

DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

METALİK AÇIK OCAK MADENLERİNDE
ÜRETİM PLANI OPTİMİZASYONU

Ebru KARAKURT

Ekim, 2019
İZMİR

METALİK AÇIK OCAK MADENLERİNDE ÜRETİM PLANI OPTİMİZASYONU

Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Yüksek Lisans Tezi

Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, Maden İşletme Programı

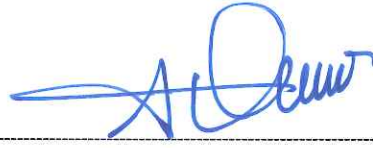
Ebru KARAKURT

Ekim, 2019

İZMİR

YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

EBRU KARAKURT, tarafından **PROF.DR. AHMET HAKAN ONUR** yönetiminde hazırlanan “**METALİK AÇIK OCAK MADENLERİNDE ÜRETİM PLANI OPTİMİZASYONU**” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.



Prof. Dr. Ahmet Hakan ONUR

Yönetici



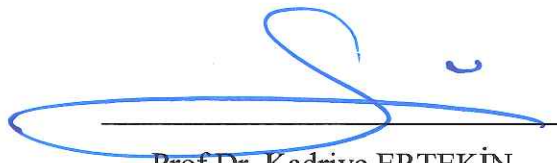
Prof. Dr. Gürkan KODAK

Jüri Üyesi



Prof. Dr. Ahmet DAĞ

Jüri Üyesi



Prof. Dr. Kadriye ERTEKİN
Müdür
Fen Bilimleri Enstitüsü

TEŞEKKÜR

Birlikte çalışmaktan onur duyduğum, bilgi, tecrübe ve zamanını her ihtiyacım olduğunda benimle paylaşan değerli hocam ve danışmanım Sayın Prof. Dr. Ahmet Hakan ONUR'a, gerek programı öğrenirken gerekse projemde desteğini ve değerli görüşlerini esirgemeyen Sayın Doç. Dr. Doğan KARAKUŞ'a, tüm yardımları için Sayın hocam Prof. Dr. Çağatay PAMUKÇU ve Araş. Gör. Tuğçe ÖNGEN'e,

Sahip olduğum bilgi ve becerileri borçlu olduğum tüm Dokuz Eylül Üniversitesi hocalarına ve destekleriyle her zaman yanımda olan, en büyük moral ve güç kaynağım sevgili aileme,

Sonsuz teşekkürler...

Ebru KARAKURT

METALİK AÇIK OCAK MADENLERİNDE ÜRETİM PLANI OPTİMİZASYONU

ÖZ

Madenler, milyonlarca yılda oluşan, tüketildiğinde yenilenemeyen kaynaklardır. Bu nedenle; ülkenin ihtiyaçları göz önüne alınarak, kaynak kaybına yol açmadan, çevreyle barışık, akılcı, ekonomik kurallara göre ve işçi sağlığı-iş güvenliği esasları çerçevesinde, kamu yararı öncelikli olacak şekilde etkin bir planlama ile üretilmelidirler (TMMOB, 2019). Etkin bir planlama ise; değişen maliyet ve ürün değerine en hızlı şekilde uyum sağlayarak, rezervden elde edilebilecek net bugünkü değeri en yüksek üretimi sağlamalıdır.

Bu çalışmada bir açık ocağın ocak ömrü boyunca maksimum kâr ile üretim yapmasını sağlayacak üretim planı bilgisayar programı yardımıyla araştırılmıştır. Sahada yapılan sondajlardan elde edilen verilerle veri tabanı oluşturulmuştur. Jeostatistiksel analizler (istatistik ve variogram analizleri) ile tenör-tonaj hesaplamaları yapılmış ve kriging yöntemi ile cevherin yataktaki dağılımı tespit edilmiştir. Kazı ve zenginleştirme aşamaları için öngörülen maliyetler belirlenmiştir. Cevher satış fiyatı değiştirilerek iç içe ocaklar serisi oluşturulmuş, oluşan ocak sınırlarındaki değişimler incelenerek cevher üretim sırası belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Açık işleme madenciliği, üretim planı optimizasyonu, iç içe ocaklar

MINE SCHEDULING FOR METALLIC OPEN PIT MINES

ABSTRACT

Minerals are nonrenewable resources formed over millions of years. Therefore; minerals must be produced with planning efficiently prioritizing the public interest within the frame of principles of occupational health and safety in accordance with environment friendly, rational and economical rules without loss of resource by taking needs of the country into consideration (TMMOB, 2019). An effective planning must comply with changing cost and product value in the fastest way possible and yield the highest production with highest current value possible obtained from reserve.

In this study, production plan which make an open pit mine to make production with maximum profit throughout its mine life are examined by means of computer program. A database is set by data acquired from borings made in the field. Grade-tonnage calculations are made by geostatistical analyses (statistical and variogram analyses) and distribution of ore within the mineral deposit is determined by kriging method. Costs estimated for mining and enrichment phases are determined. Nested pit is formed by changing ore price and ore production sequence is determined by examining changes within pit boundaries.

Keywords: Open pit mining, production planning optimization, nested pit

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÖZ	iv
ABSTRACT.....	v
ŞEKİLLER LİSTESİ	viii
TABLolar LİSTESİ.....	ix
BÖLÜM BİR - GİRİŞ	1
BÖLÜM İKİ - ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	2
2.1 Jeostatistik	2
2.2 Blok Model.....	3
2.3 Açık Ocak Sınırının Tespiti.....	3
2.3.1 Açık Ocak Sınırının Tespitinde Kullanılan Yöntemler	4
2.3.1.1 Hareketli Koni Yöntemi İle Açık Ocak Sınırlarının Belirlenmesi.....	4
2.3.1.2 Maksimum Akış Algoritması İle Açık İşletme Sınırlarının Belirlenmesi	6
2.3.1.3 Grafik Teorisi İle Açık İşletme Sınırlarının Belirlenmesi	6
2.3.1.4 Dinamik Programlama İle Açık Ocak Optimizasyonu	7
2.3.2 Üretim Planının Oluşturulması	10
BÖLÜM ÜÇ - ÇALIŞMA SAHASI	12
3.1 Genel Bilgiler	12
3.2 Bölge Jeolojisi	12
3.3 Projeye Yönelik Gerçekleştirilen Çalışmalar	14
3.4 Kaliteye Yönelik Çalışmalar	20
3.4.1 Jeostatistik Variogramlar	20
3.4.2 Korelasyon Katsayısı.....	22

3.5 Blok Model Oluşturulması	24
3.6 Açık Ocak Üretim Planının Belirlenmesi.....	27
BÖLÜM DÖRT - SONUÇLAR	37
KAYNAKLAR	38



ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 Semivariogram ve bileşenleri	3
Şekil 2.2 İki boyutlu araştırma konisi	4
Şekil 2.3 Üç boyutlu araştırma konisi	5
Şekil 2.4 Hareketli koni yöntemi akış şeması	5
Şekil 2.5 Temsili bir maksimum akış algoritması.....	6
Şekil 2.6 Grafik teorisi ile bulunan bir maksimum kapanım örneği	7
Şekil 2.7 Optimum nihai ocak sınırı	9
Şekil 2.8 Net bugünkü değer – tonaj grafiği	10
Şekil 3.1 Bölge jeoloji haritası	13
Şekil 3.2 Sahada gerçekleştirilen sondajlara ait üst görünüm.....	15
Şekil 3.3 Sondajlardaki cevherli zonların görünümü	17
Şekil 3.4 Sondajlara göre Cu %dağılım histogramı	18
Şekil 3.5 Cevher katı modeli.....	19
Şekil 3.6 Cevher blok modeli.....	19
Şekil 3.7 Cu tenör variogramı ve parametreleri	21
Şekil 3.8 Cu tenörü için belirlenen teorik variogram ve parametreleri için çapraz doğrulama sonucu.....	23
Şekil 3.9 % Cu tenörüne göre renklendirilmiş blok model.....	24
Şekil 3.10 Blok modele göre bakır histogramı.....	26
Şekil 3.11 1.000 TL cevher satış fiyatında oluşan açık işletmenin görünümü	28
Şekil 3.12 1.690 TL cevher satış fiyatında oluşan açık işletmenin görünümü	28
Şekil 3.13 1.700 TL cevher satış fiyatında oluşan açık işletmenin görünümü	29
Şekil 3.14 3.000 TL cevher satış fiyatında oluşan açık işletmenin görünümü	30
Şekil 3.15 3.300 TL cevher satış fiyatında oluşan açık işletmenin görünümü	30
Şekil 3.16 4.000 TL cevher satış fiyatında oluşan açık işletmenin görünümü	31
Şekil 3.17 6.000 TL cevher satış fiyatında oluşan açık işletmenin görünümü	32
Şekil 3.18 7.000 TL cevher satış fiyatında oluşan açık işletmenin görünümü	32
Şekil 3.19 26.338 TL cevher satış fiyatında oluşan açık işletmenin görünümü	33
Şekil 3.20 Oluşan ocakların üstten görünümü	35
Şekil 3.21 Oluşan ocak sınırlarının kuzey-güney yönlü kesit görünüm	35

Şekil 3.22 Oluşan ocak sınırlarının doğu-batı yönlü kesit görünümü..... 36



TABLÖLAR LİSTESİ

Sayfa

Tablo 3.1 Sahada gerçekleştirilen sondajlara ait bilgiler	14
Tablo 3.2 Sondajlara göre bakır % dağılımı	16
Tablo 3.3 Blok modele göre bakır % dağılımı	25
Tablo 3.4 Cevher fiyatına bağlı olarak üretim parametrelerinde oluşan değişimler..	34



BÖLÜM BİR

GİRİŞ

Üretim planlamasında temel amaç rezervin maksimum kâr ile elde edilmesini sağlamaktır. Maksimum kârın belirlenmesinde ise nihai açık ocak sınırı ve üretim sıralaması olmak üzere iki temel etken bulunmaktadır (Demirbugan, 2015). Whittle (1989) bu etkenleri belirlemedeki zorluğu “Maksimum ocak değerini veren nihai sınırlar, blokların ekonomik değerleri bilinmeden bulunamaz. Blok ekonomik değerleri ise blok kazı sırasına karar verilmeden bilinemez. Blok kazı sırası ise ocak nihai sınırları belirlenmeden bulunamaz” sözü ile net bir şekilde ifade etmektedir (Özkan, 2015). Diğer bir yandan aynı nihai ocak sınırları içerisinde, uygulanması mümkün olan birçok farklı üretim sıralaması yapmak mümkündür (Onur, 1992). Planlamanın önemi de tam olarak bu noktada ortaya çıkmaktadır. Dağdelen ve Johnson (1986) da üretim planlamasında en büyük problemin maksimum net bugünkü değeri sağlayacak olan kazı sıralamasının bulunması olduğunu ifade etmektedir. Bu karmaşık problemin çözümü için Dinamik Programlama (Roman, 1974; Dowd ve Onur, 1992; Erarslan ve Çelebi, 2001), Parametreleştirme (Matheron, 1975), Kümeleme (Ramazan ve diğer., 2005), Genetik Algoritma gibi pek çok yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntemlerin birbirine göre üstün ve eksik yanlarını ortaya koyan çok sayıda araştırma bulunmaktadır. Yöntemlerin dezavantajlı yanları ve özellikle de sonuca ulaşma süresinin önemi planlamanın gelişime açık bir çalışma alanı olduğunu da ortaya koymaktadır.

Bu çalışmada Lerchs Grossman Algoritması kullanılarak Parametreleştirme Yöntemiyle gelir faktörüne bağlı iç içe ocaklar serisi (nestedpits, pitsheells) oluşturulmuştur. Ürün satış fiyatı değiştirilip maliyetleri sabit tutularak ocak sınırlarındaki ilerleme hareketi incelenmiştir. Ocak nihai sınırına ulaşılan kadar ürün fiyatı yükseldikçe üretime değer bloklar ocak sınırının değişmesine neden olmaktadır. Bu değişim miktarı sabit tutularak sabit bir üretim kapasitesinde üretim dönemlerinin sonunda oluşacak ocak sınırları belirlenebilmektedir.

BÖLÜM İKİ

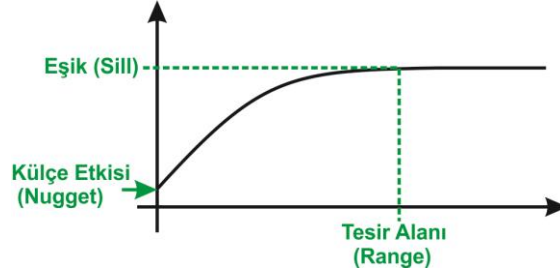
ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

2.1 Jeostatistik

Madencilik, sermaye riski en yüksek yatırım alanları arasında yer almaktadır. Gelişen teknoloji ile beraber yapılan çalışmalar cevherin modellenmesi ve jeolojik belirsizliklerin azaltılmasını böylece sermaye riskinin de minimuma indirilmesini mümkün kılmaktadır.

Bilindiği üzere modelleme çalışmalarının temelini jeolojik çalışmalar sağlamaktadır. Ancak çalışma alanının tamamından numune almak mümkün değildir. Bu nedenle; numune alınmayan noktalar için tahminde bulunma ihtiyacı doğmaktadır. Bu amaçla, yapılan jeolojik araştırmalardan elde edilen veriler kullanılarak, jeolojik belirsizliklerin istatistiksel yöntemle teorik olarak giderilmesi ve oluşturulan teorik yöntemin doğruluğunun analizinde jeostatistikten faydalanılmaktadır. Jeostatistikte bölgesel değişkenin değerleri arasındaki farkın uzaklığa bağlı değişimleri variogram fonksiyonu ile ortaya konur. Belirlenen teorik variogram ve parametrelerin geçerliliğinin test edilmesi için Kriging ile çapraz doğrulamaya tabi tutulur. Kriging hem ölçülen değerlerden ve değerlerin konumsal ilişkilerinden enterpolasyon yapma hem de varyansı aracılığı ile kestirim hatasının büyüklüğünü değerlendirme imkânı sağladığı için tercih edilmektedir.

Çapraz doğrulamada gerçek değeri bilinen bir veri gerçek değeri bilinmiyormuş gibi, bilinen diğer veriler aracılığıyla noktasal kriging kestirim tekniği ile tahmin edilir. Bu işlem sonucunda elde edilen korelasyon katsayısının 1'e yakınlığı tahminlerdeki doğruluğu göstermektedir. Bu aşamanın ardından jeostatistik yöntem ile elde edilen nugget, sill ve range değerleri kullanılarak cevher tenör değerleri bilinmeyen noktalar için tahmin yapılmaktadır. Şekil 2.1'de bir semivariogram ve bileşenleri gösterilmektedir.



