



**İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**MADENCİLİK PROJELERİNDE EN UYGUN EKONOMİK
SINIR TENÖR STRATEJİSİNİN GELİŞTİRİLMESİ**

**Maden Müh. Serkan TÜYLÜ
Maden Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Danışman
Doç.Dr. Ataç BAŞÇETİN**

Temmuz, 2009

İSTANBUL

Bu çalışma 07/07/2009 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Maden Mühendisliği Anabilim Dalı Maden Mühendisliği programında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi


Doç. Dr. Ataç BAŞÇETİN (Danışman)
İstanbul Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi


Prof. Dr. Şafak G. ÖZKAN
İstanbul Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi


Prof. Dr. Hasan ERGİN
İstanbul Teknik Üniversitesi
Maden Fakültesi


Doç. Dr. Hanifi ÇOPUR
İstanbul Teknik Üniversitesi
Maden Fakültesi


Yrd. Doç. Dr. Ümit ÖZER
İstanbul Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi

Bu alışma İstanbul Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yürütücü Sekreterliğinin T-2456 numaralı projesi ile desteklenmiştir.

ÖNSÖZ

Bu tez çalışması İstanbul Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümünde 2008-2009 yılları arasında yürütülmüş olup, İstanbul Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yürütücü Sekreterliğinin T-2456 numaralı projesi ile desteklenmiştir.

Lisans ve yüksek lisans öğrenimim sırasında ve tez çalışmalarım boyunca gösterdiği her türlü destek ve yardımdan dolayı çok değerli hocam Doç. Dr. Ataç BAŞÇETİN'e en içten dileklerle teşekkür ederim. Aynı zamanda katkıları ve bilgi sağlama konusundaki yardımları nedeniyle başta Eti Bakır A.Ş. Genel Müdürü Ahmet TEZCAN olmak üzere Eti Bakır A.Ş.-Cengiz İnşaat mühendislerine ve tüm çalışanlarına, ayrıca bu çalışma boyunca yardımlarını esirgemeyen tüm İ.Ü. Maden Mühendisliği Bölümü Hocalarıma, çalışma arkadaşlarıma ve çalışmamın uygulama kısmını destekleyen İstanbul Üniversitesi'ne teşekkürü borç bilirim.

Hayatımın her safhasında olduğu gibi, tez çalışma dönemimde de maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen babam Ahmet TÜYLÜ'ye, annem Melahat TÜYLÜ'ye ve ağabeyim Gökhan TÜYLÜ'ye sonsuz teşekkür ederim.

Temmuz, 2009

Serkan TÜYLÜ

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	i
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİL LİSTESİ	v
TABLO LİSTESİ	viii
SEMBOL LİSTESİ	x
ÖZET	xi
SUMMARY	xii
1. GİRİŞ	1
2. GENEL KISIMLAR.....	6
2.1. MADEN YATAĞI MODELLEME VE REZERV HESAPLAMA YÖNTEMLERİ	6
2.1.1. Kriging Prediksiyon (Ön Kestirim) Yöntemi	7
2.1.2. En Yakın Komşu Analizi (Nearest Neighbour)	9
2.1.3. Uzaklığın Ters Olarak Ağırlıklandırma Yöntemi ile Yapılan Kestirim	10
2.2. EKONOMİK SINIR TENÖRÜ OPTİMİZASYONU	11
2.2.1. Temel kavramlar	11
2.2.2. COG Hesaplamasında Kullanılan Teknikler	12
2.2.3. Heuristic Ekonomik sınır Tenör Optimizasyon Teknikleri	13
2.3. MADEN İŞLETMESİNİN ÇEVRE İLE UYUM PLANI	15
3. MALZEME.....	17
3.1. ÇALIŞMA SAHASI İLE İLGİLİ BİLGİLER	17

3.1.1. İstihdam Durumu	20
3.2. MADEN YATAĞIYLA İLGİLİ GENEL JEOLJİK BİLGİLER	21
3.2.1. Ruhsat Sahası Genel Jeolojik Konumu	22
3.2.2. Cevher Yataklarının Kısa Açıklamaları	23
3.2.3. Bölgedeki Cevher Yataklarının Genel Sınıflandırması	25
3.3. SAHANIN KİMYASAL ANALİZ DEĞERLERİ	26
3.4. MADEN İŞLETME YÖNTEMİ	27
3.4.1. Bakibaba Açık Ocağı	27
3.4.2. Aşıköy Yeraltı Ocağı	30
3.5. MALZEMENİN KONSANTRE ÖZELLİKLERİ	34
3.6. CEVHER HAZIRLAMA TESİSİ İLE İLGİLİ BİLGİLER	35
4. YÖNTEMLER	38
4.1. VERİ TABANI OLUŞTURMA	38
4.2. MADEN YATAĞININ VE TOPOĞRAFİK YÜZEYİN MODELLENMESİ	38
4.3. REZERV VE TENÖR TONAJ DAĞILIMININ BELİRLENMESİ	39
4.4. HEDEFLENEN KONULARIN ARAŞTIRILMASI	39
4.5. LANE ALGORİTMASINDA KULLANILAN İŞLEM ADIMLARI	41
4.5.1. Generalized Reduced Gradient (GRG) Yaklaşımı ile Ekonomik Sınır Tenörünün Hesaplanması	42
5. BULGULAR	48
5.1. BLOK MODELLEME İLE TENÖR-TONAJ DAĞILIMININ BELİRLENMESİ	51
5.2. EKONOMİK SINIR TENÖR (COG) OPTİMİZASYONU	53
5.2.1. En Yakın Komşu Yaklaşımına (NN) Göre COG Hesaplamaları	56
5.2.1.1. Senaryo A'ya (Başçetin, ve Nieto, 2007) Göre COG Hesaplamaları	57
5.2.1.2. Senaryo B'ye (Reklamasyon Maliyeti ile) Göre COG Hesaplamaları	79
5.2.2. Uzaklığın Tersine Yaklaşımına Göre COG Hesaplamaları	106
5.2.2.1. Senaryo C'ye (Başçetin ve Nieto, 2007) Göre	

<i>COG Hesaplamaları</i>	107
<i>5.2.2.2. Senaryo D'ye (Reklamasyon Maliyeti ile) Göre</i>	
<i>COG Hesaplamaları</i>	115
5.3. EKONOMİK SINIR TENÖR HESAPLAMALARININ	
TEKNİK OLARAK İNCELENMESİ	124
6. TARTIŞMA VE SONUÇ	126
7. KAYNAKLAR	129
8. EKLER	132
9. ÖZGEÇMİŞ	141

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1	: Bilinen değişik türlerde semivariogramlar	8
Şekil 2.2	: Her noktanın kendisi ile en yakın kümeye yerleştirilmesi	9
Şekil 2.3	: Bilinmeyen bir kaydı sınıflandırmak	10
Şekil 2.4	: İki noktadan değeri bilinmeyen bir noktanın kestirimi	10
Şekil 2.5	: Çeşitli ekonomik sınır tenörleri için ocağın ideal kesitleri.....	15
Şekil 3.1	: Yer Bulduru Haritası	18
Şekil 3.2	: Küre Bölgesi Genel Jeolojisi	21
Şekil 3.3	: W ve TW atıklarının oluşumu	27
Şekil 3.4	: Bakibaba Açık İşletme Basamak-Şev Geometrisi	28
Şekil 3.5	: Bakibaba Açık İşletme Patlatma Delik Geometrisi	28
Şekil 3.6	: Aşıköy Yeraltı Ocağı Cevher Üretim Yöntemi	32
Şekil 3.7	: Tesisler Yerleşim Planı	37
Şekil 4.1	: Ekonomik sınır tenör optimizasyonu için algoritma akış şeması	43
Şekil 5.1	: Sondaj lokasyonları	48
Şekil 5.2	: 36 Sondajın jeolojik formasyonları ve tenör değerleri.....	49
Şekil 5.3	: Bakır cevherinin 3D görünümü	49
Şekil 5.4	: 2008 Bakibaba açık ocağı görünümü	50
Şekil 5.5	: Cevher ve ocağın birlikte görünümü.....	50
Şekil 5.6	: Bloklara ayrılmış 3DM cevherin görünümü.....	53
Şekil 5.7	: NN yaklaşımına göre yatağın tenör-tonaj dağılımı.....	56
Şekil 5.8	: Senaryo A-I'in farklı optimizasyon faktörleri (σ) ve toplam NPV değerlerinin analizi	60
Şekil 5.9.a	: Senaryo A-I'in COG dağılımları	60
Şekil 5.9.b	: Senaryo A-I'in Fayda dağılımları	61
Şekil 5.10	: Senaryo A-I'in COG'a göre oluşan Atık miktarlarının (W) yıllara göre dağılımları	62
Şekil 5.11	: Senaryo A-I'in Ortalama Tenörlerin karşılaştırılması	63
Şekil 5.12	: Senaryo A-I'in Cevher Hazırlama Sonrası Atık (TW) miktarlarının karşılaştırılması	64
Şekil 5.13	: Senaryo A-I'in Kazı Oranlarının (SR) karşılaştırılması.....	65
Şekil 5.14	: Senaryo A-II'nin farklı optimizasyon faktörleri ve toplam NPV değerlerinin analizi	67
Şekil 5.15.a	: Senaryo A-II'nin COG dağılımları	68
Şekil 5.15.b	: Senaryo A-II'nin Fayda dağılımları	68
Şekil 5.16	: Senaryo A-II'nin COG'a göre oluşan Atık miktarlarının (W) yıllara göre dağılımları	69
Şekil 5.17	: Senaryo A-II'nin Ortalama Tenörlerin karşılaştırılması	70
Şekil 5.18	: Senaryo A-II'nin Cevher Hazırlama Sonrası Atık (TW) miktarlarının karşılaştırılması	71
Şekil 5.19	: Senaryo A-II'nin Kazı Oranlarının (SR) karşılaştırılması	72

Şekil 5.20	: Senaryo A-III'ün farklı optimizasyon faktörleri ve toplam NPV değerlerinin analizi	74
Şekil 5.21.a	: Senaryo A-III'ün COG dağılımları	75
Şekil 5.21.b	: Senaryo A-III'ün Fayda dağılımları.....	75
Şekil 5.22	: Senaryo A-III'ün COG'a göre oluşan Atık miktarlarının (W) yıllara göre dağılımları	76
Şekil 5.23	: Senaryo A-III'ün Ortalama Tenörlerin karşılaştırılması.....	77
Şekil 5.24	: Senaryo A-III'ün Cevher Hazırlama Sonrası Atık (TW) miktarlarının karşılaştırılması.....	78
Şekil 5.25	: Senaryo A-III'ün Kazı Oranlarının (SR) karşılaştırılması	78
Şekil 5.26	: Senaryo B-I'in farklı optimizasyon faktörleri (σ) ve toplam NPV değerlerinin analizi	83
Şekil 5.27.a	: Senaryo B-I'in COG dağılımları.....	83
Şekil 5.27.b	: Senaryo B-I'in Fayda dağılımları	83
Şekil 5.28	: Senaryo B-I'in COG'a göre oluşan Atık miktarlarının (W) yıllara göre dağılımları	84
Şekil 5.29	: Senaryo B-I'in Ortalama Tenörlerin karşılaştırılması.....	85
Şekil 5.30	: Senaryo B-I'in Cevher Hazırlama Sonrası Atık (TW) miktarlarının karşılaştırılması	86
Şekil 5.31	: Senaryo B-I'in Kazı Oranlarının (SR) karşılaştırılması.....	87
Şekil 5.32	: Senaryo B-II'nin farklı optimizasyon faktörleri ve toplam NPV değerlerinin analizi	90
Şekil 5.33.a	: Senaryo B-II'nin COG dağılımları	90
Şekil 5.33.b	: Senaryo B-II'nin Fayda dağılımları	91
Şekil 5.34	: Senaryo B-II'nin COG'a göre oluşan Atık miktarlarının (W) yıllara göre dağılımları	92
Şekil 5.35	: Senaryo B-II'nin Ortalama Tenörlerin karşılaştırılması	93
Şekil 5.36	: Senaryo B-II'nin Cevher Hazırlama Sonrası Atık (TW) miktarlarının karşılaştırılması.....	94
Şekil 5.37	: Senaryo B-II'nin Kazı Oranlarının (SR) karşılaştırılması.....	95
Şekil 5.38	: Senaryo B-IV'ün farklı optimizasyon faktörleri ve toplam NPV değerlerinin analizi	98
Şekil 5.39.a	: Senaryo B-IV'ün COG dağılımları	98
Şekil 5.39.b	: Senaryo B-IV'ün Fayda dağılımları.....	99
Şekil 5.40	: Senaryo B-IV'ün COG'a göre oluşan Atık miktarlarının (W) yıllara göre dağılımları	100
Şekil 5.41	: Senaryo B-IV'ün Ortalama Tenörlerin karşılaştırılması.....	101
Şekil 5.42	: Senaryo B-IV'ün Cevher Hazırlama Sonrası Atık (TW) miktarlarının karşılaştırılması.....	101
Şekil 5.43	: Senaryo B-IV'ün Kazı Oranlarının (SR) karşılaştırılması	102
Şekil 5.44	: ID yaklaşımına göre yatağın tenör-tonaj dağılımı	107
Şekil 5.45	: Senaryo C'nin farklı optimizasyon faktörleri (σ) ve toplam NPV değerlerinin analizi	110
Şekil 5.46.a	: Senaryo C'nin COG dağılımları	111
Şekil 5.46.b	: Senaryo C'nin Fayda dağılımları	111
Şekil 5.47	: Senaryo C'nin COG'a göre oluşan Atık miktarlarının (W) yıllara göre dağılımları	112

