal pits for production planning. *Mining Engineering*, 178-182.
- Wright, E. A. (1999). Moving cone II – A simple algorithm for optimum pit limits design. *Proceedings of The 28th Symposium On The Application of Computers And Operations Research In The Mineral Industries (APCOM), USA*, 367-374.
- Yalçın, E. (1991). Açık işletme dizaynı için üç boyutlu dinamik programlama tekniği. *Madencilik*, 3 (2), 21-27.
- Zeyni, E. E., Kakaie, R. ve Yousefi, A. (2011). A new algorithm for optimum open pit design: Floating cone method III. *Journal of Mining & Environment*, 2 (2), 118-125.