Şekil 2.1 Semivariogram ve bileşenleri

2.2 Blok Model

Blok model oluşturma, bilgisayar programları ile yapılan modelleme çalışmalarında standart bir uygulama olmakla beraber, rezerv miktar ve kalite tahmininde oldukça önemli bir yere sahiptir.

Bloklar bulundukları konuma ait fiziksel ve jeolojik verileri temsil ederler. Blok şekilleri küp veya dikdörtgenler prizması olarak belirlenebilmektedir. Maden yatağının özelliklerini temsil eden bu düzenli geometrik şekiller hacim, tenör, ekonomik değer gibi hesaplamalarda kolaylık sağlamaktadır. Blok yöneliminin maden yatağının yönelimi ile uyumlu olması özellikle cevher yan kayaç ayrımındaki uyumu sağlaması açısından önem taşımaktadır. Blok boyutları ise her ne kadar cevher yan kayaç ayrımında daha etkili olabilmesi için mümkün olduğunca küçük seçilme eğiliminde olsa da çok küçük seçilen blok boyutları blok değerlerinin tahmininde yumuşamaya sebep olduğu için tahmin kalitesini düşürmektedir. Elbette ki en doğru tahmin sonsuz numune gerektirmektedir. Ancak bu mümkün olmadığı için kabul edilebilir düzeyde hata ile tahmini sağlayacak blok boyutları tercih edilmeli, farklı blok boyutları ile deneme yapılarak hata oranları karşılaştırılmalıdır.

2.3 Açık Ocak Sınırının Tespiti

En ekonomik ocak sınırı; cevher yatağının geometrik şekli, cevherin yataktaki dağılımı, topoğrafya, mümkün olabilecek en yüksek şev açısı gibi çoğunlukla planlamacının elinde olmayan etmenlere bağlıdır. Maden işletme programının ekonomisi ise, planlama mühendislerinin seçimlerine bağlıdır. Herhangi bir açık

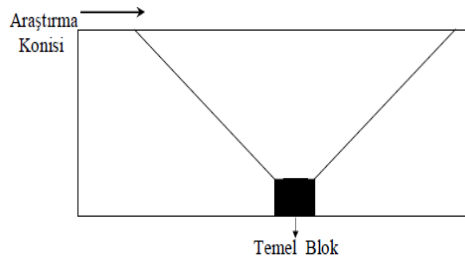
ocakta, kârı en fazla kılan tek bir nihai ocak geometrisi vardır. Madeni işletebilmenin en ekonomik yönteminin geliştirilebilmesinde, bu nihai ocak bilgisi önemlidir. Optimum geometri; yüzey topoğrafyası, cevher yatağının geometrik şekli, yataktaki cevherin değer dağılımı ve şev açılarına bağlıdır. Bu nedenle nihai ocak ekonomisini belirleyen etmenler zamanla değişeceğinden, koşullar değiştikçe, nihai ocağın da zaman zaman yeniden gözden geçirilmesi gerekir (Steffen ve diğer., 1981).

2.3.1 Açık Ocak Sınırının Tespitinde Kullanılan Yöntemler

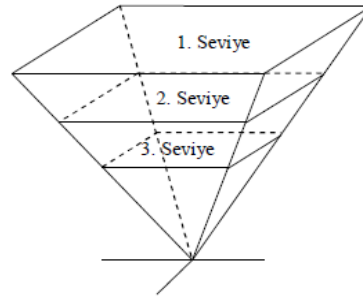
2.3.1.1 Hareketli Koni Yöntemi İle Açık Ocak Sınırlarının Belirlenmesi

Hareketli koni yöntemi ilk olarak Pana (1965) tarafından açık ocak nihai sınırlarının belirlenmesinde kullanılmıştır. Yöntemin hataları Korobov tarafından (1974) düzeltilmiştir. Dowd ve Onur (1992) Korobov algoritmasında buldukları bir hatayı düzelterek algoritmada köklü bir değişiklik yapmıştır. Düzeltilen bu algoritma Düzeltilmiş Korobov Algoritması olarak literatürde yer almaktadır.

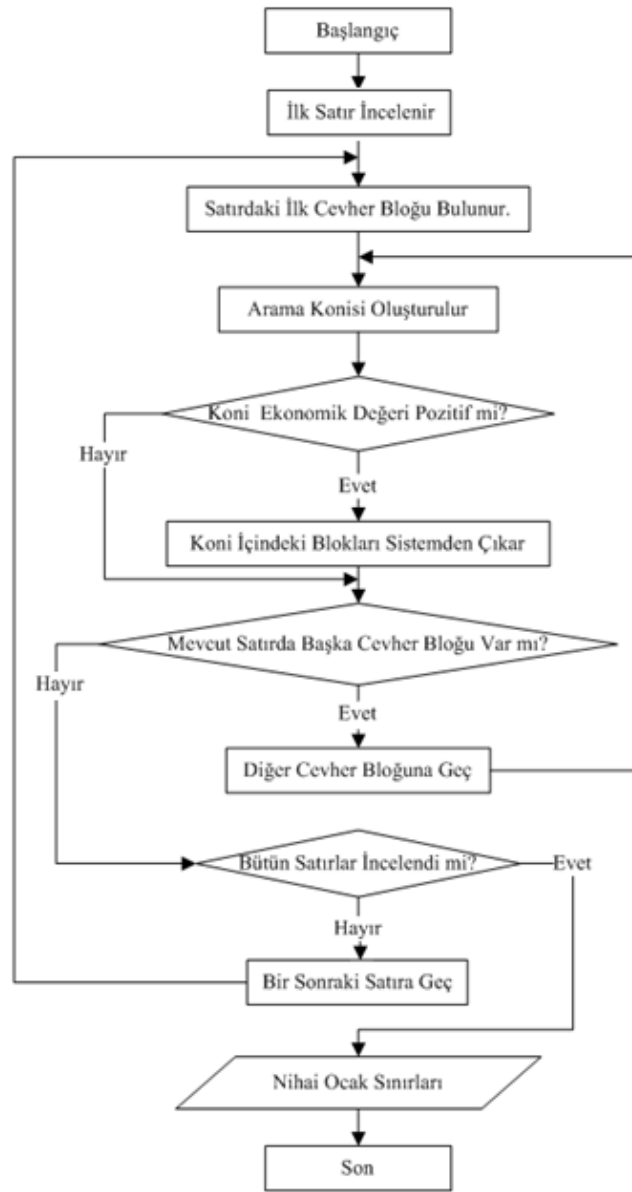
Hareketli koni yönteminde kenarları şev açılarını temsil edecek şekilde ters bir koni, en üst sol sıradan başlayarak cevher blok modelindeki blokların her birini teker teker merkezine alacak şekilde konumlanmaktadır. Hareketli koni yöntemine adını veren arama konilerine ait iki boyutlu görünüm Şekil 2.2’de, üç boyutlu görünüm Şekil 2.3’te verilmektedir. Koni içerisinde kalan blok ve blok kümelerinin ekonomik değerleri hesaplanmakta, eğer blok veya blok kümelerinin toplam ekonomik değeri pozitif ise bu blok veya blok kümesinin ocak sınırları içerisinde kalacağı düşünülmekte ve bu bloklar sistemden çıkarılarak nihai ocak sınırı elde edilmektedir. Algoritmanın işleyişini açıklayan akış şeması Şekil 2.4’te verilmiştir.



Şekil 2.2 İki boyutlu araştırma konisi (Onur, 1995)



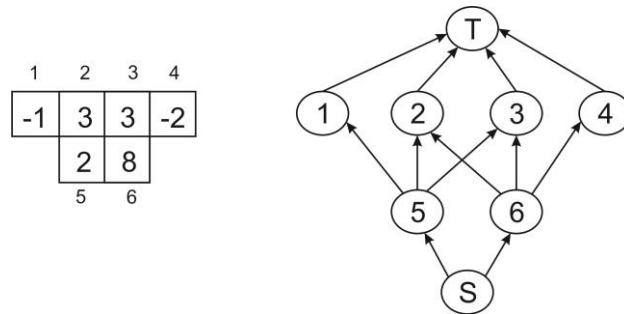
Şekil 2.3 Üç boyutlu araştırma konisi (Onur, 1995)



Şekil 2.4 Hareketli koni yöntemi akış şeması

2.3.1.2 Maksimum Akış Algoritması İle Açık İşletme Sınırlarının Belirlenmesi

Maksimum akış algoritması ilk olarak Johnson (1968) tarafından kullanılmıştır. Maksimum akış algoritmasında kullanılan ağ modelinde biri kaynak (s) ve diğeri terminal (t) olmak üzere iki yapay düğüm noktası oluşturulmaktadır. Algoritmada amaç kaynak ve sonuç düğümlerini bağlayan pozitif akışlı çıkış yoluna ulaşmaktır. Bu iki düğüm noktası arasına her biri bir bloğu temsil edecek şekilde diğer düğüm noktaları yerleştirilmektedir. Pozitif ekonomik değere sahip blokları temsil eden düğüm noktalarına kaynak düğüm noktasından arklar yönlendirilir ve bu arkların kapasitesi temsil ettiği bloğun ekonomik değeri kadardır. Bu düğüm noktalarından ise bloğun çıkarılması için gerekli diğer blokları temsil eden düğüm noktalarına, bu düğüm noktalarından da terminal noktasına arklar oluşturulmaktadır. Terminal noktasına akışın pozitif olduğu blokların kazısı yapılacaktır. Maksimum akışı veren düğüm noktalarının temsil ettiği blokların kazısının öncelikli olarak yapılması karı da maksimize edecektir. Şekil 2.5'te gösterilen maksimum akış algoritması örneğinde ilk olarak maksimum akışı veren 2 ve 3 numaralı düğümleri temsil eden blokların kazısı gerçekleştirilecek, sonrasında sırasıyla 4, 6 ve 1, 5 numaralı düğümleri temsil eden blokların kazısı gerçekleştirilerek maksimum karlılık sağlanmış olacaktır.



Şekil 2.5 Temsili bir maksimum akış algoritması (Amankwah ve diğer., 2014)

2.3.1.3 Grafik Teorisi İle Açık İşletme Sınırlarının Belirlenmesi

Grafik Teorisi açık ocak nihai sınırlarını belirlemek üzere Lerchs ve Grossmann (1965) tarafından 3 boyutlu uygulamalarda kullanılmıştır. Bu yöntemde bloklar düğüm noktaları ile temsil edilmektedir. Düğüm noktaları arasında yönlendirilen arklar bloklar arasındaki ilişkiyi temsil etmekte ve blokların çıkarılma sırasını

A 5x14 grid of nodes, each containing a numerical value. The values are as follows:

Row \ Column	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	-1	-1	-1	+1	-1	-2	-2	-1	-1	+2	-1	-1	-1	-1
2	-1	-1	+3	+2	+1	-1	-2	-1	+2	+3	+2	-1	-2	-2
3	-2	-1	+1	+1	+2	+1	-2	+2	+1	+2	-1	-1	-1	-1
4	-1	-1	-2	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	-1	-2	-1	-1
5	-2	-1	-1	-2	+2	-1	-1	-2	+1	-2	-1	-1	-1	-2

Thick black arrows indicate a path starting from the bottom-left node (-2) and ending at the top-right node (-1). The path follows the sequence of nodes: (-2, 5) → (-1, 6) → (-1, 7) → (-2, 8) → (+1, 9) → (+1, 10) → (+1, 11) → (+1, 12) → (-1, 13) → (-2, 14) → (-1, 13) → (-2, 12) → (-1, 11) → (-2, 10) → (-1, 9) → (-2, 8) → (-1, 7) → (-1, 6) → (-1, 5) → (-1, 4) → (-1, 3) → (-1, 2) → (-1, 1).

2.3.1.4 Dinamik Programlama İle Açık Ocak Optimizasyonu

Şekil 2.7’de bir blok modelin düşey kesiti yer almaktadır. Bloklarda yer alan sayılar ilgili blokların ekonomik değerini temsil etmektedir. Yöntemin uygulanışında sırası ile aşağıdaki adımlar izlenmektedir.

İlk aşama olarak her bloğa kendisi ve üzerindeki blokların değerlerinin kümülatif toplamı yazılmaktadır. Bu şekilde her blok, yukarıya doğru olan bloklar ile toplam değerini göstermektedir.

İkinci aşamada sol üst bloktan başlayarak her blok solundaki komşu üç bloktan (sol üst, sol, sol alt) en büyük değere sahip olan blok ile toplanarak yeni blok değeri elde edilmektedir.

Son aşama olarak en üst satırdaki en yüksek değer bulunmaktadır. Bu değer optimum açık işletme sınırının toplam net karını göstermektedir. Bu değerden geriye doğru sol üç (sol üst, sol ve sol alt) bloktan en yüksek değere sahip olan bloklar takip edilerek açık işletme sınırı belirlenmiş olmaktadır. Şekil 2.7’de örnek bir uygulama yer almaktadır. Bu örnekte de görülebileceği üzere pozitif değerli bazı bloklar ocak sınırı içerisinde yer almamasının sebebi bu blokların kazısı ile elde edilecek gelirin bu blokların kazısı için alınması gereken diğer blokların maliyetini karşılamıyor oluşudur.