Şekil 4.48	: Senaryo C'nin Ortalama Tenörlerin karşılaştırılması	113
Şekil 5.49	: Senaryo C'nin Cevher Hazırlama Sonrası Atık (TW) miktarlarının karşılaştırılması	114
Şekil 5.50	: Senaryo C'nin Kazı Oranlarının (SR) karşılaştırılması.....	115
Şekil 5.51	: Senaryo D'nin farklı optimizasyon faktörleri (σ) ve toplam NPV değerlerinin analizi	118
Şekil 5.52.a	: Senaryo D'nin COG dağılımları	118
Şekil 5.52.b	: Senaryo D'nin Fayda dağılımları.....	119
Şekil 5.53	: Senaryo D'nin COG'a göre oluşan Atık miktarlarının (W) yıllara göre dağılımları	120
Şekil 5.54	: Senaryo D'nin Ortalama Tenörlerin karşılaştırılması	121
Şekil 5.55	: Senaryo D'nin Cevher Hazırlama Sonrası Atık (TW) miktarlarının karşılaştırılması	122
Şekil 5.56	: Senaryo D'nin Kazı Oranlarının (SR) karşılaştırılması	123

TABLO LİSTESİ

Tablo 3.1: Ruhsatlı Saha Genelini Temsil Eder Kimyasal Analiz Sonuçları	26
Tablo 3.2: Basamak-şev geometrisi parametreleri.....	27
Tablo 3.3: Bakır Bileşikleri Kullanım Alanları	35
Tablo 3.4: Bakır Konsantre Ürün Özellikleri	35
Tablo 3.5: Pirit Konsantre Ürün Özellikleri	36
Tablo 4.1: Algoritmada kullanılan notasyonlar	44
Tablo 5.1: Masif cevherinin en yakın komşu yaklaşımına göre tenör-tonaj dağılımı ...	52
Tablo 5.2: Masif cevherinin uzaklığın tersi yaklaşımına göre tenör-tonaj dağılımı.....	52
Tablo 5.3: NN yaklaşımına göre hesaplamalarda kullanılan ortalama tenör-tonajları ..	56
Tablo 5.4: Maden Dizayn Parametreleri	57
Tablo 5.5: Senaryo A-I'in Geleneksel COG Sonuçları.....	58
Tablo 5.6: Senaryo A-I'in Lane algoritması ile COG politikası.....	59
Tablo 5.7: Optimizasyon faktörü (σ) kullanılarak Senaryo A-I'in COG politikası.....	59
Tablo 5.8: Senaryo A-I'in COG'a göre oluşan Atık miktarlarının (W) sonuçları.....	62
Tablo 5.9: Senaryo A-I'in Ortalama Tenör sonuçları	63
Tablo 5.10: Senaryo A-I'in Cevher Hazırlama Sonrası Atık (TW) Sonuçları	64
Tablo 5.11: Senaryo A-I'in Kazı Oranı sonuçları.....	65
Tablo 5.12: Senaryo A-II'nin Geleneksel COG Sonuçları.....	66
Tablo 5.13: Senaryo A-II'nin Lane Algoritması ile COG politikası	67
Tablo 5.14: Optimizasyon faktörü (σ) kullanılarak Senaryo A-II'nin COG politikası..	67
Tablo 5.15: Senaryo A-II'nin COG'a göre oluşan Atık miktarlarının (W) sonuçları....	69
Tablo 5.16: Senaryo A-II'nin Ortalama Tenör sonuçları	70
Tablo 5.17: Senaryo A-II'nin Cevher Hazırlama Sonrası Atık (TW) Sonuçları.....	71
Tablo 5.18: Senaryo A-II'nin Kazı Oranı (SR) sonuçları	72
Tablo 5.19: Senaryo A-III'ün Geleneksel COG Sonuçları	73
Tablo 5.20: Senaryo A-III'ün Lane Algoritması ile COG politikası	74
Tablo 5.21: Optimizasyon faktörü (σ) kullanılarak Senaryo A-III'ün COG politikası .	74
Tablo 5.22: Senaryo A-III'ün COG'a göre oluşan Atık miktarlarının (W) sonuçları ...	76
Tablo 5.23: Senaryo A-III'ün Ortalama Tenör sonuçları.....	76
Tablo 5.24: Senaryo A-III'ün Cevher Hazırlama Sonrası Atık (TW) Sonuçları.....	77
Tablo 5.25: Senaryo A-III'ün Kazı Oranı (SR) Sonuçları	77
Tablo 5.26: Senaryo A'da farklı bakır fiyatlarına göre elde edilen sonuçlar	79
Tablo 5.27: Senaryo B-I'in Geleneksel COG Sonuçları	81
Tablo 5.28: Senaryo B-I'in Lane Algoritması COG politikası.....	82
Tablo 5.29: Optimizasyon faktörü (σ) kullanılarak Senaryo B-I'in COG politikası	82
Tablo 5.30: Senaryo B-I'in COG'a göre oluşan Atık miktarlarının (W) sonuçları.....	84
Tablo 5.31: Senaryo B-I'in Ortalama Tenör sonuçları	85
Tablo 5.32: Senaryo B-I'in Cevher Hazırlama Sonrası Atık (TW) Sonuçları	86
Tablo 5.33: Senaryo B-I'in Kazı Oranı (SR) Sonuçları	87
Tablo 5.34: Senaryo B-II'nin Geleneksel COG Sonuçları	88

Tablo 5.35: Senaryo B-II'nin Lane Algoritması COG politikası	89
Tablo 5.36: Optimizasyon faktörü (σ) kullanılarak Senaryo B-II'nin COG politikası ..	89
Tablo 5.37: Senaryo B-II'nin COG'a göre oluşan Atık miktarlarının (W) sonuçları	91
Tablo 5.38: Senaryo B-II'nin Ortalama Tenör sonuçları	92
Tablo 5.39: Senaryo B-II'nin Cevher Hazırlama Sonrası Atık (TW) Sonuçları	93
Tablo 5.40: Senaryo B-II'nin Kazı Oranı (SR) Sonuçları	94
Tablo 5.41: Senaryo B-IV'ün Geleneksel COG Sonuçları	96
Tablo 5.42: Senaryo B-IV'ün Lane Algoritması COG politikası	97
Tablo 5.43: Optimizasyon faktörü (σ) kullanılarak Senaryo B-IV'ün COG politikası ..	97
Tablo 5.44: Senaryo B-IV'ün COG'a göre oluşan Atık miktarlarının (W) sonuçları ...	99
Tablo 5.45: Senaryo B-IV'ün Ortalama Tenör sonuçları	100
Tablo 5.46: Senaryo B-IV'ün Cevher Hazırlama Sonrası Atık (TW) Sonuçları	102
Tablo 5.47: Senaryo B-IV'ün Kazı Oranı (SR) Sonuçları	103
Tablo 5.48.a: Senaryo B'nin Geleneksel COG sonuçları	105
Tablo 5.48.b: Senaryo B'nin K. Lane Algoritması'ndaki sonuçları	105
Tablo 5.48.c: Senaryo B'nin İterasyon Algoritması'ndaki sonuçları	106
Tablo 5.49: ID yaklaşımına göre hesaplamada kullanılan ortalama tenör ve tonajları	107
Tablo 5.50: Senaryo C'nin Geleneksel COG Sonuçları	108
Tablo 5.51: Senaryo C'nin Lane algoritması ile COG politikası	109
Tablo 5.52: Optimizasyon faktörü (σ) kullanılarak Senaryo C'nin COG politikası	110
Tablo 5.53: Senaryo C'nin COG'a göre oluşan Atık miktarlarının (W) sonuçları	112
Tablo 5.54: Senaryo C'nin Ortalama Tenör sonuçları	113
Tablo 5.55: Senaryo C'nin Cevher Hazırlama Sonrası Atık (TW) Sonuçları	114
Tablo 5.56: Senaryo C'nin Kazı Oranı (SR) Sonuçları	115
Tablo 5.57: Senaryo D'nin Geleneksel COG Sonuçları	116
Tablo 5.58: Senaryo D'nin Lane Algoritması COG politikası	117
Tablo 5.59: Optimizasyon faktörü (σ) kullanılarak Senaryo D'nin COG politikası ...	117
Tablo 5.60: Senaryo D'nin COG'a göre oluşan Atık miktarlarının (W) sonuçları	120
Tablo 5.61: Senaryo D'nin Ortalama Tenör sonuçları	121
Tablo 5.62: Senaryo D'nin Cevher Hazırlama Sonrası Atık (TW) Sonuçları	122
Tablo 5.63: Senaryo D'nin Kazı Oranı (SR) Sonuçları	123

SEMBOL LİSTESİ

g_{milling}	: i. yılda kullanılan ekonomik sınır tenörü
σ	: optimizasyon faktörü
c	: i. yıldaki öğütme yada cevher hazırlama maliyeti
f_a	: yıllık sabit maliyetler
F_i	: fırsat maliyeti
d	: faiz oranı
P	: satış fiyatı
s	: satış maliyeti
y	: kazanım yüzdesi (%)
C	: i. yıldaki cevher hazırlama kapasitesi
sr	: kazı oranı
T_w	: ekonomik sınır tenörü altındaki atık tonajı
T_c	: ekonomik sınır tenörü üzerindeki cevher tonajı
Q_c	: yıllık toplam cevher hazırlama tesis kapasitesi
Q_m	: yıllık toplam üretilen malzeme miktarı
Q_r	: yıllık toplam rafineri miktarı
r	: reklamasyon maliyeti
P_i	: yıllık fayda
NPV	: net bugünkü değer
m	: üretim maliyeti
TW	: cevher hazırlama sonrası atık miktarı
W	: COG'a göre oluşan atık miktarı

ÖZET

MADENCİLİK PROJELERİNDE EN UYGUN EKONOMİK SINIR TENÖR STRATEJİSİNİN GELİŞTİRİLMESİ

Stratejik Maden Planlaması, farklı senaryoları da içine alan ve bir işletme projesinin ekonomisini belirleyen çok iyi bir maden üretim ve cevher hazırlama yönetimi olarak tanımlanmaktadır. Bu senaryolar içinde maden projesinin ekonomisini etkileyen tüm parametreleri dikkate almak gerekmektedir. Böyle bir planlama süreci; ocak optimizasyonu, kademeli ocak dizaynı, ekonomik sınır tenör optimizasyonu, detaylı üretim programlaması, ekipman seçimi, yatırım ve işletme maliyetlerinin tahmini ve finansal analiz aşamalarından oluşmaktadır.

Klasik değerlendirme yöntemlerinde, yatağın tenör-tonaj dağılımına göre ve literatürde mevcut algoritmalar kullanılarak bir ekonomik sınır tenörü (cut-off grade) stratejisi geliştirilmektedir. Bu çalışmanın amacı ise bir açık işletme projesi için optimum bir ekonomik sınır tenörü stratejisi geliştirmektir.

Bu çalışmada, maden planlaması ve dizayn sürecinin önemli bir aşaması olan ekonomik sınır tenörünün belirlenmesindeki etkili ekonomik parametreler, yatak içerisindeki tenör-tonaj dağılımının etkisi, üretim –cevher hazırlama rafineri kapasite limitleri ve çevresel etkiler gibi parametreler araştırılarak bu parametrelerin ekonomik sınır tenörünün belirlenmesindeki net ilişkileri ortaya konmuştur.

Çalışma kapsamında bir maden projesi için, yatağın tenör-tonaj dağılımının, cevher satış fiyatının ve reklamasyon maliyetlerinin ekonomik sınır tenör ile nakit akışları üzerindeki etkileri incelenmiştir. Çalışma sonunda, ekonomik sınır tenör hesaplamalarında bugüne kadar kullanılan algoritmalarından farklı olarak reklamasyon maliyetinin de olduğu yeni bir algoritma kullanılarak gerçeğe daha yakın bir sonuç elde edilmeye çalışılmıştır. Stratejik maden planlamasının önemli bir parçası olan ekonomik sınır tenör hesaplamaları için geliştirilen bu algoritma ile çevresel faktörleri dikkate alan daha ekonomik bir üretim anlayışının uygulanmasında önemli bir katkı sağlanmıştır.

SUMMARY

DETERMINATION OF OPTIMAL CUTOFF GRADE STRATEGY IN MINING PROJECTS

Strategic Mine Planning including different scenarios can be defined as a very good mine production and mineral processing method that is to determine the economics of a mining project. In these scenarios, taking all the parameters affecting the economics of mining projects into consideration is necessary. Such a planning process is consisted of pit optimizations, staged pit designs, cutoff grade optimizations, detailed production scheduling, equipment selection, capital and operating cost estimates and financial analysis of the stages.

In this thesis, economic parameters affecting the determination cutoff grade that is an important step in mine planning, design process and other parameters such as the influence of grade-tonnage distribution in the deposit, production-processing-ore refinery capacity limits and environmental impacts were investigated. The relationships of these parameters in the determination of cutoff grade were clearly revealed.

Within the scope of this study, the impacts of grade-tonnage distribution of the deposit, ore sales prices and reclamation costs on Net Present Value and cutoff grade were examined for a mining project. At the end of this study, a new algorithm that differs from other algorithms in terms of addition of reclamation cost in the calculation of the cutoff grade was developed in order to obtain results close to the real. A significant contribution was provided in the implementation of more economical production concept which considers environmental factors with this algorithm developed to calculate the cutoff grade that is an important part of the strategic mine planning.

1. GİRİŞ

Özellikle yüksek tenörlü cevherlerin hızla tükenmeye başlaması, düşük tenörlü cevherlerin ve mevcut yatakların nasıl daha ekonomik olarak “değerlendirebilir mi?” sorusunu gündeme getirmektedir. Bu sorunun cevabı arandığında en önemli etkenlerden birinin, optimum ekonomik sınır tenörünün belirlenerek nakit akışların (max Net Present Value) maksimizasyonunun sağlanması olduğu görülmektedir. Ekonomik sınır tenörü, bir cevher kütlesi içinde cevher ve atık kısmı ayırmak için kullanılan tenör olarak tanımlanır. Böylece ocaktaki üretim sırasında doğrudan atık sahasına gönderilen malzeme, ekonomik sınır tenöre göre oluşan atık miktarı ve cevher hazırlama sonrası oluşan atık miktarları şeklinde belirlenebilmektedir. Ayrıca bu tezin kapsamında geliştirilen yeni algoritma yardımı ile reklamasyon maliyetleri dahil edilerek bilinen atık miktarlarına karşı çevresel önlemler alınabilmektedir.