-1	-1	-1	1	-1	-2	-2	-1	-1	2	-1	-1	-1
-1	-1	3	2	1	-1	-2	-1	2	3	2	-1	-2
-2	-1	1	1	2	1	-2	2	1	2	-1	-1	-1
-1	-1	-2	1	1	1	1	1	1	1	-1	-2	-1
-2	-1	-1	-2	2	-1	-1	-2	1	-2	-1	-1	-2

-1	-1	-1	1	-1	-2	-2	-1	-1	2	-1	-1	-1
-2	-2	2	3	0	-3	-4	-2	1	5	1	-2	-3
-4	-3	3	4	2	-2	-6	0	2	7	0	-3	-4
-5	-4	1	5	3	-1	-5	1	3	8	-1	-5	-5
-7	-5	0	3	5	-2	-6	-1	4	6	-2	-6	-7

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	-1	-1	-1	2	3	3	2	1	0	7	11	15	14
0	-2	-3	1	4	5	4	2	1	5	12	16	15	12
0	-4	-5	0	5	7	6	3	4	7	15	17	14	11
0	-5	-8	-4	5	8	9	4	5	8	17	16	12	9
0	-7	-10	-8	-1	10	8	3	3	9	15	15	10	5

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	-1	-1	-1	2	3	3	2	1	0	7	11	15	14
0	-2	-3	1	4	5	4	2	1	5	12	16	15	12
0	-4	-5	0	5	7	6	3	4	7	15	17	14	11
0	-5	-8	-4	5	8	9	4	5	8	17	16	12	9
0	-7	-10	-8	-1	10	8	3	3	9	15	15	10	5

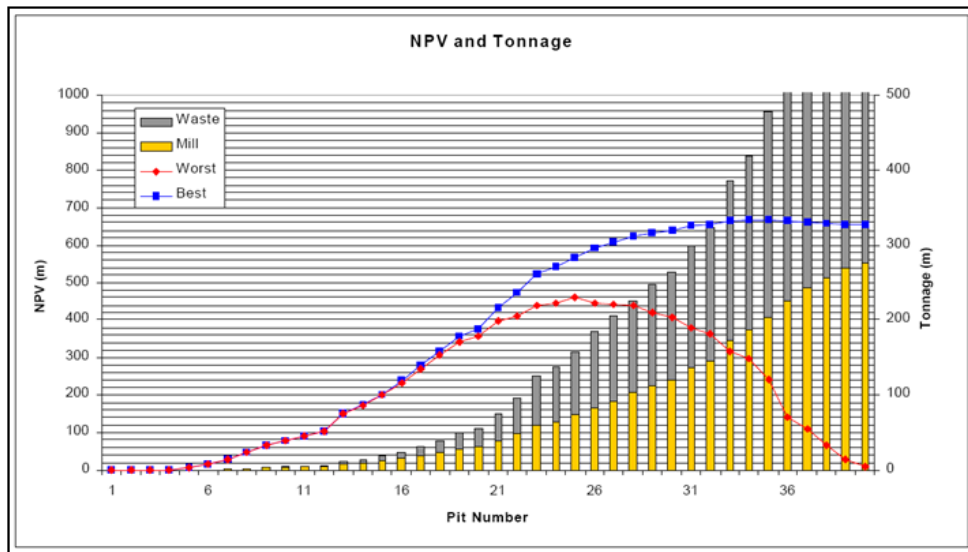
-1	-1	-1	1	-1	-2	-2	-1	-1	2	-1	-1	-1
-1	-1	3	2	1	-1	-2	-1	2	3	2	-1	-2
-2	-1	1	1	2	1	-2	2	1	2	-1	-1	-1
-1	-1	-2	1	1	1	1	1	1	1	-1	-2	-1
-2	-1	-1	-2	2	-1	-1	-2	1	-2	-1	-1	-2

Şekil 2.7 Optimum nihai ocak sınırı (Özkan ve Erçelebi, 2014)

2.3.2 Üretim Planının Oluşturulması

Bir açık işletmeden maksimum net bugünkü değeri elde edebilmek için optimum açık ocak sınırının tespiti ardından optimum üretim aşamalarının da belirlenmesi gerekmektedir. Bu amaçla Whittle (1999) ürün satış fiyatlarını kullanarak farklı satış fiyatları için iç içe ocaklar serisi oluşturmuştur. Bu iç içe geçmiş ocak sınırları için cevher ve dekapaj miktarları ile ocaktan elde edilecek net bugünkü değer verileri karşılaştırılarak optimum üretim aşamaları belirlenebilmektedir. Şekil 2.8’de örnek bir net bugünkü değer - tonaj grafiği görülmektedir. Burada gösterilen en iyi senaryo eğrisi, her üretim aşamasında cevher ve bu cevheri kazanabilmek için yapılması gereken dekapaj kazısının aynı dönemde gerçekleştirileceği öngörüsüne göre oluşturulmaktadır. En kötü senaryo eğrisi ise basamakların yukarıdan aşağıya doğru sırasıyla kazıldığı varsayımına dayanılarak oluşturulmaktadır. Her iki varsayım da gerçekte sık karşılaşılan bir durum değildir. Bu nedenle grafiği yorumlamada her iki eğrinin de göz önünde bulundurulması gerekmektedir.

Grafiğin değerlendirilmesine örnek olarak; en iyi senaryoda en yüksek net bugünkü değeri veren açık ocak sınırı 35 numaralı ocak olmasına rağmen, 32 numaralı açık ocak üretimi 60 milyon ton daha az cevher üretimi yapıldığı halde yaklaşık aynı kârlılığı verdiği için nihai ocak sınırı olarak tercih edilebilecektir.



Şekil 2.8 Net bugünkü değer – tonaj grafiği (Wharton, 2000)

Bu aşamanın ardından yıllık üretim çizelgeleri oluşturulmaktadır. Bu çizelgelerin optimize edilmesini gerektiren iki temel durum bulunmaktadır. Bunlardan birincisi tesise beslenecek cevherin değişken kalite özelliklerinde olması, ikincisi ise örtü kazı oranlarının değişken olması nedeniyle sabit miktarda cevher üretimi sağlanamaması. Bu nedenle ilk olarak Milowa algoritması geliştirilmiştir. Algoritma yıllık üretim çizelgesi üzerindeki tenör ve tonaj bilgilerinin değişimini en iyi ve en kötü senaryoları kullanarak minimuma indirme üzerine işlemektedir. 2017 yılında geliştirilen Gelişmiş Eşzamanlı Optimizasyon (SIMO) metodu ile net bugünkü değeri daha yüksek optimizasyonlar elde edilmeye başlanmıştır.



BÖLÜM ÜÇ

ÇALIŞMA SAHASI

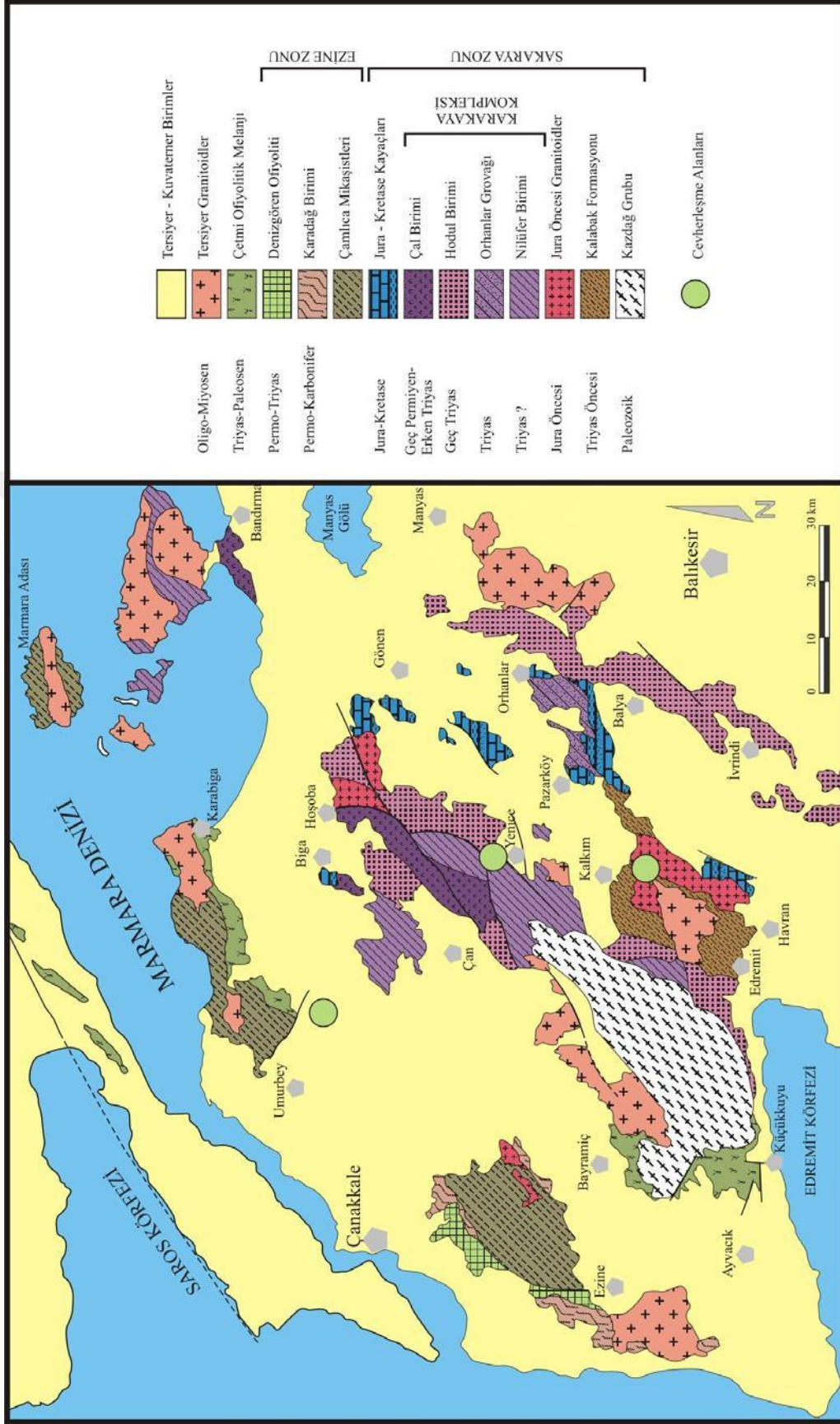
3.1 Genel Bilgiler

Çalışma alanı, Türkiye'nin kuzey batısında, Balıkesir iline bağlı Havran ilçesinin kuzeyinde, Biga Yarımadasının doğusunda, İ18-d1 paftasındadır. Tepeoba bakır maden yatağı Türkiye'nin en büyük epitermal bakır cevherleşmelerinden biridir.

3.2 Bölge Jeolojisi

Saha jeotektonik olarak Pontidler Tektonik Birliğinin Sakarya Kıtasında yer almaktadır. Sakarya zonu Biga Yarımadası'ndan Gürcistan'a kadar uzanan jeolojik bir kemerdir. Bölge temel olarak karmaşık bir şekilde deforme olmuş ve metamorfoza uğramış Jura Öncesi bazı kayalar ve metamorfoza uğramamış Erken Jura litolojilerinden meydana gelmektedir. Jura Öncesi yaşlı temel kayalar Karakaya Formasyonu (Karakaya Kompleksi) ve Kazdağ Grubu birimlerine ayrılmıştır (Hakyemez, 2013). Şekil 3.1'de bölgenin jeoloji haritası verilmiştir.

Çalışma sahasında, jeolojik ve jeokimyasal çalışmalar sonucunda belirlenmiş, KD-GB uzanımlı, yaklaşık 800 m uzunluğunda, yer yer 150 m genişliğinde, Cu cevherli-breşik bir zon bulunmaktadır. Cevherleşme zonlanması belirlenirken değerlendirmeye katılacak minimum Cu tenörü % 0,3 olarak dikkate alınmıştır. Ancak % 0,3 tenör değerlerinin arasında daha düşük tenörlü seviyeler de bulunmaktadır. Bu nedenle sondajlarda kesilen cevherli seviyelerden % 0,3 Cu tenörü ve üzerinde olan cevherli seviyelerin arasında kalan daha düşük tenörlü seviyelerden, 10 m ye kadar olan kalınlıklar cevhere dahil edilmiş, 10 m den daha kalın olan seviyeler steril kabul edilmiştir (Avşar, 2006).



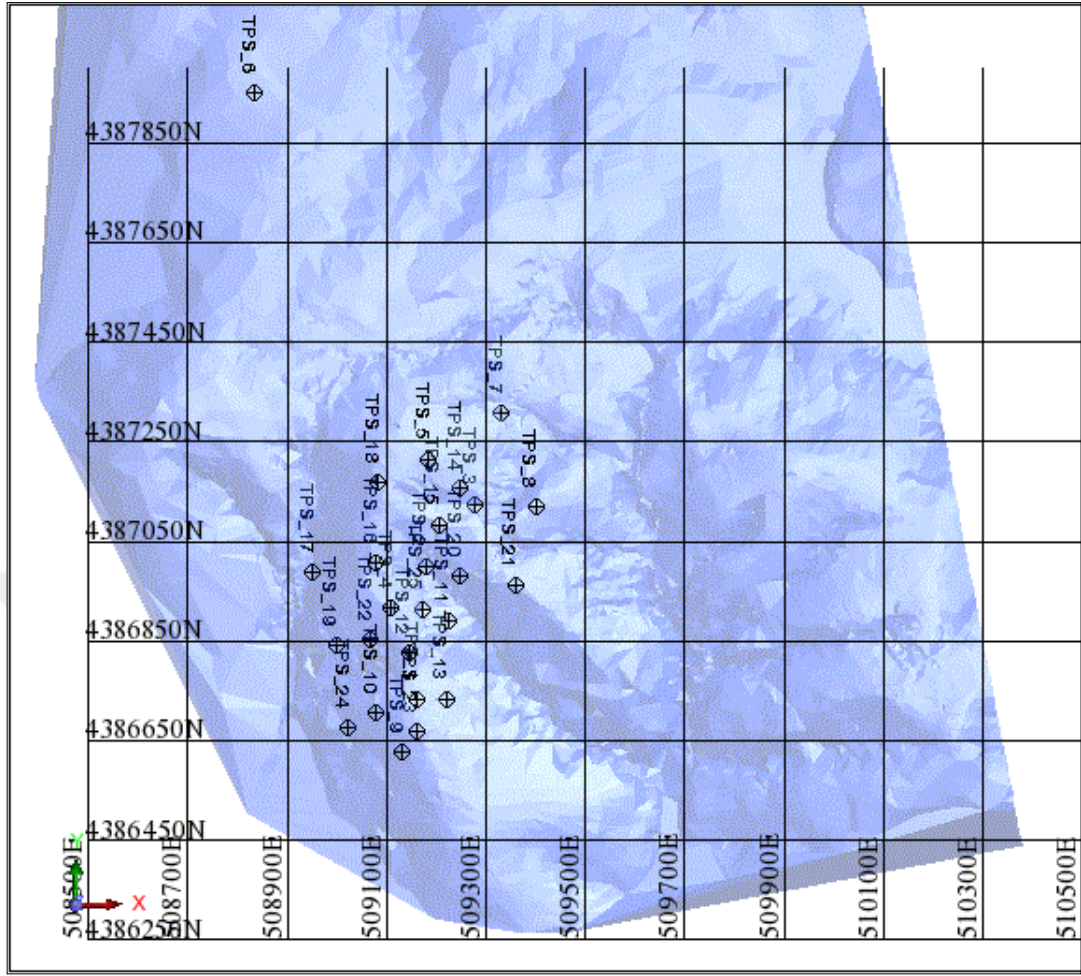
Şekil 3.8 Bölge jolojisi haritası (Maral, 2006)

3.3 Projeye Yönelik Gerçekleştirilen Çalışmalar

Tez kapsamında çalışma alanı olan Tepeoba bakır maden sahasında üretim planı optimizasyon çalışmalarının yapılabilmesi için öncelikle sahada yapılan 25 adet sondaja ait verilerin düzenlenmesi ve bilgisayar ortamına aktarılması gerekmektedir. Bu amaçla Surpac 6.5.1’de modelleme yapılabilmek için gerekli olan; sondaj numarası, X, Y ve Z koordinatları ile derinlik bilgisini içeren analiz, sondaj numarası, derinlik, doğrultu ve eğim bilgilerini içeren collar ve son olarak sondaj numarası, numune numarası, numunenin bulunduğu başlangıç ve bitiş sondaj metrajı, formasyon adı, bakır tenör değerlerini içeren survey dosyaları oluşturulmuş ve programa aktarılmıştır. Sahada yapılan sondajlara ait koordinat ve derinlik bilgileri Tablo 3.1’de, sondaj lokasyonlarını gösterir üst görünüm Şekil 3.2’de görülmektedir.

Tablo 3.1 Sahada gerçekleştirilen sondajlara ait bilgiler

Sondaj No	X	Y	Z	Derinlik	Doğrultu	Eğim
TPS1	509.161	4.386.733	359	294	0	-90
TPS2	509.179	4.386.998	356	258	0	-90
TPS3	509.279	4.387.123	365	143	0	-90
TPS4	509.109	4.386.916	380	278	0	-90
TPS5	509.185	4.387.213	414	253	0	-90
TPS6	508.834	4.387.950	429	147	0	-90
TPS7	509.331	4.387.308	361	152	0	-90
TPS8	509.401	4.387.120	360	279	0	-90
TPS9	509.132	4.386.626	350	370	0	-90
TPS10	509.079	4.386.705	351	371	0	-90
TPS11	509.223	4.386.890	341	251	0	-90
TPS12	509.144	4.386.826	365	227	0	-90
TPS13	509.220	4.386.733	343	206	0	-90
TPS14	509.248	4.387.156	387	247	0	-90
TPS15	509.205	4.387.084	390	285	0	-90
TPS16	509.079	4.387.006	396	306	0	-90
TPS17	508.952	4.386.990	355	252	0	-90
TPS18	509.083	4.387.168	422	218	0	-90
TPS19	508.999	4.386.840	350	322	0	-90
TPS20	509.249	4.386.980	355	260	0	-90
TPS21	509.360	4.386.962	361	243	0	-90
TPS22	509.068	4.386.852	355	368	0	-90
TPS23	509.159	4.386.668	358	227	0	-90
TPS24	509.023	4.386.677	331	374	0	-90
TPS25	509.172	4.386.914	357	266	0	-90

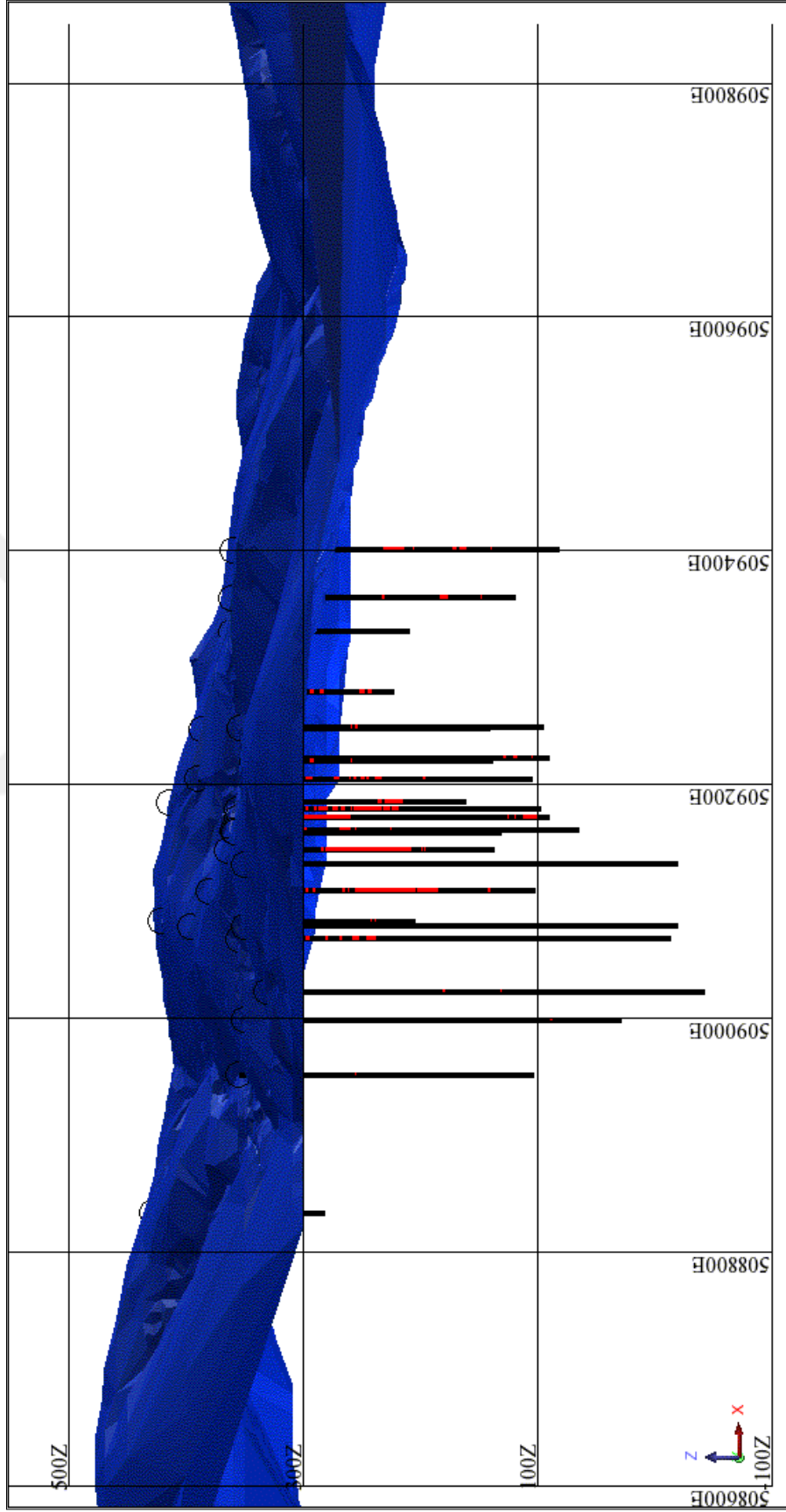


Şekil 3.9 Sahada gerçekleştirilen sondajlara ait üst görünüm

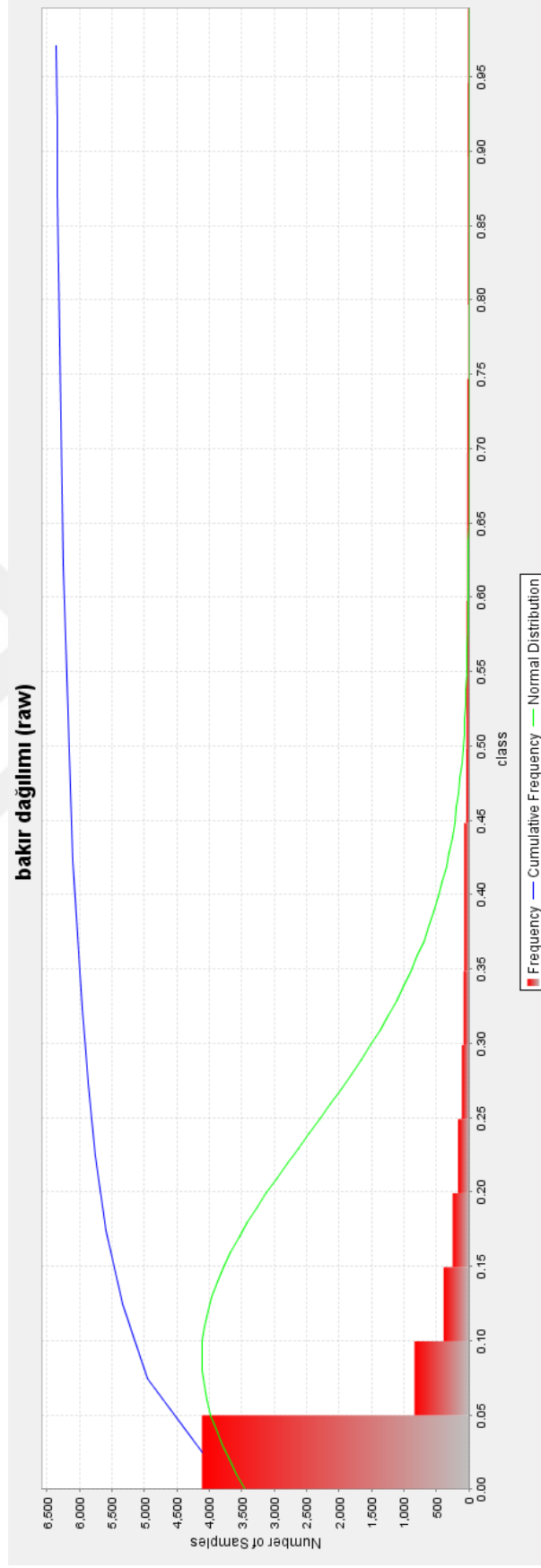
Çalışma alanında yapılan 25 adet sondajdan 6607 veri elde edilmiştir. Bu verilerin içerik dağılımının incelenmesi jeostatistik yöntemler ile yapılacak tahminlerin doğruluğunu belirlemek adına karşılaştırılabilmesi nedeniyle önem arz etmektedir. Sondaj verilerine göre sahanın cevher içerik ve dağılım bilgileri Tablo 3.2’de görülmektedir. Bu verilere göre sahada bakır % içerikleri % 0 ile % 17,8506 arasında değişmektedir. Veri açıklığı % 17,8506, ortalama bakır içeriği % 0,163192’dir. Standart sapma 0,50, varyans 0,25’tir. Sondajlardaki cevher içeren seviyeler Şekil 3.3’te, sondaj verilerine göre sahadaki Cu % içeriklerinin dağılımı ise Şekil 3.4’te verilen histogramda görülmektedir.

Tablo 3.2 Sondajlara göre bakır % dağılımı

Örnek Sayısı	6607
En Küçük Değer	0,000000
En Büyük Değer	17,850600
Ortalama	0,163192
Ortanca	0,033400
Varyans	0,253123
Standart Sapma	0,503114
Değişim Katsayısı	3,082956
Çarpıklık	11,534776
Basıklık	274,037438
% 10,0	0,008700
% 20,0	0,013400
% 30,0	0,019100
% 40,0	0,025300
% 50,0 (Ortanca)	0,033400
% 60,0	0,045300
% 70,0	0,071100
% 80,0	0,139550
% 90,0	0,344700
% 95,0	0,720501
% 97,5	1,333500

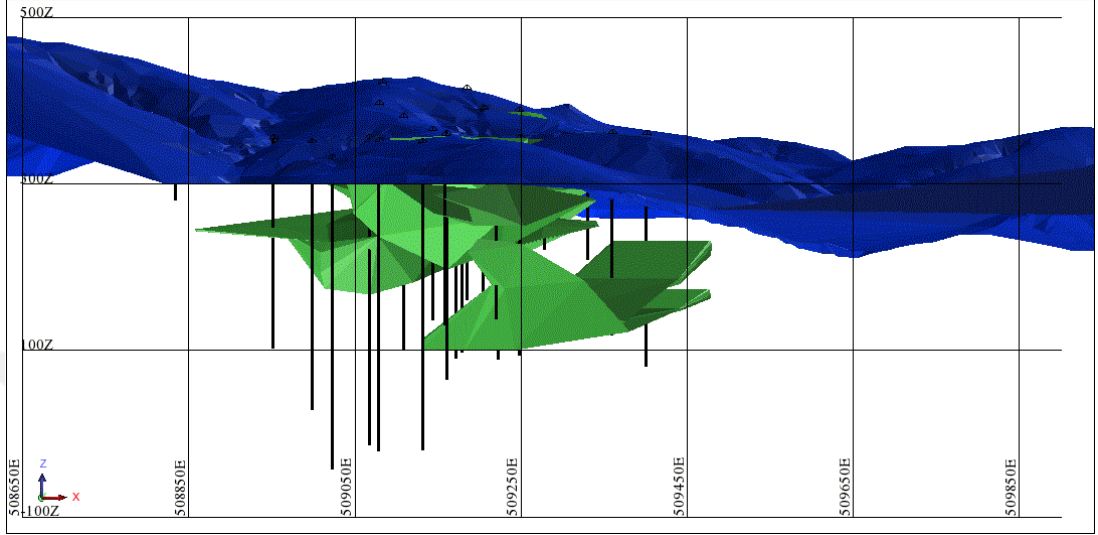


Şekil 3.10 Sondajlardaki çevherli zonların görüntüsü



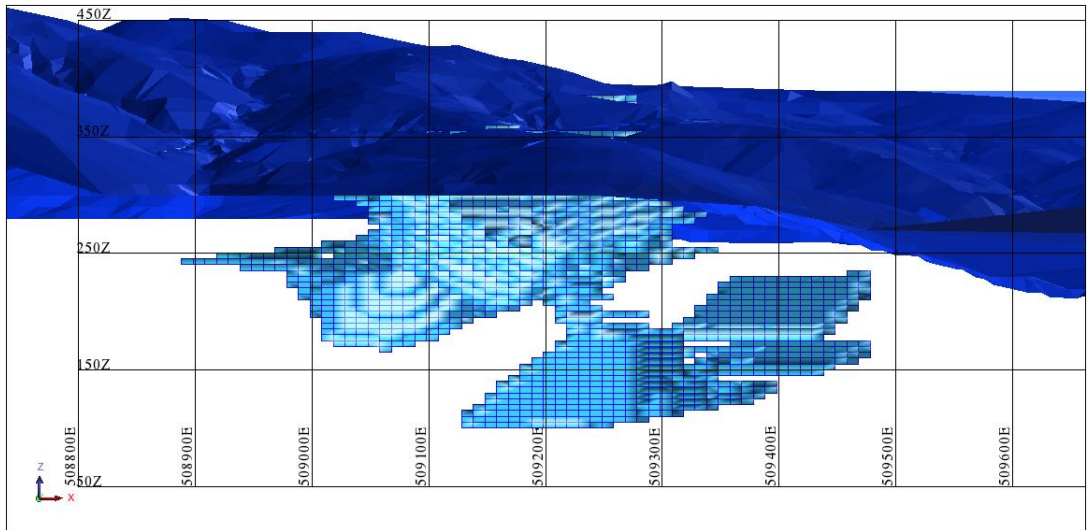
Şekil 3.11 Sondajlara göre Cu %dağılım histogramı

Sondajlardaki cevherli zonlar kesitler alınarak birleştirilmiş ve kesitler arası DTM modülü ile doldurularak cevherin katı modeli elde edilmiştir. Elde edilen cevher katı modeli Şekil 3.5'te görülmektedir.