Ekonomik sınır tenörü (cut-off grade, COG) ile ilişkili tipik değişkenler; teknik parametreler ve ekonomik senaryolardır. Maden planlaması ve dizaynı prosesinde ürün fiyatlarının tahmini, üretim ve tesis işletme maliyetlerinin tahmini, genel harcamalar gibi çok sayıda değişken etkilidir. Bu çalışmada, söz konusu bu değişkenlerin yanında, üretim ve tesis kapasitesi, ön kazı miktarı (pre-stripping tonnage), faiz oranı ve reklamasyon maliyeti gibi değişkenlerin etkisinde araştırılmıştır. Stratejik değişkenler olarak tanımlanan bu değişkenlerin ekonomik sınır tenörü üzerindeki etkisi, ürün fiyatları ve diğer bazı teknik faktörlerden daha fazladır. Bu aşama sonucunda elde edilecek önemli ilişkilerin bazıları aşağıda verilmiştir.

- ✓ Farklı üretim kapasitelerine göre ekonomik sınır tenörünün değişimi,
- ✓ Ürün fiyatı-COG değişimi,
- ✓ Farklı reklamasyon maliyeti ve bakır fiyatları ile COG’a göre oluşan atık miktarları,
- ✓ Yıllara göre ortalama tenör dağılımları,

- ✓ Farklı kapasitelerde Net Bugünkü Değer (Net Present Value, NPV) değişimleridir.

NPV'nin maksimizasyonunda etkili olan parametreler içerisinde önemli bir etkiye sahip olan ekonomik sınır tenörü hesaplamaları konusunda temel araştırma Lane (1964, 1988) tarafından yapılmıştır. Lane (1964; 1988) tek bir metal içeren yataklar için bu kapsamlı ekonomik sınır tenörü hesaplaması teorisini geliştirmiştir.

$$g_{\text{milling}} = \frac{c + f + F_i}{(P - s)y}, \quad (1.1)$$

g_{milling} : i. yılda kullanılan ekonomik sınır tenörü

c : i. yıldaki öğütme yada cevher hazırlama maliyeti

f : f_a/C ; f_a yıllık sabit maliyetler, C i. yıldaki cevher hazırlama kapasitesi

F_i : $dxNPV/C$, F_i fırsat maliyeti, d faiz oranı

P : satış fiyatı

s : pazarlama maliyeti

y : kazanım yüzdesi (% , recovery)

Whittle and Wharton buna fırsat maliyetinin kullanılması fikrini eklemiş ve yalancı maliyetler olarak tanımladıkları; geciken maliyetler ve değişen maliyetler kavramını kullanmışlardır (Whittle Wharton 1995a, 1995b). Ancak bu yaklaşımlar birden fazla metal içeren yataklara uygulanamaz. Bunun nedeni, tek metal içeren yataklarda, optimum ekonomik sınır tenörünü 6 nokta (6 farklı ekonomik sınır değeri) belirlerken (Lane, 1988), çok metal içeren yataklarda ise optimum ekonomik sınır tenörü belirleyebilecek sonsuz sayıda nokta söz konusudur ve bu sonsuz noktaların amaç fonksiyonu değerlendirmesi mümkün değildir. Bu tür yataklar, Net Smelter Return (NSR) ile hesaplanan beher ton cevherin değeri temelinde değerlendirilebilir. NSR, ergitme (smelting) maliyeti düşülmüş beher ton cevherden kazanılan metallerin toplam değerini sunmaktadır (Annels, 1991). Bu yaklaşımda, bir metalin tenörünü diğeri üzerinden açıklamak mümkündür (Zhang, 1998; Liimatainen, 1998). Çoklu metal yataklarında cevher ve atığı (waste) ayırmak için kullanılan ve dikkate değer diğer metodlar ise kritik seviye metodu (critical level method) ve dolar değerli ekonomik sınır yaklaşımı (dollar value cutoff approach) olarak sıralanabilir (Annels, 1991; Barid and

Satchwell, 2001). Tüm bu yaklaşımlar bazı dezavantajlara sahiptir. Bu dezavantajlar şöyledir: Bu yaklaşımların hiçbiri yatağın tenör dağılımını dikkate almaz ve paranın zaman değerini hesaba katmaz. Ayrıca, bu yaklaşımlar üretim sisteminin kapasitelerini tamamen ihmal eder. Bu nedenle, bu yöntemlerle hesaplanan ekonomik sınır tenörlerinin optimum olması mümkün değildir.

Bu çalışmada daha önce Nieto ve Başçetin (2006) tarafından geliştirilen optimizasyona dayalı algoritmada yer alan Eşitlik 1.2'ye reklamasyon maliyeti ilave edilerek yeni bir eşitliğe bağlı algoritma geliştirilmiştir (Eşitlik 1.3). Böylece madencilik üretiminde çevresel etkileride dikkate alan bu anlayışın uygulanması hedeflenmiştir.

$$g_u(i) = \frac{c + m + \sigma_t}{(P - s)xy}, \text{ burada } \sigma \text{ optimizasyon faktörü,} \quad (1.2)$$

m : işletme maliyetleri (Nieto ve Başçetin, 2006).

$$g_u(i) = \frac{c + m + r + \sigma_t}{(P - s)xy} \quad (1.3)$$

r : reklamasyon maliyeti

Bir açık ocak için planlama prosesinin amacı; en yüksek net bugünkü değeri veren optimum yıllık programları oluşturmaktır. Gelecekte yapılabilecek uzun zamanlı kararları (belirsizlik-implication) bugün vermek, projenin tüm ekonomisinin tanımlanmasında etkilidir. Günümüzde, Stratejik Maden Planlaması olarak tanımlanan bu süreç, farklı senaryoları da içine alan çok iyi bir maden üretim ve cevher hazırlama yönetimini gerektirmektedir. Bu senaryolar içinde maden projesinin ekonomisini etkileyen tüm parametreleri dikkate almak gerekmektedir. Artan ekonomik rekabet karşısında yatırımcılar herhangi bir maden projesine yatırım yapmadan önce yüksek standartlarda planlama ve analiz yapmaktadırlar. Böyle bir planlama süreci; ocak optimizasyonu (pit optimisations), kademeli ocak dizaynı (staged pit designs), ekonomik sınır tenörünün optimizasyonu (cut-off grade optimisations), detaylı üretim programlaması (detailed production scheduling), ekipman seçimi (equipment selection), kapital ve işletme maliyetlerinin tahmini (capital and operating cost estimates) ve finansal analiz (financial analysis) ve üretim sonrası yapılacak olan çevre düzenlemesi

(reclamation cost) yani ÇED aşamalarından oluşmaktadır. Bu çalışma, maden planlaması ve dizayn sürecinin önemli bir aşaması olan ekonomik sınır tenörünün belirlenmesinde etkili olan ekonomik parametreler, yatak içerisindeki tenör-tonaj dağılımının etkisi ve üretim –cevher hazırlama-rafineri kapasite limitleri gibi parametreler araştırılmış ve bu parametrelerin ekonomik sınır tenörünün belirlenmesindeki net ilişkileri ortaya konmuştur. Çalışmanın diğer bir amacı ise Başçetin ve Nieto (2007) tarafından geliştirilen ancak hipotetik olarak gerçekleştirilen algoritmanın bir bakır işletmesinde gerçek verilerle test edilerek doğruluğunu araştırmaktır.

Cevher üretiminin planlanması ve jeolojik modelleme çalışmaları için bilgisayarlar uzun zamandır kullanılmasına karşılık, son yıllardaki bilgisayar teknolojisi ve yazılım alanlarındaki gelişmelere bağlı olarak büyük ilerlemeler sağlanmış ve çok yönlü madencilik paket programları (Surpac, Datamine, Mintec, Vulcan, vd.) geliştirilmiştir. Bu çalışmada, bir madencilik paket programı olan SURPAC 6.1 ile bir bakır yatağı modellenmesi yapılmış ve farklı tahmin yöntemleri ile tenör-tonaj dağılımı belirlenerek en uygun ekonomik sınır tenör hesaplanmış ve istenilen kaliteye uygun üretimin sağlanabilmesi için gerekli veriler türetilmiştir.

Çalışma kapsamında, öncelikle ele alınan ve incelenen bir metal madeni için sahaya ait sondaj, jeolojik, harita vb. veriler kullanılarak bir veritabanı ile topografya ve maden yatağının jeolojik modeli yapılmış, daha sonra maden yatağına ait model üzerinde blok model (gridleme yöntemi ile) oluşturulmuştur. Bu model kullanılarak yatağın tenör-tonaj dağılımı belirlenmiş, model üzerinde bir maden dizaynına gitmeden önce yukarıda kısaca ifade edilen ekonomik sınır tenöründe içinde bulunduğu birbirine bağlı ilişkiler araştırılmıştır.

Tez kapsamında, literatürde en çok kullanılan Geleneksel COG politikası ve Lane algoritması ile geliştirilen algoritma arasında kıyaslamalar yapılmıştır. Buradan çıkan veriler ışığında en yüksek NPV değerini elde etmeye yönelik optimum ekonomik sınır tenör (COG) politikasında önemli bir gelişme sağlanmıştır. Ayrıca farklı reklamasyon maliyetleri ve bakır fiyatları uygulayarak stratejik maden planlaması açısından önemli veriler elde edilmiştir. Farklı parametrelerde oluşan atık miktarları, işletme sonrası

oluşacak çevresel sorunlar ve bu sorunların çözümü için yapılacak olan reklamasyon hakkında bir maden projesi kapsamında maden mühendislerine ışık tutmaktadır. Yapılan gerçek saha çalışma sonuçları bunu açıkça göstermektedir.

2. GENEL KISIMLAR

Üretim planlaması, nihai ocak sınırları içinde, ocağın başlangıç durumundan önceden belirlenmiş bir aşamaya kadar, pasa ve cevherin çıkartılması için yapılan bir zamanlama düzenidir. Ayrıca, kazılacak malzemenin, zamanın, cevher geometrisinin ve alınabilir kaynakların nicelik ve nitelikleri arasında ilişki oluşturur. Dolayısıyla bütün bu parametrelerin değerlendirilebilmesi ve daha verimli üretim yapılabilmesi için maden yatağının modellenmesinde fayda görülmektedir.

2.1. MADEN YATAĞI MODELLEME VE REZERV HESAPLAMA YÖNTEMLERİ

Maden yataklarının modellenmesinde kullanılan başlıca interpolasyon yöntemleri üç ana başlığa ayırabiliriz. Bunlar;

- ✓ Geometrik yöntemler,
- ✓ Mesafeyle ters ağırlıklı yöntemler,
- ✓ Jeostatistik yöntemler.

Geometrik interpolasyon yönteminden en yaygın olanı poligon metodudur. Bu metotta poligonlar bilgisayar yardımıyla çizdirilir. Poligonların sınırladığı bloklara poligonun içinde kaldığı sondaj değeri veya bloğun merkezine en yakın sondaj değeri atanır. Her iki durumda da poligon boyutları, sondajlar arası mesafe ve sondaj etki alanına bağlıdır. Üçgen yöntemi de, sondajlardan poligonlar yerine üçgenler meydana getirilmesi ve bu üçgenlere köşelerindeki kalınlık değerlerinin atanması sonucu elde edilen üçgen prizmalar ile tanımlanır. Geometrik yöntemler kullanılarak elde edilen hacim değerleri ile cevher yoğunluğu çarpılarak rezerv elde edilir.

Mesafeyle ters ağırlıklı yöntem ise sondajların birbirleri ile olan ilişkilerini, aralarındaki mesafeyle tanımlayan bir fonksiyon olarak verilmektedir. Buna göre oluşturulan

bloklara değer atanabilmesi için o nokta etrafındaki sondajların ortalama etki ağırlıklarının belirlenmesi gerekir. Bu yöntem geometrik yöntemlerden daha iyi sonuç vermektedir.

Jeostatistiksel yöntemlerde ise ilk olarak sondaj değerlerinin istatistiksel incelemesi yapılır. Daha sonra maden yatağının iki veya üç boyutlu variogram analizleri yapılarak sondajların birbirleri ile olan ilişkileri incelenerek yatağın değerlendirilmesinde temel alınan değişkenlerin mesafeye bağlı değişimi matematiksel olarak modellenir. Bu incelemeden sonra saha düzenli bloklara ayrılmakta ve elde edilen variogram parametreleri kullanılarak bu bloklara değer ataması yapılmaktadır. Bloklara değer atanmasında kriging, n'inci dereceden uzaklığın tersi, en yakın komşu, direk atama ve stringlerden atama teknikleri en çok kullanılan tekniklerdir. Böylece sahadaki her bloğun içerdii rezerv, tenör veya bir diğer parametre elde edilmektedir (Rendu ve Marhieson, 1990).