Şekil 3.12 Cevher katı modeli

Sondaj verileri 1 m aralıklarla kompozit edilerek ağırlıklandırılmıştır. Blok boyutu seçimi için 5x5x1, 10x10x5, 20x20x10 boyutlarında bloklara ayrılarak denemeler yapılmış, tahmin doğruluğu daha fazla olan 10x10x5 boyutlu blokların kullanımı uygun bulunmuş ve maden yatağı blok model modülü yardımıyla 10 m x 10 m x 5 m boyutlu bloklara ayrılmıştır. Oluşturulan blok model Şekil 3.6'da görülmektedir.



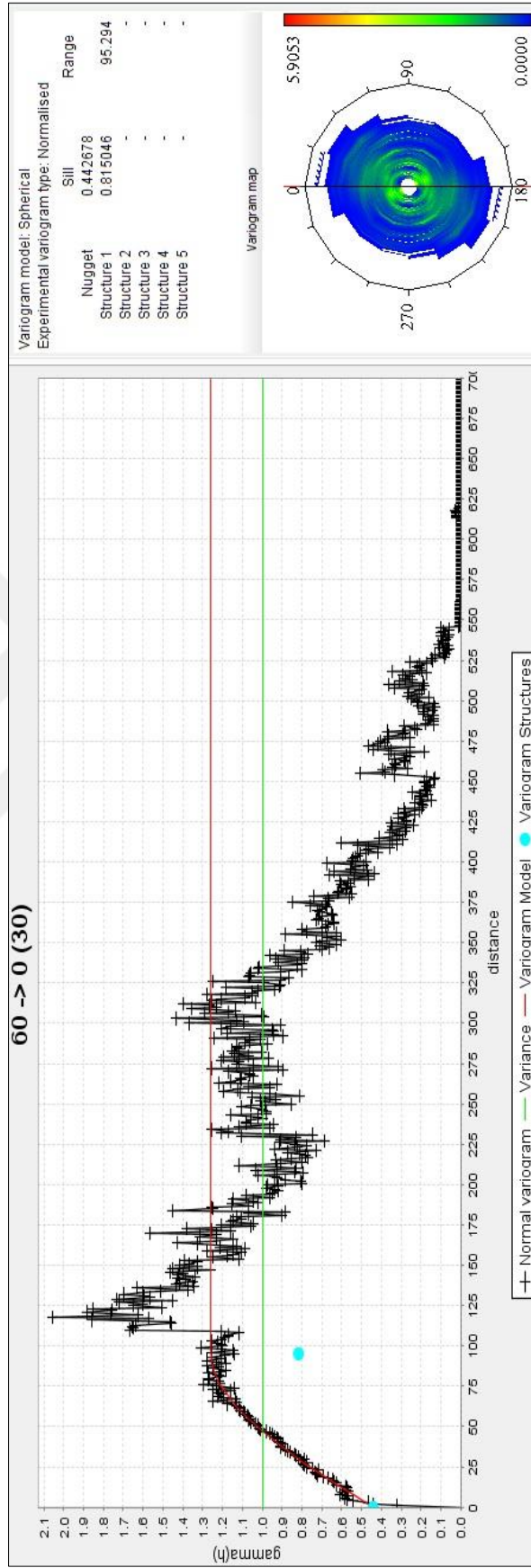
Şekil 3.13 Cevher blok modeli

3.4 Kaliteye Yönelik Çalışmalar

Oluşturulan bloklara maden yatağını temsil edecek bakır tenör değerlerinin atanması işlemi için jeostatistik yöntem kullanılmıştır. Jeostatistik yöntemde gözlemlerin yapıldığı noktaların konumları ve gözlemler arası korelasyon dikkate alınarak yansız ve minimum varyanslı kestirimler yapılabilmektedir (Yaprak ve Arslan, 2008).

3.4.1 Jeostatistik Variogramlar

Jeostatistikte bölgesel değişkenin değerleri arasındaki farkın uzaklığa bağlı değişimleri variogram fonksiyonu ile ortaya konur. Belirlenen teorik variogram ve parametrelerin geçerliliğinin test edilmesi için Kriging ile çapraz doğrulamaya tabi tutulur. Kriging hem ölçülen değerlerden ve değerlerin konumsal ilişkilerinden enterpolasyon yapma hem de varyansı aracılığı ile kestirim hatasının büyüklüğünü değerlendirme imkânı sağlamaktadır. Çalışmada küresel (spherical) variogram modeli ile değişkenlerin ve ortalamanın sabit olduğu varsayımına dayanan ordinary kriging yöntemi kullanılmıştır. Şekil 3.7’de görüleceği gibi nugget değeri 0,4426776, sill değeri 0,8150455 ve range değeri 95,294 olarak elde edilmiştir.

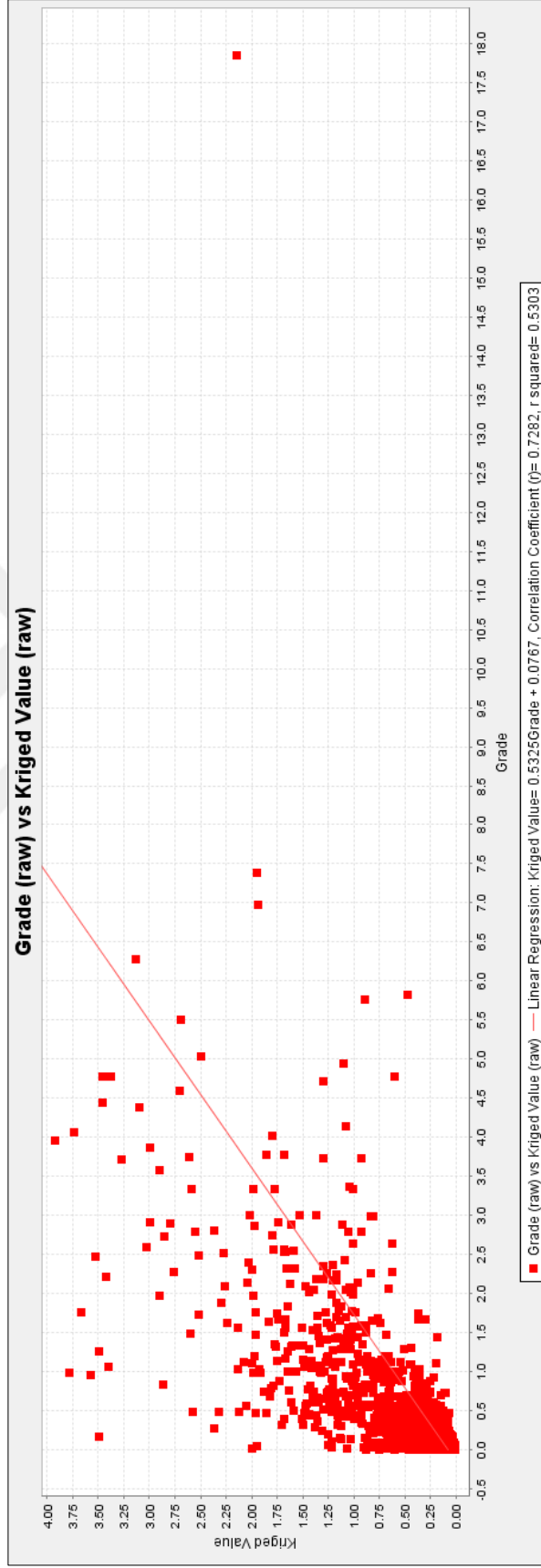


Şekil 3.14 Cu tenör variogramı ve parametreleri

3.4.2 Korelasyon Katsayısı

Çapraz doğrulamada gerçek değeri bilinen bir veri gerçek değeri bilinmiyormuş gibi, bilinen diğer veriler aracılığıyla noktasal kriging kestirim tekniği ile tahmin edilir. Bu işlem sonucunda elde edilen korelasyon katsayısının 1'e yakınlığı tahminlerdeki doğruluğu göstermektedir. Şekil 3.8'de bakır tenörü için yapılan çapraz doğrulama sonucunda korelasyon katsayısının (r) 0,7282 olarak elde edildiği görülmektedir.

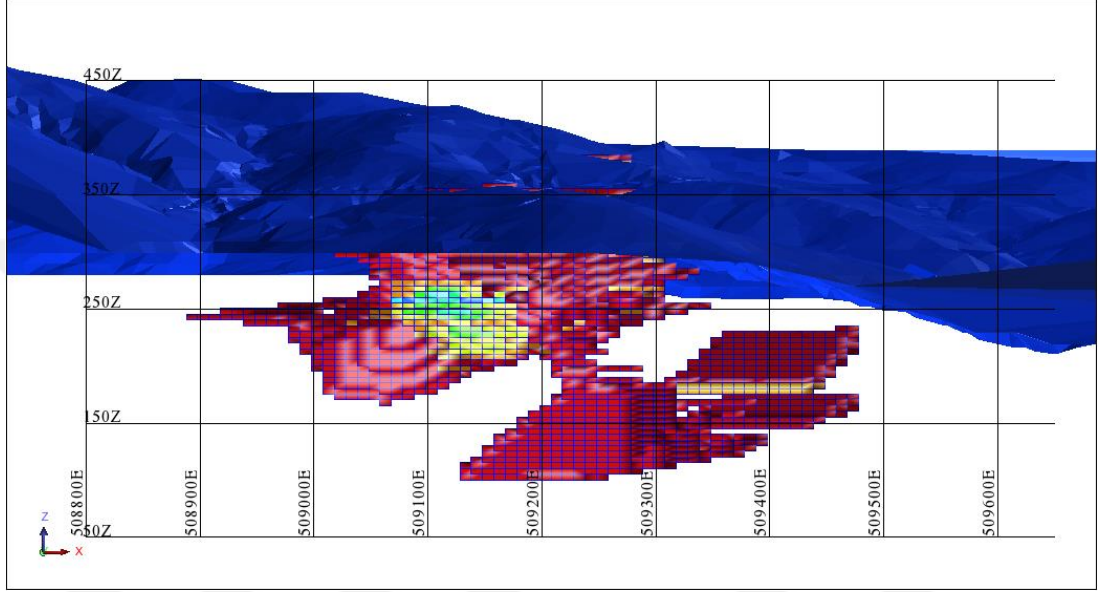




Şekil 3.15 Cu tenörü için belirlenen teorik variogram ve parametreleri için çapraz doğrulama sonucu

3.5 Blok Model Oluşturulması

Bu aşamanın ardından jeostatistik ynlem ile elde edilen nugget, sill ve range değerleri kullanılarak bloklara bakır tenör değerleri atanmıştır. Tenör değerlerine göre renklendirilen blok model şekil 3.9’da görülmektedir.

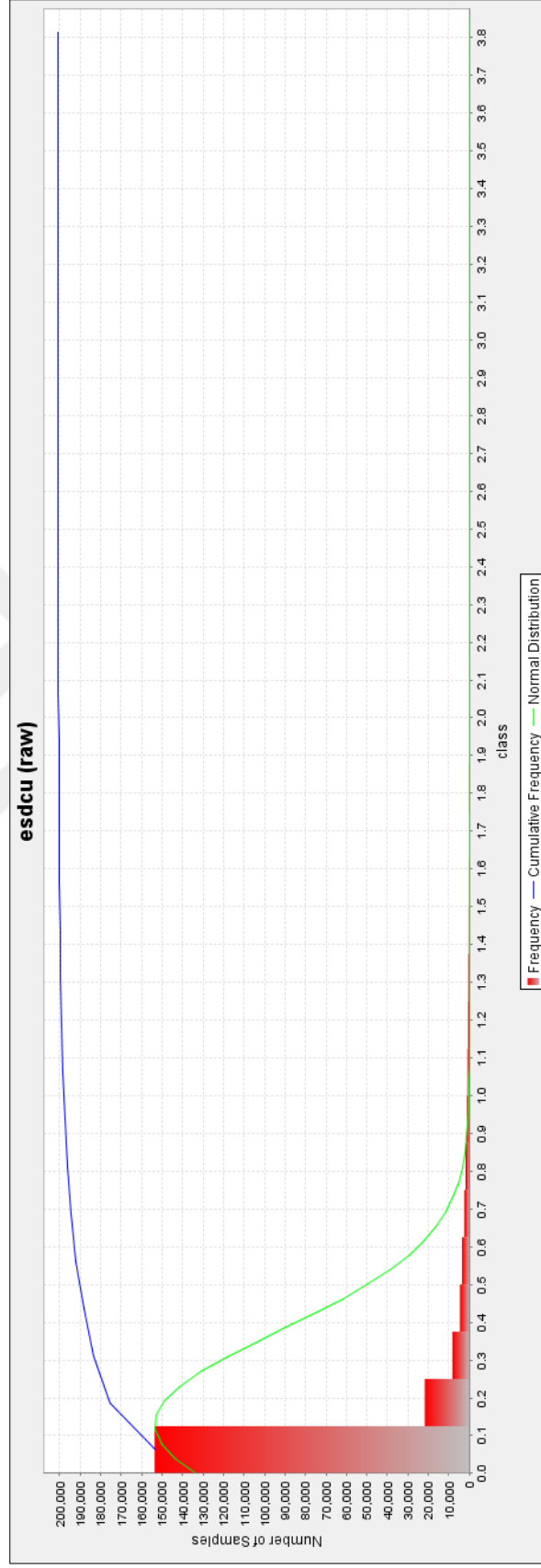


şekil 3.16 % Cu tenörüne göre renklendirilmiş blok model

Sondajlara ait verilerden elde edilen bakır dağılımı verileri Tablo 3.2’de yer almaktadır. Değer atama işleminden sonra blok modelden elde edilen bakır % dağılımı ise Tablo 3.3’te verilmiştir. Oluşturulan blok modele göre blok % Cu içeriklerinin dağılımı ise şekil 3.10’da verilmektedir. Blok modelden elde edilen 200.970 veri içerisinde en yüksek bakır içeriği % 3,854289, ortalama bakır içeriği % 0,129685’tir. Standart sapma 0,246747, varyans 0,060884 olarak hesaplanmıştır.

Tablo 3.3 Blok modele göre bakır % dağılımı

Örnek Sayısı	200970
En Küçük Değer	0,000000
En Büyük Değer	3,854289
Ortalama	0,129685
Ortanca	0,046243
Varyans	0,060884
Standart Sapma	0,246747
Değişim Katsayısı	1,902656
Çarpıklık	4,697161
Basıklık	34,306946
% 10,0	0,006981
% 20,0	0,019306
% 30,0	0,027098
% 40,0	0,035912
% 50,0 (Ortanca)	0,046243
% 60,0	0,062919
% 70,0	0,094279
% 80,0	0,152637
% 90,0	0,315415
% 95,0	0,587552
% 97,5	0,845205



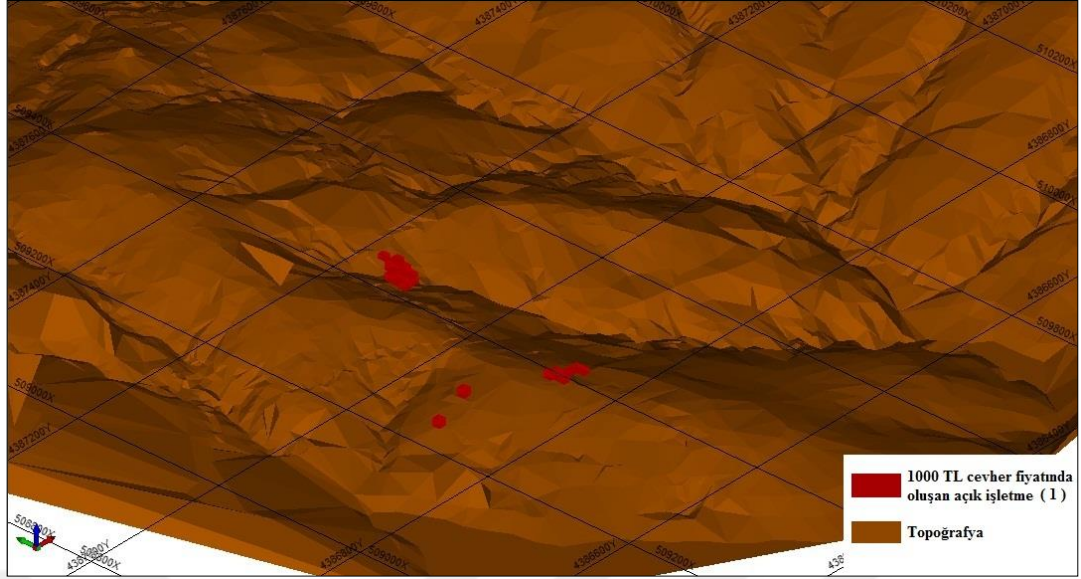
Şekil 3.17 Blok modele göre bakır histogramı

3.6 Açık Ocak Üretim Planının Belirlenmesi

Çalışma alanında 17.359.902 tonluk bakır rezervi bulunmaktadır (cevher birim hacim ağırlığı 2,5 ton/m³ kabul edilmiştir). Jeolojik yapı dikkate alınarak gerçekleştirilen cevher katı modeli içerisinde oluşturulan blok modelden elde edilen bu rezervin % Cu ortalaması % 0,1290 olarak Tablo 3.3'te hesaplanmıştır. Üretim planının belirlenebilmesi için oluşturulan iç içe ocaklar kavramına göre cevherin ton başına fiyatına farklı değerler verilerek elde edilen nihai açık ocak sınırları, işletmenin yıllık ilerleme yönünü de belirleyecektir. Bu örnek çalışmada kazı maliyeti cevher için 10,0 TL/ton, dekapaj için 8,0 TL/m³ olarak öngörülmüştür. Kabarma faktörü 1,35, kazı verimi % 95, genel şev açısı 45°, satış maliyeti 6,0 TL/ton, proses maliyeti 3,2 TL/ton, rehabilitasyon maliyeti 2,0 TL/ton olarak kabul edilmiştir. Farklı cevher satış fiyatları ile oluşturulan nihai ocak sınırları incelenmiş ve elde edilen sonuçlar aşağıda sıralanmıştır.

3.6.1 Birim Satış Fiyatı 1.000 TL/Ton İçin Ocak Sınırlarının İncelenmesi

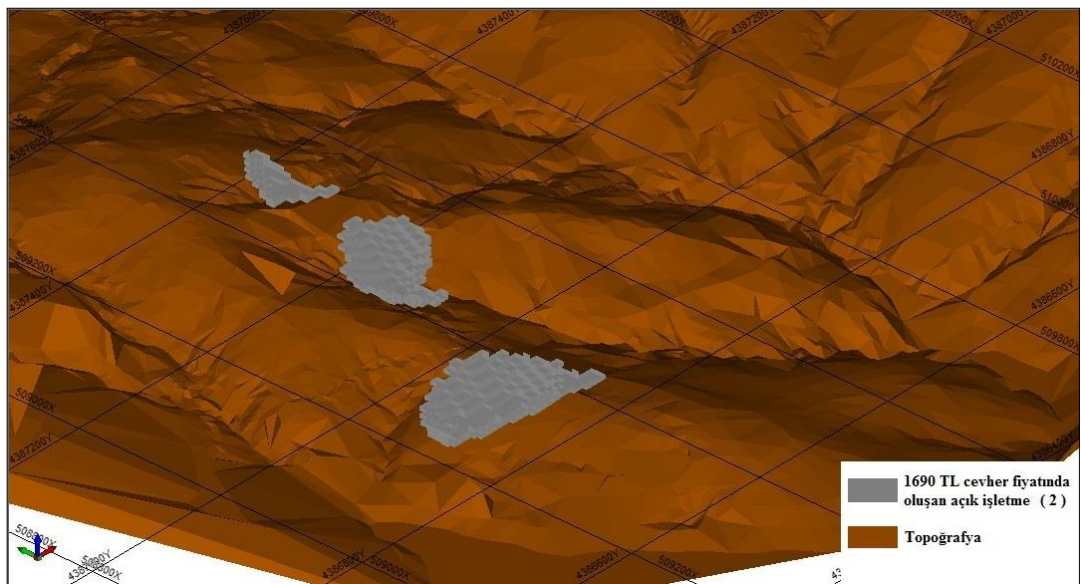
1.000 TL'lik cevher satış fiyatında 1.213 m³ dekapaj kazısı yapılmaktadır. Bu durumda % 0,65 tenörlü 8.988 m³ cevher kazısı yapılabilmekte ve örtü kazı oranı 0,05 m³/ton olmaktadır. Bu kabuller doğrultusunda beklenen işletme kârı 12.181 TL'dir. Şekil 3.11'de 1.000 TL cevher satış fiyatında oluşacak açık işletme görülmektedir.



Şekil 3.18 1.000 TL cevher satış fiyatında oluşan açık işletmenin görünümü

3.6.2 Birim Satış Fiyatı 1.690 TL/Ton İçin Ocak Sınırlarının İncelenmesi

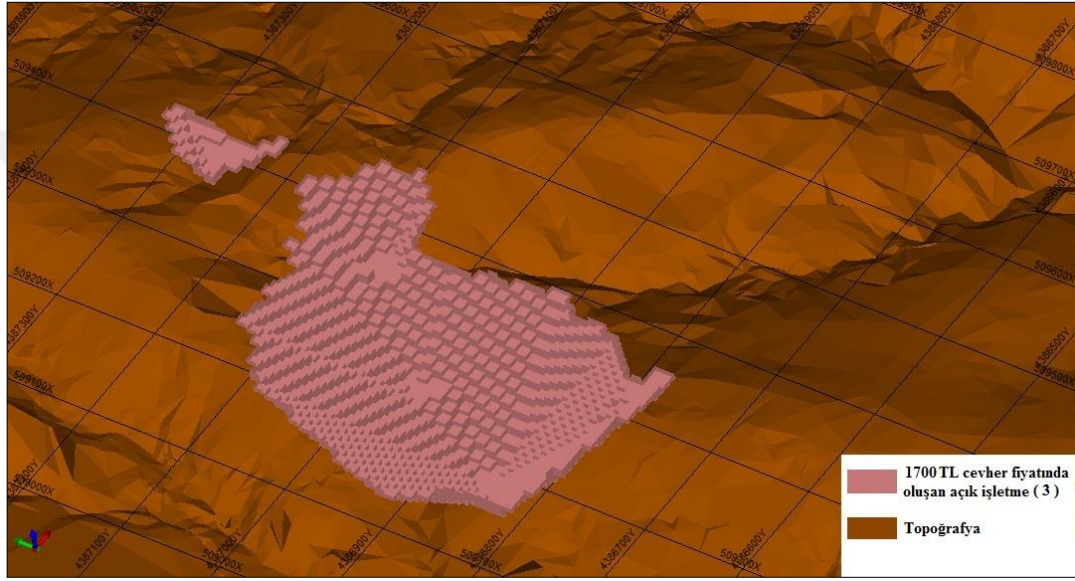
1.690 TL’lik cevher satış fiyatında 204.965 m³ dekapaj kazısı yapılmaktadır. Bu durumda % 0,29 tenörlü 331.135 m³ cevher kazısı yapılabilmekte ve örtü kazı oranı 0,25 m³/ton olmaktadır. Bu kabuller doğrultusunda beklenen işletme kârı 2.833.873 TL’dir. Şekil 3.12’de 1.690 TL cevher satış fiyatında oluşacak açık işletme görülmektedir.



Şekil 3.19 1.690 TL cevher satış fiyatında oluşan açık işletmenin görünümü

3.6.3 Birim Satış Fiyatı 1.700 TL/Ton İçin Ocak Sınırlarının İncelenmesi

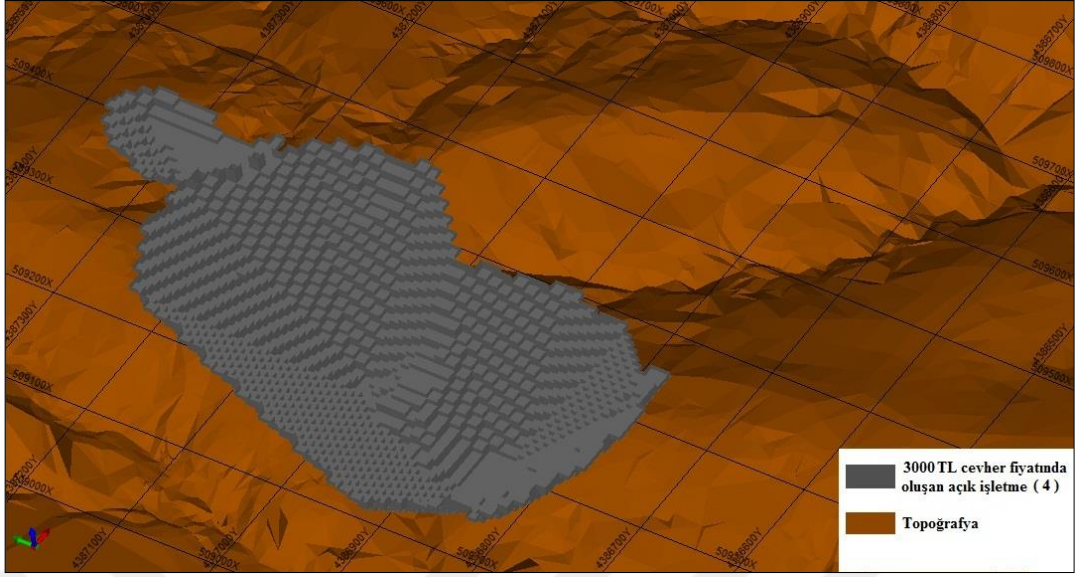
1.700 TL'lik cevher satış fiyatında 2.662.140 m³ dekapaj kazısı yapılmaktadır. Bu durumda % 0,29 tenörlü 1.558.824 m³ cevher kazısı yapılabilmekte ve örtü kazı oranı 0,68 m³/ton olmaktadır. Bu kabuller doğrultusunda beklenen işletme kârı 1.227.488 TL'dir. Şekil 3.13'te 1.700 TL cevher satış fiyatında oluşacak açık işletme görülmektedir.



Şekil 3.20 1.700 TL cevher satış fiyatında oluşan açık işletmenin görünümü

3.6.4 Birim Satış Fiyatı 3.000 TL/Ton İçin Ocak Sınırlarının İncelenmesi

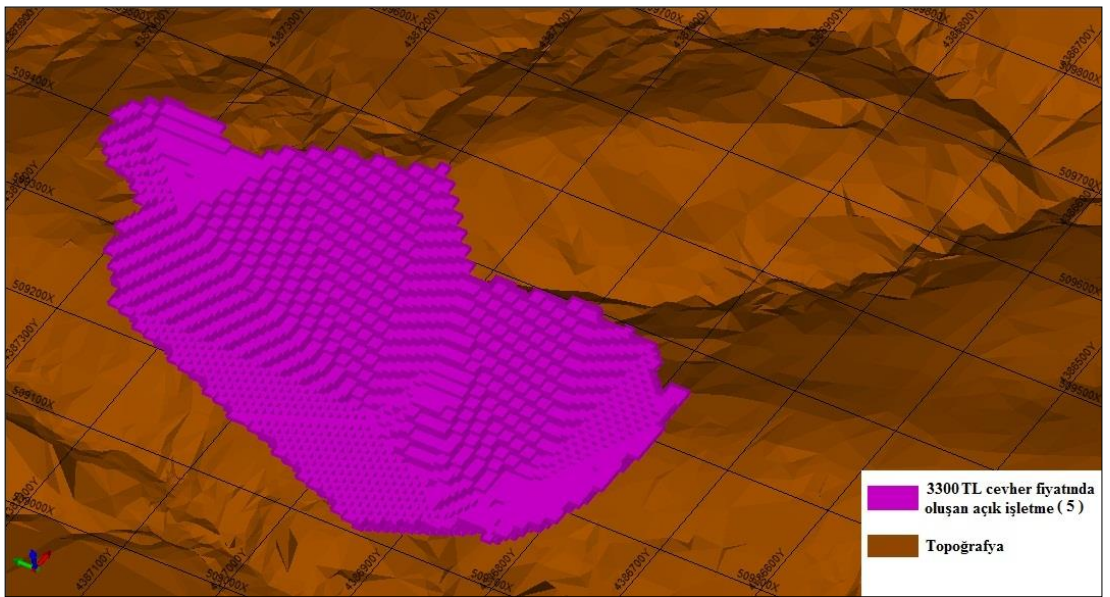
3.000 TL'lik cevher satış fiyatında 4.005.654 m³ dekapaj kazısı yapılmaktadır. Bu durumda % 0,14 tenörlü 3.190.581 m³ cevher kazısı yapılabilmekte ve örtü kazı oranı 0,50 m³/ton olmaktadır. Bu kabuller doğrultusunda beklenen işletme kârı 63.967.066 TL'dir. Şekil 3.14'te 3.000 TL cevher satış fiyatında oluşacak açık işletme görülmektedir.