2.1.1. Kriging Prediksiyon (Ön Kestirim) Yöntemi

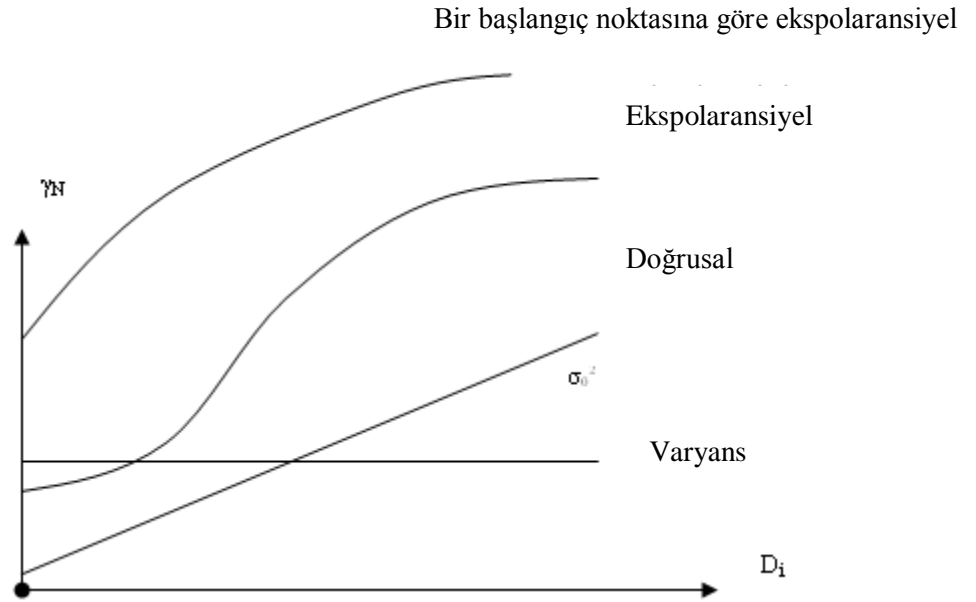
Kriging prediksiyonu, projeksiyonu yapılacak noktanın $N(X,Y)$ değişken değerini bir grup dayanak noktasının doğrusal bir kombinasyonu olarak hesaplayan istatistiksel yüzey modellemesi yöntemidir. Yöntem; Güney Afrikalı bir maden mühendisi *D. G. Krige* tarafından geliştirilmiş olduğundan, kendisine atfen yönteme kriging denilmiş, özellikle günümüzde madencilikte cevher yüzeyi modellemesinde ve jeolojide yer altı katmanlarının modellemesinde yaygın bir kullanım alanına sahip olmuştur. Yöntemin tüm uygulamalarında, hata varyansını hesaplayan $\sum P_i \gamma = 1$ ölçütünü kullanarak en az hata ile enterpolasyon için en iyi doğrusal denklem sisteminin oluşturulması sağlanır. Hata varyansındaki (γ) değeri ise semivariogram adı verilen doğrusal ya da doğrusal olmayan grafikler üzerinden alınan semivaryans değeridir. Yöntemin temelini kuşkusuz bu grafiğin modellenmesi ve semivaryans değerinin hesaplanması oluşturmaktadır. Kriging yönteminin uygulanış şekillerine göre ise üç farklı modeli vardır. Bunlar:

- ✓ Noktasal (punctual) kriging,
- ✓ Genişletilmiş (universal) kriging,
- ✓ Prediksiyon elipsi parametreleriyle hesaplanan noktasal kriging.

Kriging uygulamalarında kullanılan grafikler; aralarındaki uzaklığı bilinen iki $N(X,Y)$ değişken arasında, bu uzaklık eşit veya değişik uzunluktaki parçalara bölünerek, her parçaya göre jeoit yüksekliklerin değişimlerinin nasıl olduğunu ifade etmektedir. Böylece yüzey modellemesi yapılacak bölgede jeoit yüksekliklerinin ara uzaklıklar “i konumunda alınmış yerleştirilmiş bir ölçü, D_i ” lere göre nasıl değiştiğini ifade eden çeşitli tipte semiveriogramlar hazırlanır (Şekil 2.1). Bu grafikten yararlanarak GPS-Nívelman kombinasyonu ile elde edilen dayanak noktaları ve jeoit yüksekliği hesaplanacak nokta arasındaki değişik uzaklıkların semivaryansları, dolayısıyla yapay ağırlık değerleri belirlenir. Grafiklerin hazırlanmasında ;

$$\gamma_N = \frac{1}{2} \left\{ \sum_{i=1}^{n-k} (D_i - D_{i+k})^2 \right\} \quad (2.1.)$$

genel eşitliği kullanılır. Burada “ D_i ” i konumunda alınmış yerleştirilmiş bir ölçü ve “ D_{i+k} ” k aralığında alınmış diğer bir ölçüyü (bu uygulamada yatay mesafeyi) ifade etmektedir (Akçın, 2002).



Şekil 2.1: Bilinen değişik türlerde semiveriogramlar

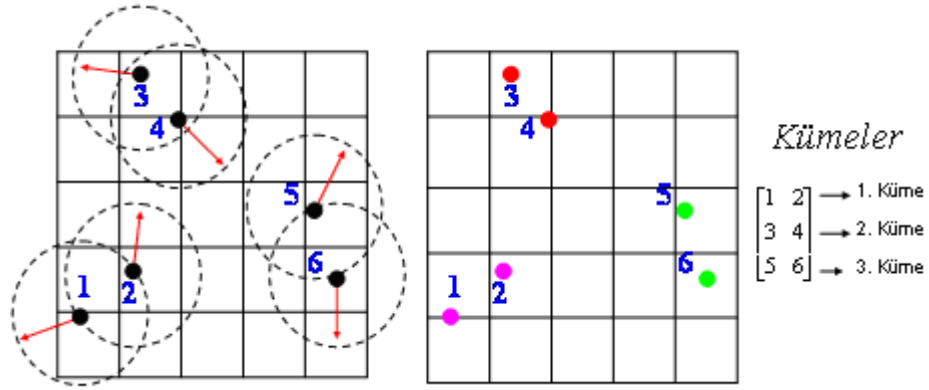
Uygulamalarda, yerel modelleme alanındaki aynı doğrultudaki dayanak noktaları arasındaki uzaklıkların değişik varyasyonlardaki incelemeleri ile semivaryanslar elde

edilerek ve bu değerler grafik üzerine işlenerek oluşan grafik, bilinen formlara (küresel, ekspolaransiyel, harmonik veya polinom gibi) genellenir (Akçın, 2002).

2.1.2. En Yakın Komşu Analizi (Nearest Neighbour)

Herhangi bir yerleşimde veya yerleştirmede düzenleme için kullanılan bir yaklaşımdır. Bunlar rastgele veya düzenli olarak kümelenmiş olarak uyumlu ya da uyumsuz dağılımlar gösteren noktasal değerlerin ölçülebilmesini sağlar. En yakın komşu yaklaşımındaki temel işlemler şunlardır;

- ✓ Her nokta kendisi ile en yakın kümeye yerleştirilmelidir (Şekil 2.2).
- ✓ Eşik değeri, yeni bir komşuyu veya yeni bir kümeyi belirler.
- ✓ Tüm noktalar herhangi bir kümeye yerleştirilinceye kadar işlemlere devam edilir.



Şekil 2.2: Her noktanın kendisi ile en yakın kümeye yerleştirilmesi

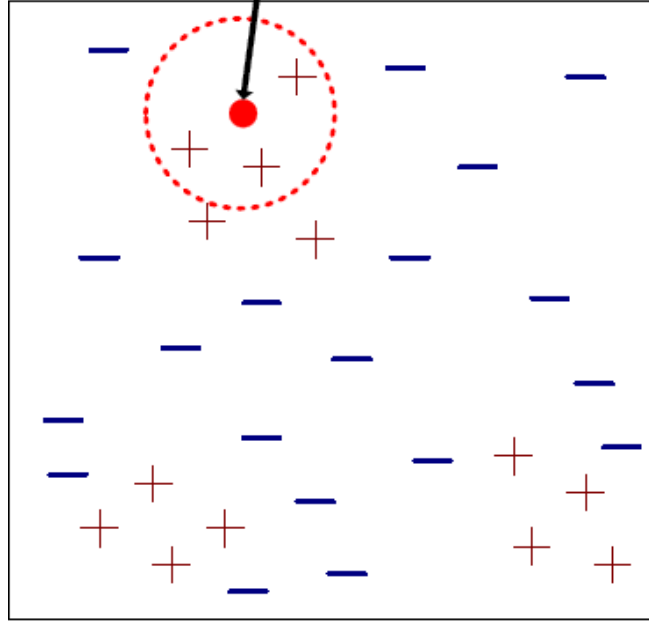
Bilinmeyen bir kaydı sınıflandırmak için (Şekil 2.3):

1. Diğer eğitim kayıtlarına uzaklığının hesaplanması,
 - İki nokta arasındaki mesafenin öklidyen uzaklık formülü(2.2):

$$d(p, q) = \sqrt{\sum_i^n (p_i - q_i)^2} \quad (2.2)$$

2. k tane en yakın komşunun belirlenmesi,
3. Bilinmeyen kaydın sınıfını belirlemek için en yakın komşuların sınıf etiketlerinin kullanılmasıdır (J.D. Kelly ve L. Davis, 1991).

Bilinmeyen kayıt



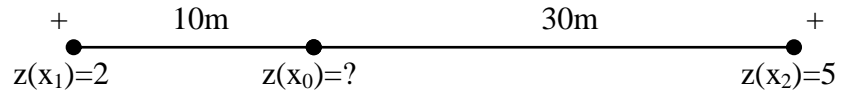
Şekil 2.3: Bilinmeyen bir kaydı sınıflandırmak

2.1.3. Uzaklığın Tersini Olarak Ağırlıklandırma Yöntemi ile Yapılan Kestirim

Kestirimde kullanılacak verilere kestirim noktalarına olan uzaklıklarının tersi ile orantılı ağırlıklar verilir:

$$\lambda_i = (1/d_i) / \left[\sum_{i=1}^n 1/d_i \right] \quad (2.3)$$

Bu yaklaşımı bir örnek ile açıklamak anlaşılmasını kolaylaştıracaktır. Buna göre eşitlik 2.3'te d_i ; kestirilecek nokta ile x_i noktası arasındaki uzaklıktır. Dolayısıyla;



Şekil 2.4: İki noktadan değeri bilinmeyen bir noktanın kestirimi

$$\lambda_1 = (1/10) / [(1/0) + (1/30)] = 0.75$$

$$\lambda_2 = (1/30) / [(1/0) + (1/30)] = 0.25$$

ve kestirim değeri $z^*(x_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(X_i) = 0.75 \times 2 + 0.25 \times 5 = 2.75$ 'dir.

Kestirim varyansı ise;

$$\sigma_K^2 = 2 \sum_{i=1}^n \lambda_{iy} (X_o - X_i) - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \lambda_i \lambda_{jy} (X_i - X_j) \quad (2.4)$$

$$= 2 \times (0.75 \times 13.76 + 0.25 \times 20) - (0.75 \times 0.75 \times 0 + 0.75 \times 0.25 \times 20 + 0.25 \times 0.75 \times 20 + 0.25 \times 0.25 \times 0) = 23.16 \text{ 'dır (Tercan, 2007).}$$

2.2. EKONOMİK SINIR TENÖRÜ OPTİMİZASYONU

2.2.1. Temel Kavramlar

Ekonomik sınır tenörü (Cutoff Grade – COG) bir cevher kütlesi içinde cevher ve atık (waste) kısmı ayırmak için kullanılan tenör olarak tanımlanır. Ekonomik sınır tenörü tanımlaması oldukça açık ve kesin olmasına rağmen, bir yatağın değerlendirilmesinde kullanılacak olan ekonomik sınır tenörü politikasının seçimi için aynı kesinlik sözü konusu değildir. Üretim sırasında, basit olarak hesaplanmış geleneksel ekonomik sınır tenörlerinin kullanılması, yatağın değerlendirilmesinde çoğunlukla optimum olmayan sonuçlara yol açacaktır. Optimum ekonomik sınır tenörünün belirlenmesinde kullanılan çeşitli parametreler vardır. Bunlar kritik seviye metodu (critical level method), dolar değerli cutoff yaklaşımı (dollar value cutoff approach), ergitme (smelting) maliyeti düşülmüş beher ton cevherden kazanılan metallerin toplam değeri (Net Smelter Return - NSR) ile Net Bugünkü Değer (NPV) şeklinde sıralanabilir. Bu göstergeler içinde yaygın olarak Net Bugünkü Değer (NPV) kullanılmaktadır. Net bugünkü değeri maksimize eden böyle bir yöntem ile yatağın değerlendirilmesi madenin ömrünün sonunda maden firmasının amaçlarını tatmin eden bir sonuç verecektir. Bir üretim ile sağlanan net bugünkü değer, birbiri ile ilişkili çok sayıda değişkene bağlıdır. Bu değişkenlere, üretim ve cevher hazırlama kapasiteleri, kazı sırası ve ekonomik sınır tenörleri örnek olarak verilebilir. Bu birbirine bağlı değişkenler, bir projenin Net Bugünkü Değer(NPV)'inin tanımlanmasında kompleks bir şekilde birbirini etkilemektedir. Kazı sırası; üretim oranlarına, yatağın tenör dağılımı ve ekonomik sınır tenörlerine bağlıdır. Ekonomik sınır tenörleri, kazı sırası ve üretim sisteminin kapasiteleri bilinmeksizin

belirlenemeyebilir. Kapasitelerin belirlenmesi, doğrudan ekonomik sınır tenörleri ve kazı sırası ile ilişkilidir. Maden planlaması, projenin yaşamı süresince bu değişkenlerin değerlerinin tanımlanması prosesidir. Maden planlamasının en büyük zorluğu, planlanmış kazı sırası, ekonomik sınır tenörleri ve yatağın tenör dağılımı ile mükemmel bir uyum içinde olan üretim sisteminin kapasitelerinin tanımlanmasıdır. Verilen bir kapasite değerler kümesi, üretim sisteminin bu kapasiteleri ile ilişkili ekonomik maliyetler, ocağın kazı sırası ve fiyatlar için projenin net bugünkü değerini maksimize eden tek bir ekonomik sınır tenör politikası vardır.

Açık ocak madenciliğinde geleneksel ekonomik sınır tenör, bir malzeme bloğunun üretilip üretilmeyeceğinin belirlenmesi için kullanılır. Diğer bir tanımlamada ise, söz konusu bloğun cevher hazırlama tesisine mi yoksa atık barajına mı alınacağıının belirlenmesidir (Dağdelen, 1992).