Şekil 3.21 3.000 TL cevher satış fiyatında oluşan açık işletmenin görünümü

3.6.5 Birim Satış Fiyatı 3.300 TL/Ton İçin Ocak Sınırlarının İncelenmesi

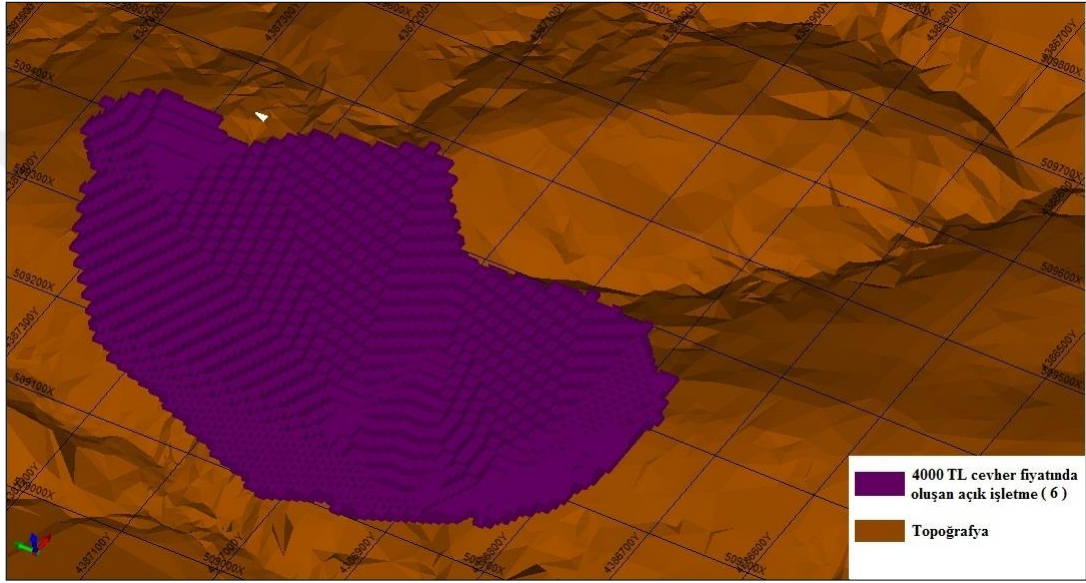
3.300 TL'lik cevher satış fiyatında 4.619.678 m³ dekapaj kazısı yapılmaktadır. Bu durumda % 0,12 tenörlü 3.604.081 m³ cevher kazısı yapılabilmekte ve örtü kazı oranı 0,51 m³/ton olmaktadır. Bu kabuller doğrultusunda beklenen işletme kârı 82.084.173 TL'dir. Şekil 3.15'te 3.300 TL cevher satış fiyatında oluşacak açık işletme görülmektedir.



Şekil 3.22 3.300 TL cevher satış fiyatında oluşan açık işletmenin görünümü

3.6.6 Birim Satış Fiyatı 4.000 TL/Ton İçin Ocak Sınırlarının İncelenmesi

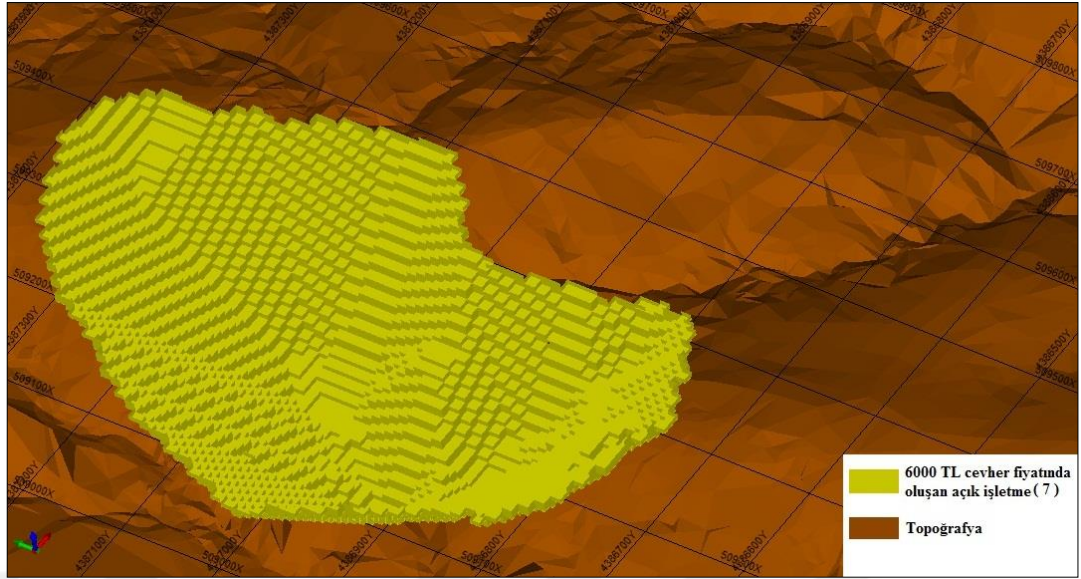
4.000 TL'lik cevher satış fiyatında 6.291.839 m³ dekapaj kazısı yapılmaktadır. Bu durumda % 0,09 tenörlü 4.637.581 m³ cevher kazısı yapılabilmekte ve örtü kazı oranı 0,54 m³/ton olmaktadır. Bu kabuller doğrultusunda beklenen işletme kârı 131.049.857 TL'dir. Şekil 3.16'da 4.000 TL cevher satış fiyatında oluşacak açık işletme görülmektedir.



Şekil 3.23 4.000 TL cevher satış fiyatında oluşan açık işletmenin görünümü

3.6.7 Birim Satış Fiyatı 6.000 TL/Ton İçin Ocak Sınırlarının İncelenmesi

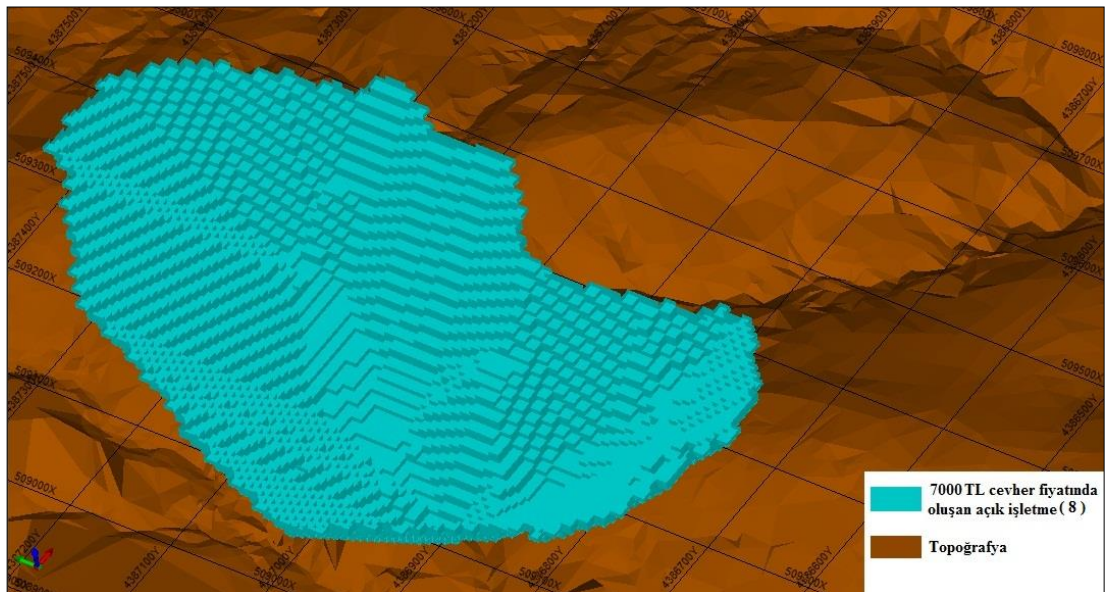
6.000 TL'lik cevher satış fiyatında 7.836.535 m³ dekapaj kazısı yapılmaktadır. Bu durumda % 0,05 tenörlü 5.751.461 m³ cevher kazısı yapılabilmekte ve örtü kazı oranı 0,55 m³/ton olmaktadır. Bu kabuller doğrultusunda beklenen işletme kârı 289.693.709 TL'dir. Şekil 3.17'de 6.000 TL cevher satış fiyatında oluşacak açık işletme görülmektedir.



Şekil 3.24 6.000 TL cevher satış fiyatında oluşan açık işletmenin görünümü

3.6.8 Birim Satış Fiyatı 7.000 TL/Ton İçin Ocak Sınırlarının İncelenmesi

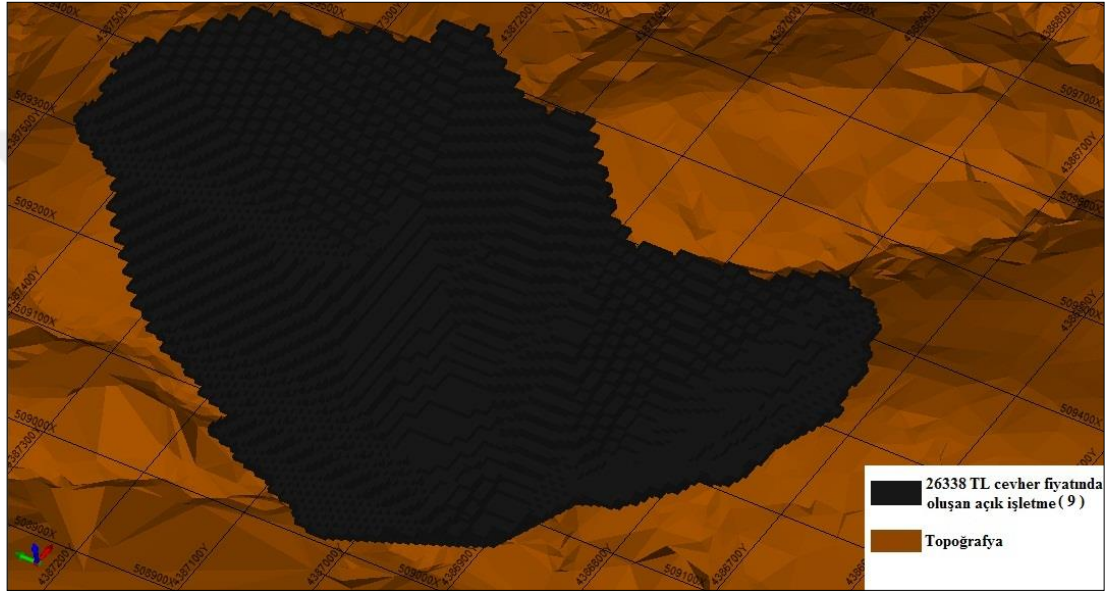
7.000 TL’lik cevher satış fiyatında 10.038.659 m³ dekapaj kazısı yapılmaktadır. Bu durumda % 0,03 tenörlü 6.229.461 m³ cevher kazısı yapılabilmekte ve örtü kazı oranı 0,64 m³/ton olmaktadır. Bu kabuller doğrultusunda beklenen işletme kârı 374.824.764 TL’dir. Şekil 3.18’de 7.000 TL cevher satış fiyatında oluşacak açık işletme görülmektedir.



Şekil 3.25 7.000 TL cevher satış fiyatında oluşan açık işletmenin görünümü

3.6.9 Birim Satış Fiyatı 26.338 TL/Ton İçin Ocak Sınırlarının İncelenmesi

26.338 TL'lik cevher satış fiyatında 14.058.774 m³ dekapaj kazısı yapılmaktadır. Bu durumda % 0,02 tenörlü 6.943.961 m³ cevher kazısı yapılabilmekte ve örtü kazı oranı 0,81 m³/ton olmaktadır. Bu kabuller doğrultusunda beklenen işletme kârı 2.147.474.792 TL'dir. Şekil 3.19'da 26.338 TL cevher satış fiyatında oluşacak açık işletme görülmektedir.