2.2.2. COG Hesaplamasında Kullanılan Teknikler

Birinci ekonomik sınır tenörü genellikle nihai ocak ekonomik sınır tenörü olarak tespit edilir ve üretim, cevher hazırlama maliyetlerini; kazanılan metal ve satış fiyatı açısından bloğun değerine eşitleyen geleneksel COG olarak tanımlanır.

$$\text{Geleneksel COG} = \frac{\text{Proses Maliyeti} + \text{Üretim Maliyeti}}{(\text{Fiyat} - \text{Satış Maliyeti}) \times \text{Geri Kazanım}} \quad (2.5)$$

İkinci ekonomik sınır tenörü cevher hazırlama ekonomik sınır tenörü olarak ifade edilir ve cevher hazırlama maliyetlerini; kazanılan metal ve satış fiyatı açısından bloğun değerine eşitleyen geleneksel COG olarak tanımlanır.

$$\text{Proses Maliyeti} = \frac{\text{Proses Maliyeti}}{(\text{Fiyat} - \text{Satış Maliyeti}) \times \text{Geri Kazanım}} \quad (2.6)$$

Cevher hazırlama ekonomik sınır tenörü hesaplamalarında üretim maliyetleri (mining cost) dahil edilmemiştir. Bunun nedeni, bu ekonomik sınır tenörünün; daha yüksek tenörlü cevher blokları elde etmek ve üretim maliyeti cevher hazırlama ilgili etkileri dikkate almaksızın oluşacağı için; üretim için daha önceden seçilen (birinci ekonomik

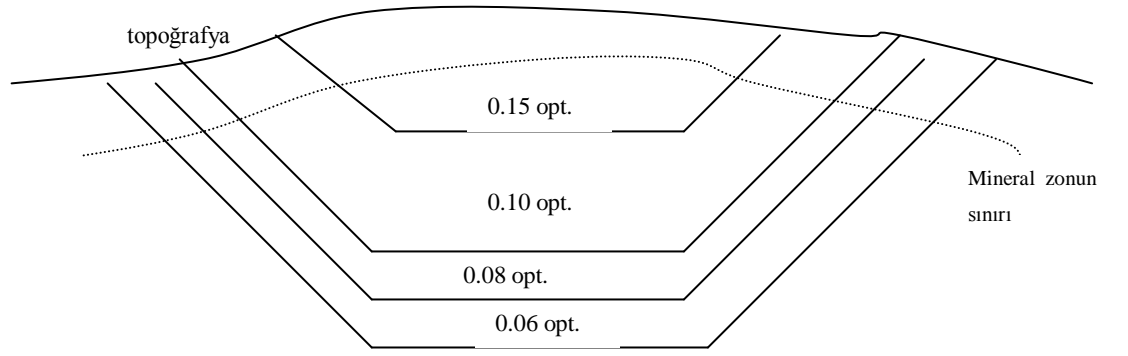
sınır tenörü ile) bloklara uygulanmasıdır. Yukarıdaki ekonomik sınır tenörü formüllerinde amortisman maliyetleri, genel ve yönetim maliyetleri (G&A) ve fırsat maliyetleri (opportunity cost) dahil edilmemiştir. Geleneksel ekonomik sınır tenörlerinde temel kabul, G&A olarak tanımlanan maliyetler dahil tüm bu maliyetlerin; tenörü, tesis edilen ekonomik sınır tenörlerinden daha yüksek olan malzeme ile ödenecek olmasıdır. Birinci ekonomik sınır tenörü, elde edilen metal ile ilişkili bütün maliyetler kazanılmadıkça hiçbir malzemenin üretilmemesini garanti etmek için kullanılır. Bu garanti, otomatik olarak Lerchs-Grossman ve Hareketli Koni gibi algoritmalarla belirlenen nihai ocak sınırını içinde yapılıır. İkinci ekonomik sınır tenörü, doğrudan cevher hazırlama, rafineri ve pazarlama maliyetlerinin ötesinde, öğütülecek her malzemeyi temin etmek için kullanılır (Dağdelen, 1992). Yukarıda tartışılan bu geleneksel ekonomik sınır tenörlerinin karakteristik özellikleri şöyle sıralanabilir:

1. Bu ekonomik sınır tenörler, verilen bir projeden indirgenmemiş (undiscounted profits) faydaların maksimizasyonunu sağlamak için tesis edilir.
2. Bu tenörler, madenin ömrü boyunca, ticari fiyat ve maliyetler değişmedikçe sabittir.
3. Bu tenörler, yatağın tenör dağılımını dikkate almaz (Dağdelen, 1992).

2.2.3. Heuristic Ekonomik Sınır Tenör Optimizasyon Teknikleri

Yatağın karakteristiklerini düşünmeksizin statik ekonomik sınır tenörlerinden büyük tenörlerle malzeme bloklarını işlemek sadece indirgenmemiş faydaları maksimize edecektir. Amaç net bugünkü değerin maksimizasyonu olduğunda, net bugünkü değere karşılık gelen indirgenmiş faydaların maksimizasyonu için iki durum söz konusudur. Üretim sisteminin kapasite kısıtlamaları olmadan optimizasyon için paranın zaman değerini dikkate almayarak faydaların maksimizasyonu ve kısıtlı bir NPV optimizasyonu düşünüldüğünde, daima optimal olmayan bir NPV değeri elde edilecektir. Geleneksel ekonomik sınır tenörleri ile planlanmış projeler maksimum NPV değeri ile sonuçlanmaları çok zordur. Bugüne kadar, söz konusu bir projenin NPV değerini geliştirmek için geleneksel ekonomik sınır tenörü politikalarını modifiye edecek çok sayıda yaklaşım önerilmiştir (Dağdelen, 1992).

Kapital yatırımların daha hızlı bir şekilde geri kazanılması için bir operasyonun ilk yıllarında geleneksel COG'den daha yüksek ekonomik sınır tenörlerinin kullanılması ve üretimin sonraki aşamalarında geleneksel COG'nin kullanılması heuristic NPV optimizasyonu için endüstride denenmiştir. Bu yaklaşımda, ilk yıllarda biraz daha yüksek ekonomik sınır tenörü elde etmek için beher ton minimum fayda, sabit maliyetler ve amaortismanların dahil edilebilmesi için; geleneksel ekonomik sınır tenörü hesaplaması modifiye edilmiştir. İlk periyodun sonunda, tesis borcunu tamamıyla ödeyene kadar, daha düşük ekonomik sınır tenörlerini sağlamak için minimum fayda gereksinimi eşitlikten kaldırılır. Bu noktada, amortisman ücretleri de düşülür ve işletme geleneksel cevher hazırlama ekonomik sınır tenörü ile işler. Bu kavram şekilsel olarak Şekil 2.5'te verilmiştir (Dağdelen, 1992).



Şekil 2.5: Çeşitli ekonomik sınır tenörleri için ocağın ideal kesitleri

Yukarıda tanımlanan bu yaklaşımın matematiksel olarak ifadesi de aşağıda verilmiştir:

İlk yıllarda uygulanacak cevher hazırlama ekonomik sınır tenörü;

$$g_{\text{proses}} = \frac{\text{Proses Maliyeti} + \text{Amortisman} + \text{Minimum Fayda}}{(\text{Fiyat} - \text{Satış Maliyeti}) \times \text{Geri Kazanım}} \quad (2.7)$$

İlk periyodun tamamlanmasından sonra;

$$g_{\text{proses}} = \frac{\text{Proses Maliyeti} + \text{Amortisman}}{(\text{Fiyat} - \text{Satış Maliyeti}) \times \text{Geri Kazanım}} \quad (2.8)$$

Son dönemlerde ise;

$$g_{\text{proses}} = \frac{\text{Proses Maliyeti}}{(\text{Fiyat} - \text{Satış Maliyeti}) \times \text{Geri Kazanım}} \quad (2.9)$$

Bu hesaplamalarda, G&A maliyetleri, ekonomik sınır tenörü ve fayda hesaplamalarında dahil edilmemiştir. Toplam fayda ve NPV sonuçlarında ve ekonomik sınır tenörü politikası üzerinde sabit maliyetlerin etkisi aşağıdaki gibi hesaplanabilir:

İlk yıllarda;

$$g_{\text{proses}} = \frac{\text{Proses Maliyeti} + \text{Amortisman} + \text{Minimum Fayda} + \text{Sabit Maliyet}}{(\text{Fiyat} - \text{Satış Maliyeti}) \times \text{Geri Kazanım}} \quad (2.10)$$

İlk periyodun tamamlanmasından sonra;

$$g_{\text{proses}} = \frac{\text{Proses Maliyeti} + \text{Amortisman} + \text{Sabit Maliyet}}{(\text{Fiyat} - \text{Satış Maliyeti}) \times \text{Geri Kazanım}} \quad (2.11)$$

Son dönemlerde ise;

$$g_{\text{proses}} = \frac{\text{Proses Maliyeti} + \text{Sabit Maliyet}}{(\text{Fiyat} - \text{Satış Maliyeti}) \times \text{Geri Kazanım}} \quad (2.12)$$

Amortisman, minimum fayda ve G&A maliyetleri ile hesaplanan azalan ekonomik sınır tenörleri politikası, yatağın NPV değerini geliştirirken buna karşılık indirgenmemiş faydalarda azalma sağlamaktadır (Başçetin ve Nieto, 2007).

2.3. MADEN İŞLETMESİNİN ÇEVRE İLE UYUM PLANI

Madencilikle ilgili genel çevre sorunları, doğrudan ve dolaylı olarak işletmelerin her gün karşılaştığı sorunlardır. Çevre sorunları daha başlangıçta işletmenin etkilediği orman ve tarım alanlarının istismak zorunluluğu ile karşımıza çıkmaktadır. Başlangıçta

işletme için gerekli yapıların inşa edildiği alanlar, işletme aşamasında ise pasa döküm alanları ile atık barajlarının oluşturulduğu alanların istismali işletmeye maliyet getirici unsurlardır.

Açık işletmelerde işletme alanı ile hafriyat malzemesinin döküm alanları doğrudan çevreyi etkilemekte ve işletmelere maliyet açısından büyük yük getirmektedir. Diğer yandan işletme alanının tarım ve orman için tekrar kazanılmasının maliyeti, toprak kaldırma maliyetinin %70-90'ı düzeyindedir. Ancak bu oran işletmenin bulunduğu konumdaki özelliklere göre farklılıklar gösterebilmektedir. Bu yüzden açık ocak planlaması işletme sırasında uygun şekilde projelendirilebilir. Açık işletmede oluşturulacak olan şev açıları, genel şev açıları ve basamak yükseklikleri ile basamak genişliği gibi açık işletme parametreleri sahada üretim sonrası terk işlemi esnasında arazide yapılacak rehabilitasyon, rekreasyon ve rekültivasyon sırasında kolaylıklar sağlayacaktır. Ayrıca, orman idaresinden irtifak ile alınan sahaların çalışmaların bitimi neticesinde ilgili orman idaresine iadesi sırasında verimli bitki toprağı serilmiş halde teslim edilirken uygun seçilen ocak parametreleri maliyetleri oldukça düşürecektir (ETİ Bakır-Cengiz İnş., 2007).

Yeraltı madenciliğinde ise en önemli çevre sorunları, tasman hasarları olarak bilinmekte olan yüzey çöküntüleridir. Bu yüzden yeraltında açılan galeri ve üretim boşlukları gibi alanlar üretim faaliyetleri sırasında ramble adı verdiğimiz dolgulu yöntemle çalışılmaktadır. Bu uygulama ile yeraltında üretim sonrası terk edilen boşlukların çökerek arıdanmalı biçimde yüzey topografyasında oluşacak olan çöküntülerin önlenmesi amaçlanmıştır (ETİ Bakır-Cengiz İnş., 2007).

3. MALZEME

3.1. ÇALIŞMA SAHASI İLE İLGİLİ BİLGİLER

Bu tez ETİ BAKIR-Cengiz İnşaat Küre Bakır İşletmelerinde Kastamonu İli, Küre ilçesi civarında bulunan masif-sülfür cevher yataklarını (kompleks bakır + pirit + kobalt içerikteki) içeren sahada hazırlanmıştır (Şekil 3.1).

Küre adının Osmanlıca Kürre'i Nuhas (Bakır ocağı) isminin kısaltılmasından geldiği sanılmaktadır. Küredeki madencilik faaliyetlerinin eski Yunan ve Roma medeniyetlerine kadar uzandığı tahmin edilmektedir. 1453 yılında İstanbul'un fethinde kullanılan toprakların yapımı için gerekli bakırın Küre'den temin edildiği bilinmektedir. Eski dönemlerden kalma 1,5-2 milyon ton civarındaki bakır cürufunun varlığı bunu göstermektedir.

Daha sonra Bizans ve Cenevizliler tarafından da işletilen maden daha sonrasında Osmanlılar tarafından 1659-1845 yılları arasında aralıklarla çalıştırılmıştır. Madencilik faaliyetleri 1845 - 1895 yılları arasında Rum'lar tarafından, 1895 - 1925 döneminde ise çeşitli yabancı şirketler tarafından yürütülmüştür. Cumhuriyet'in kurulmasından 1963 yılına kadar çalışmalar Maden Tetkik Arama Enstitüsü'nce yürütülmüştür. 1963 - 1968 yılları arasında Etibank tarafından jeolojik - jeofizik ve sondajlı aramalar yapılmış ve yeni rezervler tespit edilmiştir.