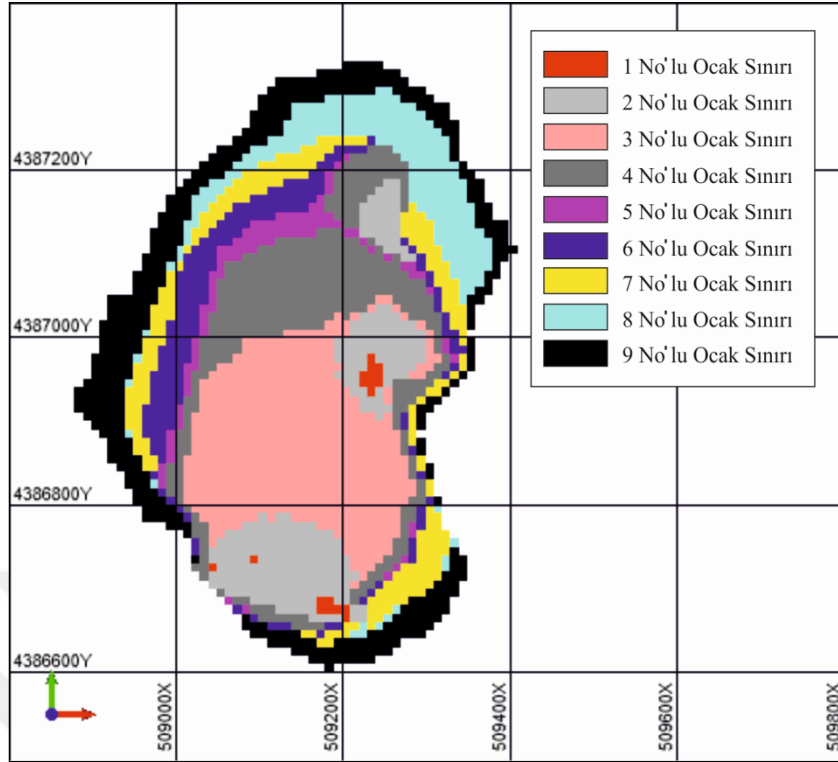
Şekil 3.26 26.338 TL cevher satış fiyatında oluşan açık işletmenin görünümü

Kabul edilen değerlere göre, üretime başlanabilmesi için bakır fiyatının en az 1.000 TL/ton olması gerekmektedir. Rezervin tamamının kazanılabilmesi için ise bakır fiyatının 26.338 TL/ton'a ulaşması gerekmektedir. Farklı bakır fiyatlarına karşılık nihai açık ocak sınırlarında meydana gelen değişimler hem Tablo 3.4'te, hem de Şekil 11 ve Şekil 12'de toplu olarak gösterilmektedir. Bu şekillere göre, ocak ilerleme yönü güneyden başlayıp kuzeye doğru olacak ve bu yönde ocak derinliği de artacaktır. Ocak sınırı batıya doğru genişledikçe ocak derinliği de artış gösterecektir.

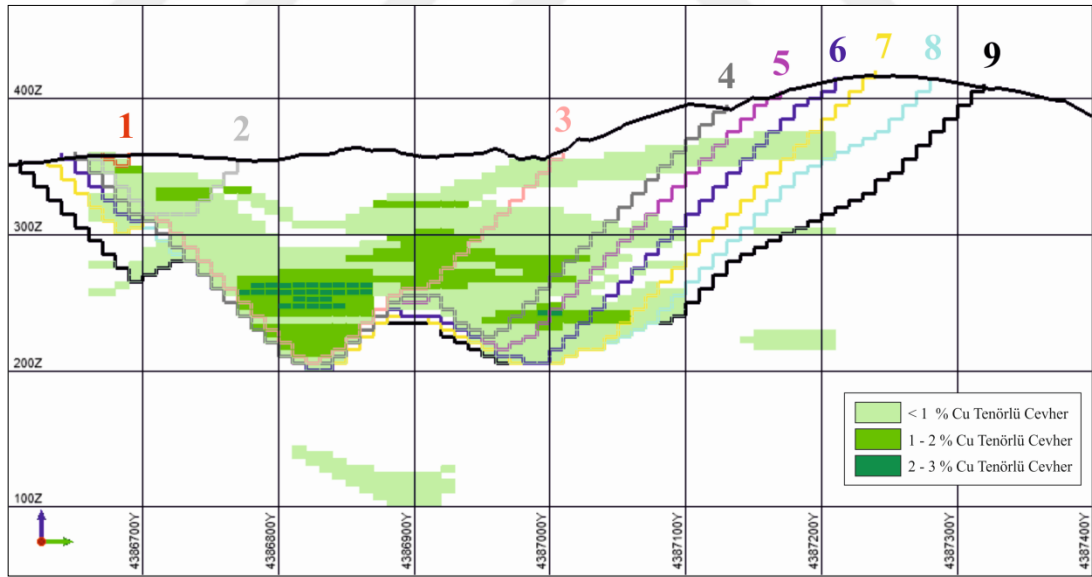
Tablo 3.4 Cevher fiyatına bağlı olarak üretim parametrelerinde oluşan değişimler

OCAK NO	CEVHER SATIŞ FİYATI (TL/ton)	CEVHER MİKTARI (ton)	DEKAPAJ MİKTARI (m ³)	ÖRTÜ-KAZI ORANI (m ³ /ton)	ELDE EDİLECEK KÂR (TL)	OCAK ORTALAMA TENÖRÜ (%)
1	1.000	22.470	1.213	0,05	12.181	0,65
2	1.690	827.837	204.965	0,25	2.833.873	0,29
3	1.700	3.897.061	2.662.140	0,68	1.227.488	0,29
4	3.000	7.976.453	4.005.654	0,50	63.967.066	0,14
5	3.300	9.010.203	4.619.678	0,51	82.084.173	0,12
6	4.000	11.593.953	6.291.839	0,54	131.049.857	0,09
7	6.000	14.378.652	7.836.535	0,55	289.693.709	0,05
8	7.000	15.573.652	10.038.659	0,64	374.824.764	0,03
9	26.338	17.359.902	14.058.774	0,81	2.147.474.792	0,02

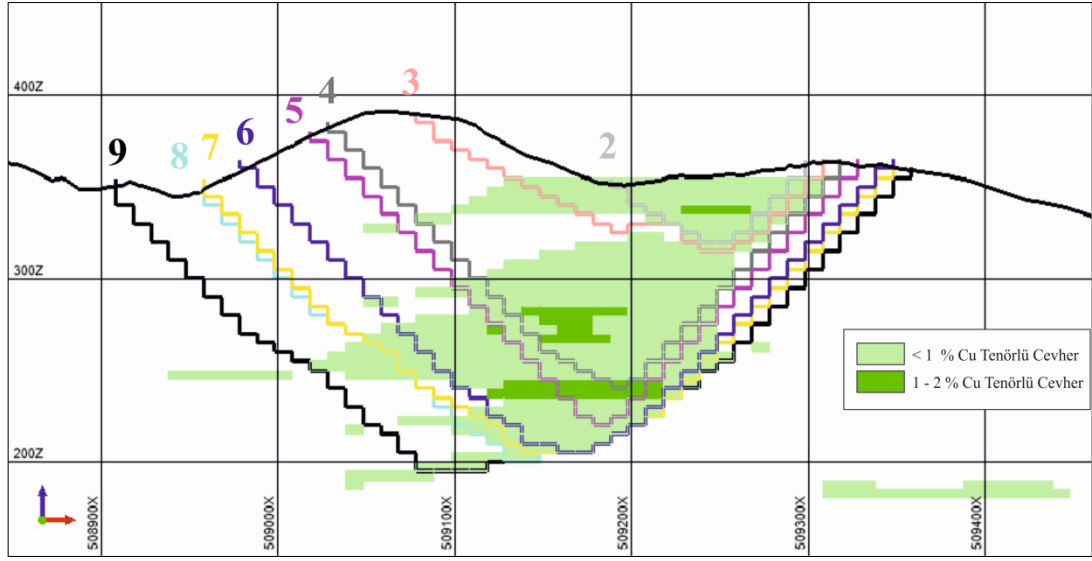
Farklı ton başına cevher fiyatları ile iç içe ocaklar oluşturularak yapılacak dekapaj ve cevher kazı miktarları belirlenmiş ve Tablo 3.4'te verilmiştir. Sahada üretim yapılabilmesi için Bakır fiyatının en az 1.000 TL/ton olması gerekmektedir. Bakır birim fiyatları tarafımızca arttırıldıkça kazı miktarı artmakta ve ortalama tenör düşmektedir. Bakır fiyatının 26.338 TL'ye ulaşması durumunda 17.359.902 tonluk bakır rezervinin tamamının kazanılması mümkün olacaktır. Farklı cevher fiyatları için optimum açık ocak sınırı belirlenmesi aşamasında, Lerchs-Grossman tarafından geliştirilmiş algoritma kullanılmıştır. Elde edilen ocak görünümleri Şekil 3.20, 3.21 ve 3.22'de verilmiştir.



Şekil 3.27 Oluşan ocakların üstten görünümü



Şekil 3.28 Oluşan ocak sınırlarının kuzey-güney yönlü kesit görünüm



Şekil 3.29 Oluşan ocak sınırlarının doğu-batı yönlü kesit görünümü

Tablo 3.4'te görüldüğü üzere, farklı cevher fiyatları için oluşturulan iç içe ocakların sınır tenör ve örtü-kazı oranları verilmektedir. Her bir ocak arasındaki değerler incelenerek, cevher hazırlama tesisine homojen cevher verilmesi ile ilgili değerlendirmeler gerçekleştirilmelidir. Ayrıca tablodaki örtü kazı oranları değerleri kullanılarak, makine ekipman parkının yıllık örtü kazı oranını karşılayabilecek yeterliliği araştırılmalıdır.

BÖLÜM DÖRT

SONUÇLAR

Bu çalışmada, herhangi bir açık ocak tasarımı için planlama aşamasında gerçekleştirilecek tüm aşamalar bir örnek vasıtası ile verilmiş, sondaj verilerinin değerlendirilmesinden, açık ocak üretim planlamasına kadar tüm aşamalar gösterilmiştir. En yüksek net karı verecek açık ocak nihai sınırının belirlenmesi oldukça karmaşık bir işlemdir. Değişken fiyatlar ve paranın bugünkü değeri göz önüne alındığında, en son nihai üretim sınırını bugünkü üretim maliyetleri ve cevher satış fiyatları ile belirlemek doğru olmayacaktır. Doğru olmayan nihai sınır içerisinde yıllık üretim planı yapmakta doğru olmayacaktır. Açık ocak sınırı belirlenirken, pozitif kar yapabilecek en düşük cevher satış fiyatı ile bir ilk ocak oluşturulmaktadır. Bu durumdaki cevher fiyatı piyasadaki geçerli cevher fiyatından çok düşük olabilir. Amaç, çok düşük fiyatlarda dahi kar elde edilebilecek ilk açık ocak sınırını belirlemektir. Böyle bir durumda paranın bugünkü değeri ile indirgeme uygulamanın bir önemi kalmayacaktır. İlk pozitif karlı ocaktan daha karlı bir açık ocak olmayacağı için, cevher fiyatı artırılarak oluşturulan iç içe açık ocaklar, bir sonraki aşamada hangi yöne kazı gerçekleştirileceği ile ilgili planlamacıya önemli fikir verecektir.

Bu çalışmada cevher fiyatları 1.000 TL/ton'dan 26.338 TL/ton'a farklı aralıklarda değiştirilerek iç içe açık ocaklar elde edilmiştir. Farklı açık ocak şev açıları, farklı kazı ve cevher hazırlama maliyeti değerleri ile optimum nihai sınır belirleme algoritması çalıştırılarak açık ocak ilerleme yönleri simüle edilebilir. Özellikle, ocak ilerlemeleri esnasında kullanılan iç içe ocakların cevher ve örtü miktarları, örtü kazı oranları ve cevher tenörleri, ekonomik değerlendirmeye birlikte ele alınmalıdır.

KAYNAKLAR

- Amankwah, H., Larsson, T. ve Textorius, B. (2014). A maximum flow formulation of a multi-period open-pit mining problem. *Operational Research* , 14(1), 1-10.
- Avşar, M. K. (2006). *Tepeoba (Havran-Balıkesir) Cu-Mo-Au sahasının maden jeolojisi raporu*. Ankara: MTA.
- Dağdelen, K. ve Johnson, T. B. (1986). Optimum open pit mine production scheduling by lagrangian parameterization. *Proceedings of the 19th Apcom*, 127-142.
- Demirbugan, A. (2015). Maden projelerinin değerlendirilmesinde optimum üretim miktarlarının belirlenmesi. *Afyonkarahisar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 17 (1), 129-146.
- Dowd, P. ve Onur, A. (1992). Optimising open pit design and sequencing. *Proceedings of the 23rd APCOM*, 411-422.
- Erarslan, K. ve Çelebi, N. (2001). A simulative model for optimum open pit design. *CIM Bulletin*, 94 (1055), 59-68.
- Hakyemez, Y. (2013). *Field trip guide book*. Ankara: MTA.
- Johnson, T. B. (1968). *Optimum open pit mine production scheduling*. Report ORC 68-11 of Operations Research Center, University of California, Berkeley.
- Korobov, S. (1974). Method for determining optimal open pit limits. *Technical Report*, 1-24.
- Lerchs, H. ve Grossmann, I. F. (1965). Optimum design of open pit mines. *CIM Bulletin*, 58, 47-54.

- Maral, D. (2006). *Biga yarımadası sülfür mineralizasyonlarına bağlı kıymetli metallerin incelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Matheron, G. (1975). Le paramétrage des contours optimaux. *Technique Notes* (401), 19-54.
- 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.
- Özkan, M. (2015). *Açık işletmelerde optimum üretim planlamasında yeni bir yöntem geliştirilmesi*. Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Özkan, M. ve Erçelebi, S. G. (2014). Açık ocak nihai sınırlarının belirlenmesinde kullanılan yöntemler. *Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 2 (3), 38-53.
- Pana, M. T. (1965). The simulation approach to open pit design. *5.th APCOM Symposiums*, 1-24.
- Ramazan, S., Dağdelen, K. ve Johnson, T. (2005). Fundamental tree algorithm in optimising production scheduling for open pit mine design. *Mining Technology*, 114 (1), 45-54.
- Roman, R. (1974). The role of time value of money in determining an open pit mining sequence and pit limits. *CIM Bulletin*, 94, 68.

Steffen, O. K., Holt, W. ve Symons, V. R. (1981). Açık ocak geometrisinin optimizasyonu ve uygulama yöntemi. *Bilimsel Madencilik Dergisi*, 20 (2), 58-88.

TMMOB, Y. K. (2019). *TMMOB*. 14 Haziran 2019, <https://www.tmmob.org.tr>

Wharton C. (2000). Add value to your mine through improved long term scheduling. *Whittle North American Strategic Mine Planning Conference*, 1-13.

Whittle, J. (1989). *The facts and fallacies of open pit optimization*. Whittle Programming Pty, Ltd., North Balwyn, Victoria, Australia.

Whittle, J. (1999). A decade of open pit mine planning and optimization - the craft of turning algorithms into packages. *Proceedings of the 28th APCOM*, 15-24.

Yaprak, S. ve Arslan, E. (2008). Kriging yönteminin geoit yüzeyi modellemesinde kullanılabilirlik araştırması. *İtü Dergisi Seri D: Mühendislik* , 51-62.