1968 Kasım'ın da Etibank'tan Karadeniz Bakır İşletmesi A.Ş.'ne devredilmiştir. 1972 yılına kadar proje ve işletme hazırlıkları tamamlanmış ve aynı yıl Karadeniz Bakır İşletmeleri (K.B.İ.) A.Ş. tarafından üretime başlanmıştır. Maden sahasında faaliyetler Haziran 1991 tarihine kadar K.B.İ. A.Ş. tarafından yürütülmüş bu tarihte maden sahası yeniden Etibank'a devredilmiştir. Şu an Cengiz İnşaat tarafından sahada üretim, yatırım ve arama faaliyetleri halen devam etmektedir (ETİ Bakır-Cengiz İnş., 2007).

ve ocak girişi ise ilçeye 1 km mesafededir. Hem yer altı ve hem de açık ocaklar ve ilgili tesisler şirketin kendi imkanları ile açtığı karayolu ulaşım ağı ile ile ve dolayısı ile devlet karayoluna bağlanmaktadır. şirketin açtığı bağlantı yolları kısmen stabilize kısmen betonarmedir. Karayolu bağlantısında hiçbir sorun mevcut değildir. Açık ocaklardan ve yer altı ocaklarından istihsal edilen kompleks tüvenan cevher ruhsat sahası içinde kurulu bulunan konsantre tesislerine bant ve kamyonlar vasıtası ile taşınmaktadır. Konsantre tesislerinde elde edilen bakır ve pirit konsantreleri kamyonlar ile İnebolu limanındaki yükleme tesisine taşınmaktadır. Bakır konsantreleri Samsun'da kurulu bulunan bakır izabe tesislerine gemi ile sevk edilmektedir. Pirit konsantreleri ise gemiler ile Bandırma limanına sevk edilmektedir. Ruhsatlı saha içindeki Karacakaya mevkiinde TEDAş'a ait 20 MW gücünde trafo bulunmaktadır. Konsantratör tesisi, ocaklar, atölyeler, sosyal tesisler ve yönetim birimlerinde kullanılacak olan enerji ihtiyacı bu trafo üzerinden sağlanmaktadır. İşletmede enerji problemi bulunmamaktadır. 2006 yılı bütçesinde 60.930.000 KWh elektrik tüketimi öngörülmüştür. İşletmenin ve sosyal tesislerin içme ve kullanma suyu ihtiyacı 6 km mesafede bulunan Karaman yaylasından sağlanmaktadır. Konsantratör tesisinde kullanılacak olan proses suyu ihtiyacı ise şirkete ait olan Dzdere, atakderesi ve İkizciler aylarında kurulu bulunan pompa ve reglatrlerden karşılanmaktadır. Proses suyu ihtiyacı kurak yaz aylarında yeterli gelmediğinden dolayı atakderesin de şirket tarafından 1992 yılında kurulmuş bulunan 500.000 m³ kapasiteli baraj göleti ile tutulan su rezervi sayesinde giderilmiş bulunmaktadır. İşletmenin şu an itibarı ile su problemi bulunmamaktadır (ETİ Bakır-Cengiz İnş., 2007).

Bölge, coğrafik bakımdan Batı Karadeniz bölgesinin tipik iklim, bitki ve yüzey yapısını yansıtır. Yüksek dağlarla çevrili olan bölge deniz ikliminin ve kara ikliminin geçiş özelliklerine sahiptir. Sahil şeridi yüksek dağlarla çevrili kıyı şeridinin arkasında kalan i kesimlere göre daha sıcak ve yağışlıdır. Denizler üzerinden geçen yüksek yoğunluklu su buharı taşıyan hava kütleleri barındırdıkları nemi dağ etekleri boyunca yükselmeleri esnasında dağlara çarpması sırasında yoğunlaştırarak yağış şeklinde, kıyı şeridine bırakmaktadır. Buna bağlı olarak aniden yükselen dağların oldukça yoğun olarak sıralandığı kıyı şeridinin bol yağış aldığı görülür. Kastamonu ve civarı nem miktarı, denizlerden karalara doğru gelen hava kütleleri ve bitki örtüsü nedeni ile yüksektir. Bölge rüzgar bakımından incelendiğinde hakim rüzgar yönünün GB olduğu görülür.

Yörede kışlar soğuk yazlar ılık geçer, iç kesimlerde iklim daha sertleşir. Yağış kıyı kesimlerde bol, iç kesimlerde azdır. Kış mevsiminde toprak 2 ay karla örtülü kalmaktadır. Bölgede en sıcak ay Temmuz-Ağustos ve en soğuk ay Ocak ayıdır. Yağışlı gün sayısı 120-130 gün olup en yağışlı ay Mayıs'tır. Kısa mesafelerde büyük kot farklılıklarının bulunması ve % 60'ı iğne yapraklılardan oluşan yoğun bitki örtüsü nedeni ile ani iklim değişiklikleri görülür. Sis özellikle Nisan, Mayıs, Ekim, Kasım aylarında yoğun olmakla birlikte, yılın her mevsiminde görülmektedir. Yağışlar bütün bir yıla dağılmış olup, Kasım - Nisan ayları arasında kar şeklindedir ve kar kalınlığı bazen 1-2 metreyi bulmaktadır. Kasım ile Nisan ayları arası soğuk kabul edilir. Kastamonu il sınırları içerisinde toplam sekiz adet meteoroloji istasyonu bulunmaktadır. Kastamonu ve İnebolu'da sin optik istasyon, Cide, Tosya, Devrekani ve Bozkurt ilçelerinde büyük klima istasyonu, Araç ve Çatalzeytin ilçelerinde ise küçük klima istasyonu bulunmaktadır (ETİ Bakır-Cengiz İnş., 2007).

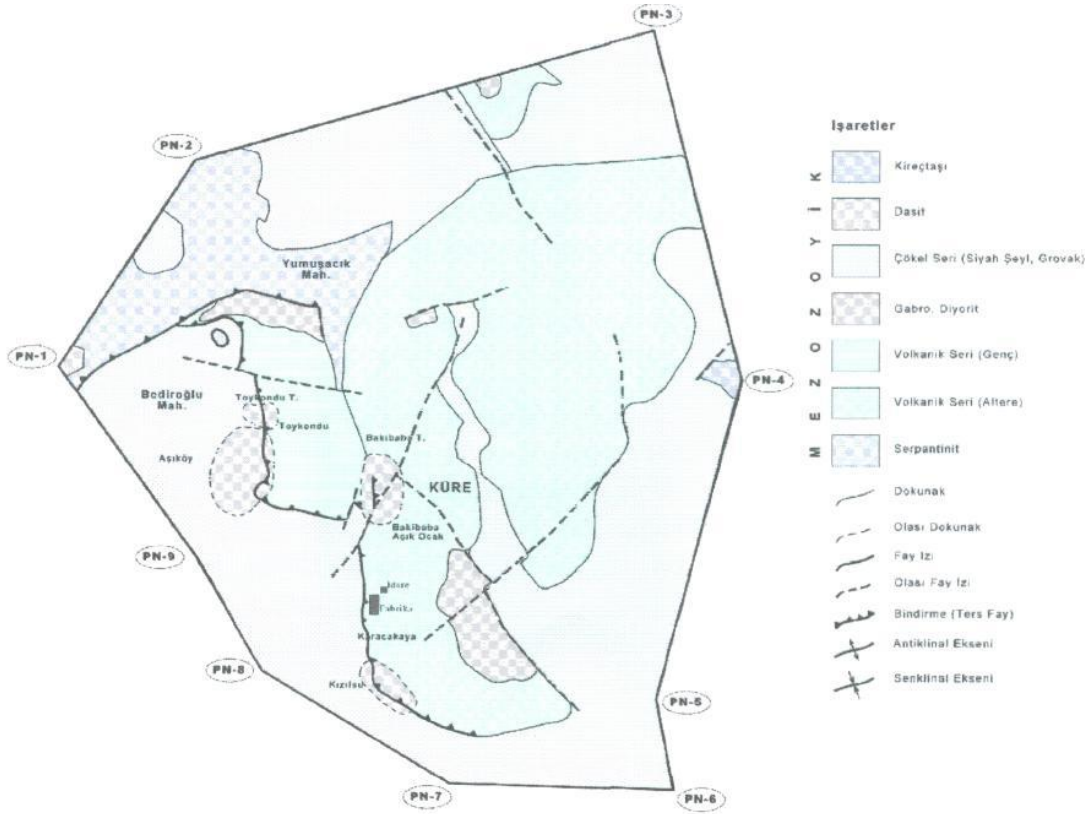
3.1.1. İstihdam Durumu

Gerek açık ve gerekse kapalı madencilik işletmeciliği konusunda Küre ve Kastamonu'dan işgücü temini kolaydır. 1950'li yıllardan bu yana süren madencilik çalışmaları sayesinde yöredeki işgücü nüfusu sektöre ve çalışma şartlarına uyum sağlamıştır. Bu nedenle düz işçi temininde sıkıntı bulunmamaktadır. Kalifiye eleman ile teknik personelin il dahilinde bulunamaması halinde il dışından tedarik edilmesinde bir sıkıntı bulunmamaktadır. Dışarıdan gelecek olan gerek kalifiye ve gerekse kalifiye olmayanlar için şirketin memur ve işçi misafirhanesi mevcut olup çalışanların sürekli olarak konaklama ve yemek imkanları mevcuttur (ETİ Bakır-Cengiz İnş., 2007).

İşletmede çalışacak personele liyakata göre ödeme yapılmakta olup, hem teknik personel ve hem de vasıfsız olarak çalışan düz işçilerin her biri 4857 sayılı Kanun hükümleri ve ilgili sosyal güvenlik kuruluşları hükümleri çerçevesinde ücret ödenmekte olup, çalışanların tamamı sosyal güvenlik çatısı altındadır (ETİ Bakır-Cengiz İnş., 2007).

3.2. MADEN YATAĞIYLA İLGİLİ JEOLJİK BİLGİLER

Bakır ve piritli cevher yataklarıyla ilgili olarak, Küre-Çorum Bölgesi; volkanik aktiviteye bağlı olan Mesozoik zonu ve Tersiyer yaşlı yatakların hakimiyetiyle karakterize olur. Yatakların çoğu, kısmen subvolkanik görünüşlü pirometasomatik veya metasomatik şartların müşahade edildiği ekstrüfiz veya sığ intrüfizlerle, hidrotermal eriyiklerle oluşmuşlardır. Bunlar ya masif merceksel düzlemsel ve damar teşekkülüdürler veya muntazam olmayan şekildedirler. Bölgenin genel jeolojisi aşağıda gösterilmiştir (Şekil 3.2).



Şekil 3.2: Küre Bölgesi Genel Jeolojisi

Bakırlı pirit yataklarının çoğuna daha önceleri subvolkanik orijinli olduğuna inanılan Küre Madeni tipik örnektir. Bunlar Mesozoik zonu yaşlı filiz çökelleri ve yastık şekilli lav formasyonunla ara katkılıdır. Az miktardaki magnetik ile birlikte kalkopirit, pirit, pirotin cevherleşmesi Çorum Sahası'nda intrüfizlerin metasomatik etkisiyle meydana gelmiştir. Çorum ve Merzifon Sahası civarında ofiyolitik formasyon içindeki bir kaç zühur görülmüştür. Fakat bilhassa Bakırçay mineralizasyonu; granodiyorit, tonalit ve

kireç taşları arasında kontak metasomatik masif yataktır. Mesozoik zonu ve Tersiyer yaşlı volkaniklerle bağlı diğer piritik mineral zuhurları şu sahalarda görülmüştür: Kepez, Gümüşhacıköy, Merzifon ve Çorum olmak üzere bunların çoğu az ekonomiktirler ve volkanik karakterli sığ intrüzif ve ekstrüziflerdeki hidrotermal eriyiklerle teşkil olunmuşlardır. Petrografik-mineralojik çalışmalar bunların evaporitik çökellerden oluşan diyajenetik ürünler olduklarını göstermişlerdir. Yatakların, primer, bakır, sülfür cevherden teşekkül etmiş sekonder bir mineralizasyon olmaları gerektiği düşünülür (ETİ Bakır-Cengiz İnş., 2007).

3.2.1. Ruhsat Sahası Genel Jeolojik Konumu

Küre bölgesi Karadeniz sahil dağları ile Orta Anadolu'nun kristalin masifinin kuzey kısımları arasındadır. Batıya doğru Zonguldak Kömür Havzası uzanır ve Kuzey Anadolu Fay Zonu ve genç faylar bölgenin arasından geçer. Bölge aynı zamanda Türkiye'deki en büyük bakır madeni bölgelerinden olan Küre Bakırlı Pirit Madeni'ni kapsar. Bölge Orta Anadolu'nun kuzey taraflarını içine alan güneyde Çankırı-Çorum Hattı ve doğuda İnebolu Limanı ile ve kuzeyde Karadeniz sahil çizgisi ile sınırlanır. Ankara-Çankırı-Kastamonu-Devrekani-Küre-İnebolu-Kastamonu-Sinop ve Ankara-Amasya-Çorum-Merzifon-Samsun bu üç hat bölgeyi güneyden kuzeye doğru asfalt veya demiryolu ile keserler. Bölge Karadeniz Dağları'nın batı tarafında bulunduğundan dar vadiler ve oldukça sert sırtlarla belirlenmekte ve dağlık görünüm sunmaktadır.

Küre Madeni, Anadolu Dağları'nda gelişmiş ofiyolit zona aittir. Bu ofiyolit zon diyabaz yastık lavları ve bazı ultrabazik kayalar gibi genellikle yeşil kayalar, içeren kalın jeosenklinal de çökelmiş kayalarla karakterize olur. Genel olarak Devrekani Küre Sahası'na "Küre Bakırlı Pirit Cevheri Bölgesi" denir ve Varisken Orojeni ile oluşmuş ve Alp Orojeni ile karakterize olmuştur. "Küre Bakırlı Pirit Cevheri Bölgesi" kumtaşı grovak arjillit ile örtülmüştür. Bu da jeosenklinal çökellerle oluşmuş ve Mezozoikten Tersiyer başına kadar olan değişik yaşlarda olan ofiyolitik kayalarla da dağılmıştır. Ofiyolitik Zon; jeosenklinal safhada yastık lavlarla karakterize olan spilitik akıntılar içinde karakteristiktir. Volkanik ürünler iki esas seri içinde sınıflandırılabilir, bunlardan biri gabroik kayaç serileridir ve diğeri granitik kayaç serileridir.

Volkanik faaliyetlerle ilgili olan maden yataklarının bazıları çok değerlidir, özellikle Küre Madeni'nin Bakırlı Pirit Yatakları'dır. Küre'de maden sahasında çok miktarda bakırlı pirit zuhurlarına rastlanır. Ayrıca Devrekani, Merzifon, Çorum Sahaları'nda da rastlanmaktadır. Küre Cevher Yatakları'nın, bazaltik spilit ve yastık lavlarla karakterize olunan jeosenklinal safhada oluştuğuna inanılır, fakat hemen hemen bütün diğer zuhurlar magmatizasyon veya gabroik ve diyoritik kayaçların intrüzyonları gibi plütonizma ile ilgilidirler.

Küre'de bulunan cevher tipi esas olarak pirit, kalkopirit'den müteşekkildir fakat kalkopirit gabroik veya diyoritik ve granitik kayaç çevrelerinde gelişir bazen hornfelsler ve başka çeşit metamorfik kayaçlar içinde görülürler. Bu tip olan cevher mineralleri magnetik ve pirotin ile karakterize olurlar. Bu tip mineralizasyonun oluşumu orojeni sonrasına rastlanır (ETİ Bakır-Cengiz İnş., 2007).

3.2.2. Cevher Yataklarının Kısa Açıklamaları

Cevher Çökellerinin Mekanizması; sayısız faylar boyunca yükselen hidrotermal eriyikler grovak-arjillit ardışımına az etki yaparak nüfuz eder ve mafik volkanik kayaçlar içinde piriti ve daha sonra da kalkopiriti biriktirir. Eriyikler kırıklı kayaçlar boyunca yükseldiği için bunlar üzeri nispeten geçitsiz arjillit ile örtülmüş vasat yatımlı iki fay kesişmesinin meydana getirdiği eğik, tavanımsı yapı altında yayılmıştır. Bir çok küçük eklemlere sahip olan yastık lavlar bilhassa mineralizasyona hassastır. Tüflü materyaller daha az geçirgendirler ve kısmen deplasmana uğramıştır bu arada küçük eklemsiz yastık yer değiştirmeden kalmıştır. Üste gelen arjillit yersel olarak eriyiklerden etkilenmiş ve piritleşmiştir. Mineralizasyonun yaşı Mesozoik olarak tahmin edilmektedir. Mineralizasyon öncesi olan dik eğilimli faylar cevherli eriyiklere öncülük etmişlerdir ve muhtemelen Alp Orojenezinden etkilenmişlerdir. Böylece cevher yatağının Tersiyer başına kadar uzanan Alp Orojeni'nden daha genç olması icap ettiği ortaya çıkmaktadır (ETİ Bakır-Cengiz İnş., 2007).

Bölgenin önemli yataklarından biri Aşıköy yatağıdır. Küre Bölgesinin işletmeye değer olan cevher yatakları başlıca pirit ve kalkopirit miktar bakımından değerli oluşu nedeniyle masif sülfat yataklarıdır. Ekonomik yönden muhtemelen önemli olan diğer mineraller her ikisi de ultramafik kütle içinde zuhur eden kromit ve asbesttir fakat hiçbir

ekonomik değerde bir zuhur değildir. Cevher kütlesi daha genç grovak-arjillit ardalımı içinde ayrı duran ve Küre Bölgesi'nin büyük fayının ancak 20-30 m altındaki mafik volkanik kayaç adesesinde zuhur eder. Bu arjillit yan duvarlı kesişen fayların hemen altında meydana gelen volkanik kayaçların eğik, battaniye şekilli bir deplasmandır. Cevher başlıca pirit ve değişebilen miktarlarda kalkopirit ve yer yer az miktarda bornit ihtiva eder. Halen az miktarda yer yer malakit, azurit ve limonit zuhurlarına rastlanır, fakat bunların açık işletmenin başlangıcından daha fazla miktarda bulunduğu anlaşılmaktadır (ETİ Bakır-Cengiz İnş., 2007).

Eklemler ve diğer çatlaklarda kabuk halinde ya da primer sülfidler de örtü halinde kalkosin içeren zenginleşmiş ince bir sülfid zonu vardır. Esas bakır mineralleri olan kalkopirit ve bornit cevher yatağının üst kısımlarında kesişen bir fay civarında konsantre olmuşlardır ve bu zon boyunca % 6'dan daha fazla bir bakır ihtiva eden cevherin boyutu işletilebilir genişlikler üzerine çıkar. Düşük tenörlü cevher disemine sülfid cevherinin bir çeşididir ve genel olarak yastık breş olan mafik volkanik kayaçlar içinde dağılmış pirit ihtiva eder. Zengin "masif sülfid cevheri" pirit veya yer yer kalkopirit ihtiva eder ki orijinal karakteri artık tanınamayan mafik volkanik kayacın deplasmanıdır. Bir çok yerlerde düzensiz yamalar ve mukayese edilebilir tane büyüklüğüne sahip kalkopirit damarları da ihtiva eder. Masif cevherinin çoğu görünüşte masif volkanik kayaç, muhtemelen de yastık lavlarla yer değiştirmiştir. Yer yer masif cevher kataklastik görünüşlü olup kolloform pirit veya kalkopirit damarlar ile kat edilmiştir. Yer yer demir oksit ile lekelenmiş olan sekonder kalsedonik (SiO₂) masif cevherler içinde yegane hakim gangdırlar.

Bölgenin diğer önemli yatağı ise Bakıbaşa yatağıdır. Küre'de geniş bir sahayı kaplayan yatak birkaç cevher kütlesi ihtiva eder, bunların bazıları uzun yıllar önce keşfedilmiş ve bunlardan maden çıkarılmıştır. Küre Köyü civarında biriken cüruf yığınları, halen % 1'den fazla bakır içeren 1.5 milyon ton materyal ve üst cevher kütlesi % 80 pirit ve % 3,34 Cu ile 1,3 milyon ton kadar rezerve sahip eser miktarda kobalt ihtiva eder. Mafik volkanik kayaçların deplasmanı ile oluşan masif sülfid ve disemine cevher şeklindeki cevherleşme Aşıköy Cevher Kütlesi'ne benzer (ETİ Bakır-Cengiz İnş., 2007).

3.2.3. Bölgedeki Cevher Yataklarının Genel Sınıflandırması

Bölgedeki metalik cevherler genetik, yapısal ve dokusal karakterlerine göre 4 tipe ayrılır:

❖ *Pirömetasomatik veya kontak metasomatik cevher yatakları;*

Bakırçay gibi pirömetasomatik veya kontak metasomatik cevher yatakları Merzifon ve Çorum Sahaları'na dağılmıştır. Cevher kütlelerinin hemen hemen hepsi küçüktür ve magnetit, pirotin, kalkopirit, sfalerit, galen, pirit ve az miktarda diğer aksesuar mineralleri ihtiva eden karmaşık bir mineralojik düzene sahiptir. Bu metalik mineraller granat, diopsit, hedenberjit gibi skarn denilen bir kompleks içinde dağılmışlardır.

❖ *Mezotermal disemine cevher yatakları;*

Çorum, Gümüşhacıköy ve Kepez gibi mezotermal disemine cevher yatakları zaman zaman ince sülfid damarcıkları ile mineralize olmuşlardır ve bazen bir çok yerde tedricen küçük damar tipindeki yataklara değişirler. Mineralize olmuş saha genellikle büyük değildir. Halen ekonomik bir değeri bulunmamaktadır.

❖ *Subvolkanik ve hidrotermal deplasman tip cevher yatağı;*

Subvolkanik ve hidrotermal deplasman tipi cevher yatakları; Devrekani'nin kuzey kısımlarına dağılmış durumdadırlar. En önemli cevher yatağı Küre ve civarıdır. Küre Yatakları daima tabakalı olmayıp daha ziyade gayri muntazam ve bazı durumlarda damasiftir. En tipik subvolkanik yataklar Eti Bakır A.Ş. tarafından işletilmekte olan Aşıköy Cevher Kütlesi'nde görülür. Bu yatakta aşağıda tarif edilen şu cevher tipleri dikkati çekmiştir.

- Piritik cevher başlıca kaba taneli pirit, kolloform, pirit ve az kalkopirit oluşumludur.
- Gevşek bir şekilde katılmış ince taneli cevher çoğunlukla kuvarssız sülfitten oluşmaktadır.

Bakibaba Cevher Kütlesi'nin şekli fay boyunca uzanan daha sonraki hidrotermal deplasman tipinin dikkati çeken özelliklerini gösterdiği görülebilir. Cevher hemen

hemen pirit ve kalkopiritten oluşmaktadır. Silisli cevherler çoğunlukla kuvars ihtiva ederler; kumtaşı ve sülfür mineralleriyle birlikte bulunan piroklastik kayaları deplase etmişlerdir. Bu çeşit cevherler epijenetik hidrotermal, metasomatik veya çatlak dolgusu karakterlerine sahiptirler.

❖ *Sekonder yataklar;*

Tali olarak oluşmuş olan yatak tipleridir ve kısmen gözlenebilir (ETİ Bakır-Cengiz İnş., 2007).

3.3. SAHANIN KİMYASAL ANALİZ DEĞERLERİ

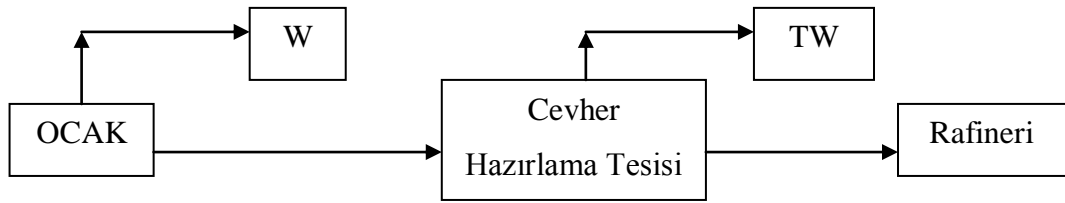
Sahada yapılan tüm sondajlardan karot numuneleri alınmış olup devam eden sondajlar içinde yine numune alınmaktadır. Ayrıca ocakta cevher üretimi sırasında kalite kontrolü için delik numuneleri, zenginleştirme tesisinde önemli bütün noktalardan alınan numunelerle analiz yapılmaktadır. Alınan numunelerin boyutları; tesislerden alındığında homojen tane boyutlu, deliklerden toz numunesi ve ocaklardan direkt alınanlar ise parça numunesidir. Ruhsatlı saha içinde gözlenen cevher tiplerine göre analiz sonuçlarının genelleştirilmiş hali Tablo 3.1’de verilmiştir. Bu değerler sahanın tümünü temsil edebilecek ortalama değerlerdir (ETİ Bakır-Cengiz İnş., 2007).

Tablo 3.1: Ruhsatlı Saha Genelini Temsil Eder Kimyasal Analiz Sonuçları

Elementler	Masif Zengin Cevher	Bakırlı Pirit Cevheri	Piritik Cevher	Saçımlı Cevher
%Cu	4,38	1,11	0,07	0,46
%S	44,40	43,62	48,02	15,60
%Fe	37,77	37,25	39,71	21,12
% SiO ₂	9,47	15,48	8,20	38,63
%Co	0,07	0,08	0,06	0,04
%Zn	0,17	0,08	0,03	0,19
%Pb	0,03	0,02	0,01	0,02
%Cd	0,001	0,002	0,001	0,002
%Ni	0,004	0,005	0,027	0,009
%Ca	0,10	0,20	0,08	0,52
% Mg	0,16	0,06	0,05	2,92
% Cr	0,002	0,002	0,002	0,010
Au, gr/ton	2,40	0,60	0,30	0,35
Ag, gr/ton	52,40	22,00	24,00	16,40

3.4. MADEN İŞLETME YÖNTEMİ

Ocakta yapılan üretim sırasında ekonomik sınır tenör altında kalan malzeme (W) doğrudan atık sahasına boşaltılmaktadır. Ekonomik sınır tenörün üstünde kalan malzeme cevher hazırlama tesisine beslenmektedir. Şekil 3.3’de görülen akım şeması dikkate alındığında cevher hazırlama tesisi atıkları (TW) atık barajında toplanmaktadır. Cevher hazırlama tesisinden çıkan malzeme ise rafineri edilmek üzere izabe tesisine gönderilmektedir.



Şekil 3.3: W ve TW atıklarının oluşumu

3.4.1. Bakibaba Açık Ocağı

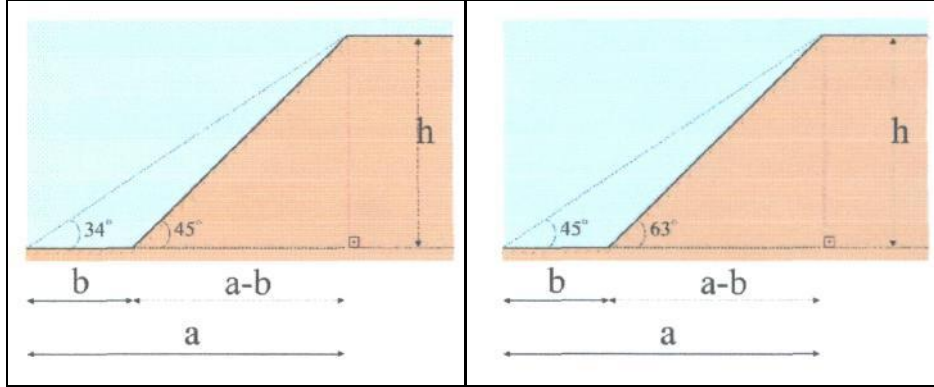
Bakibaba açık işletmesinde üretim faaliyetleri üstten alta doğru basamaklar oluşturularak yapılmaktadır. Bakibaba bölgesinde hakim kayalar diyabaz, arjilit ve cevherdir. Bu kayaç birimlerinden en dayanıksız olanı arjilitlerdir. Bu nedenle arjilitlerin hakim olduğu ocağın kuzeybatı kesimlerinde, nihai durum şev açısı 34° , diyabaz ve cevherlerin hakim olduğu ocağın diğer kesimlerinde ise 45° , hesaplanmıştır. Belirtilen değerler ve basamak-şev geometrisi Tablo 3.2 ve Şekil 3.4’de verilmiştir.

Tablo 3.2: Basamak-şev geometrisi parametreleri

Basamak Parametreleri	Arjilit Formasyonunda	Cevher ve Bazalt
Yüksekliği:	10 metre	10 metre
Genişliği:	5 metre	5 metre
Şev Açısı:	45°	63°

Bakibaba açık işletmesi Küre İlçe merkezine 1 km mesafededir. Cevher üzerinde ve çevresindeki çevre kayalar arjilit ve diyabazdır. Arjilit dayanıksız bir malzeme olduğu için çoğu kez patlatmaya ihtiyaç duyulmadan dahi iş makineleri ile sökülebilmektedir.

Delik delme işlemi 3,5 inç çaplı track-drill ile yapılmaktadır (ETİ Bakır-Cengiz İnş., 2007).



$$a = 15 \text{ m} ; b = 5 \text{ m}$$

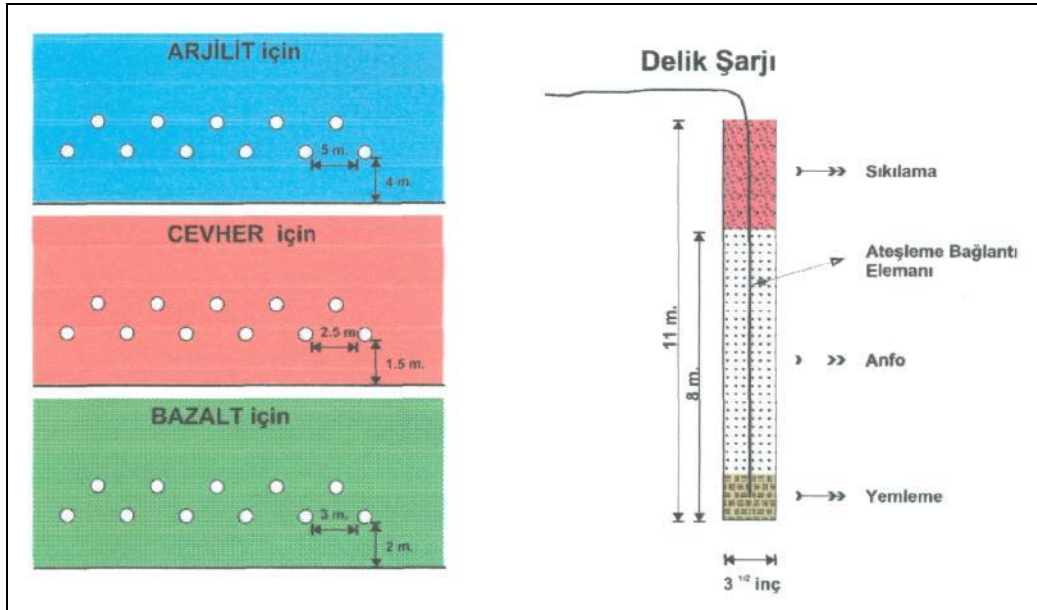
$$a - b = 10 \text{ m} ; h = 10 \text{ m}$$

$$a = 10 \text{ m} ; b = 5 \text{ m}$$

$$a - b = 5 \text{ m} ; h = 10 \text{ m}$$

Şekil 3.4: Bakibaba Açık İşletme Basamak-Şev Geometrisi

Örtü tabakalarında ve cevherde delikler eşleşmiş düzende yapılmaktadır. Delik boyları oluşturulan 10 m yükseklikteki basamaklara uygun olarak tırnak payı da ilave edilerek 11 m'dir. Arjilite delik geometrisi 4x5 m, diyabazda 2x3 m, cevherde ise 1,5x2,5 m olarak uygulanmaktadır. Atımlarda ana patlayıcı ANFO, yemleme olarak jelatinit dinamit yada türevleri ve tahrik içinde gecikmeli ateşleme elemanları kullanılmaktadır. Delik geometrisi ve delik şarjına ait bilgiler Şekil 3.5'te verilmiştir .



Şekil 3.5: Bakibaba Açık İşletme Patlatma Delik Geometrisi

Açık işletme yerleşim yerlerinden uzak olduğundan ocakta yapılan patlatmalarda emniyet açısından problem yaşanmamaktadır. Patlatma yapılmadan evvel öncelikle ocağa giden tüm yollar kesilmekte ve ocaktaki tüm çalışanlar ile iş makineleri ve akaryakıt içeren unsurlar boşaltılmakta ve 1 dakikadan az olmamak kaydı ile en az 3 kez siren ile sesli uyarı ve ayrıca megafon ile sesli ikazlar yapılmaktadır. Deliklerde tahrik elemanları olarak gecikmeli unsurlar kullanılarak olası ses, vibrasyon ya da parça tesir etkilerinin en aza indirilmesi sağlanmaktadır. Ayrıca her ateşleme esnasında vibrasyon ölçümleri yapılarak elektronik olarak kayıt altına alınmaktadır (ETİ Bakır-Cengiz İnş., 2007).

Patlatma sonrasında oluşan hafriyat ya da cevher uygun kamyon ve iş makineleri düzeni çerçevesinde yüklenerak atım yapılan sahadan uzaklaştırılmaktadır. Cevher zenginleştirilmek üzere konsantratör tesisine nakledilmekte, cevhere ulaşmak için yapılan dekapaj sonrası oluşan hafriyat toprağı ise ruhsat alanı içinde belirlenmiş olan tumba ve döküm alanlarına nakledilmektedir. Kastamonu Küre’de bulunan Bakır konsantresi üretimine yönelik tesise beslenecek ana hammadde olan bakır tüvenan cevheri yukarıda bahsedilen Bakibaba açık ocağından yılda 150.000 ton bakır cevheri istihraç edilerek ocaklara ortalama mesafesi 1,5 km olan bakır konsantre üretim fabrikasına taşınmaktadır.

Cevhere ulaşma ve yılda 150.000 ton bakır tüvenan cevheri üretmek amacı ile Bakibaba mevkiinde maden örtü tabakasının dekapajının yapılması planlanmaktadır. Yapılan hesaplamalar ve fiili uygulamalar sonucunda Bakibaba’da uygun örtü kazı oranı 1 ton cevher için 23,86 m³ dekapaj hacmi civarında tespit edilmiştir. Açık maden işletme yöntemi ile istihracı planlanan Bakır cevheri örtü tabakasının güvenilir şev açıları ile sıyrılarak (Ekskavatör-Yükleyici-Kamyon) basamaklar halinde üretimi planlanmaktadır. Şev açıları; örtü tabakasının duyarlı olması nedeni ile 45° genel şev açısıyla basamakların oluşturulması böylelikle cevhere ulaşılması amaçlanmaktadır. Buna göre; Bakibaba da yapılacak ton başına cevher için m³ cinsinden dekapaj oranı: 1/23,86 'dır. Buna göre dekapaj miktarı ise;

$$150.000 \text{ ton} \times 23,86 \text{ m}^3/\text{ton} = 3.579.000 \text{ m}^3\text{'dür.}$$

Çalışılması planlanan ruhsatlı alanda toplam 2.754.986 m³ (şev dekapajı dahil) dekapaj yapılıp toplam dekapaj sahası gidiş-geliş 3 km mesafedeki bir alana taşınması planlanmaktadır. Dekapaj yapılacak örtü tabakasının, döküm sahasına nakli damperli kamyonlarla yapılmaktadır (ETİ Bakır-Cengiz İnş., 2007).

Ayrıca, yılda 150.000 ton cevher istihracı için 1 adet ekskavatör ya da yükleyici (ayrışık malzeme yüklenmesi için) ile 3 adet damperli kamyon kullanımı planlanmaktadır. Diğer taraftan madencilik ile ilgili ara işlerde; iş makinelerinin yağ ihtiyacı için, dekapaj alanlarının sulanmasında ve şantiye suyunun temininde, iş makineleri ve kamyonların mazot ihtiyaçlarının karşılanmasında, iş makineleri ve kamyonların yedek parça, tamir bakım ihtiyaçları ile şantiye iaşesi temini amacıyla arazi koşullarına uygun olduğu düşünülen muhtelif amaçlı kullanımlar için 8 adet römorklu traktör ve muhtelif tip kamyonet, delme-patlatma hizmetlerinin sağlanması amacı ile 1 adet track-drill, ocak içi yolların düzenlenmesi için 1 adet greyder ve döküm alanını düzenlemek ve sıkıştırmak için 1 adet dozer kullanılması planlanmıştır (ETİ Bakır-Cengiz İnş., 2007).

Sonuç olarak; 24 adet damperli kamyon, 8 adet ekskavatör, 1 adet yükleyici, 8 adet kamyonet ya da traktör, 1 adet track-drill, 1 adet greyder ve 1 adet dozere ihtiyaç vardır.

3.4.2. Aşıköy Yeraltı Ocağı

Aşıköy yeraltı ocağında cevher üretimi katlar arası uzun delik yöntemi ile yapılmakta ve dolgu işlemi bunu izlemektedir. Cevhere taban kayacında açılmış rampadan sürülen kat galerileri ile ulaşılmaktadır. Daha önceden açılmış hazırlık galerileri ile katlar arası tabandan tabana 12 m olarak belirlenmiştir. Bu kat galerilerinden genelde cevher doğrultusu boyunca kılavuzlar sürülmektedir. Kılavuzlar, daha önce açılmış olanlar hariç 5 m genişliğinde ve 4,5 m yüksekliğinde açılmaktadır. Bu kılavuzlardan da cevhere dik sürülen panolar oluşturulmaktadır (Şekil 3.6.a). Panoların boyları cevherin kalınlığına göre değişmekte ve genelde 20 - 40 m uzunluğunda olmaktadır. Panolar 7 m veya 5 m genişliğinde ve 4,5 m yüksekliğinde açılmaktadır. Aynı eksen üzerinde üst üste açılmış panolarda alttan veya üstten üretim delikleri delinmektedir (Şekil 3.6.b). Öncelikle serbest yüzey oluşturmak için iki kat arasında bir slot açılmakta ve daha sonra üretim delikleri açılmış olan serbest yüzeye doğru patlatılarak cevher üretimi gerçekleştirilmektedir. Cevher alt kattan uzaktan kumandalı LHD kullanılarak

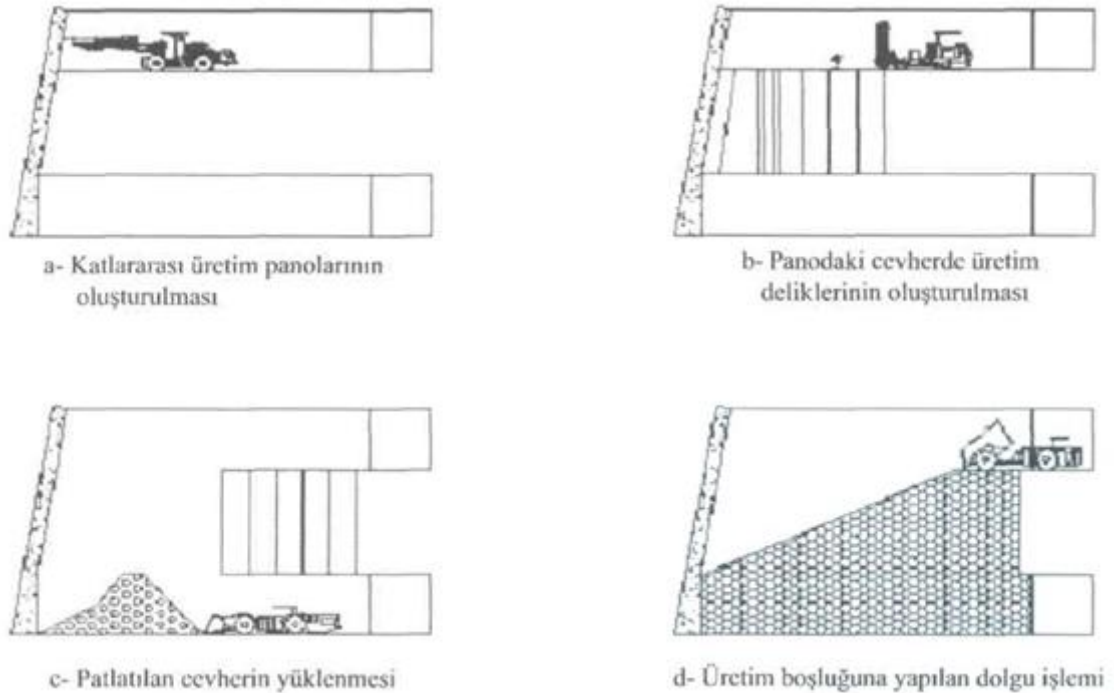
taşınmaktadır (Şekil 3.6.c). Bu iki kat arasında açılan boşluk çimentolu dolgu ile doldurulmaktadır (Şekil 3.6.d). Doldurulmuş taban daha sonra üretilecek dilim için taban katı durumuna gelmektedir. Aynı işlem 7 m olarak bırakılan topuğun diğer yanında gerçekleştirilmektedir. Daha sonra topuk olarak bırakılan kısımda aynı işlem gerçekleştirilmektedir (ETİ Bakır-Cengiz İnş., 2007).

Aşıköy yeraltı işletmesinde, +932 ile +792 kotları arasında üretim halen devam etmekte olup, +775 kotundan ~% 4 eğimli olarak aşağı yönde sürülecek olan -2050 m uzunluğundaki ana galeri ile cevher kütlesinin altına 75 m'lik düşüşle +700 kotunda girilecektir. +700 kotundan oluşturulacak olan yukarı eğimli rampa yolu ile hem üst kottaki +792 katına bağlantı yapılacak ve keza aşağı eğimli olarak sürülecek olan rampa yolu ile +700 kotu altında kalan cevher kütlesine ulaşılabilecektir. Daha sonra oluşturulacak olan 20 m'lik ara katlarla cevher kütlesi içinde üretimler gerçekleştirilecektir. Cevher ve pasada sürülen hazırlık galerilerinin delgisi için 1 adet Atlas Copco çift bumlu elektrikli Jumbo Rocket Boomer-282 kullanılmaktadır. Delik çapı olarak genellikle 45 mm kullanılmaktadır. Delik boyları ise genelde 3,5 m'dir. Katlar arası cevher üretim delikleri ise 1 adet Atlas Copco Elektrikli Şimba H1254 Top Hammer ile delinmektedir. Lazer ve açılı delme fonksiyonlarından faydalanılarak kaliteli delme gerçekleştirilmektedir. Delik çapları 76 mm dir. Delikler genellikle üstten alta delinmekle birlikte bazen alttan üstede delinebilmektedir. Katlar arasında ana patlayıcı olarak Anfo, ateşleme sistemi olarak da zaman ayarlı non-el kapsüller kullanılmaktadır. Her defasında 1 veya 2 sıra patlatılmaktadır (ETİ Bakır-Cengiz İnş., 2007).

Üretilen cevherin taşınması için 3 adet Atlas Wagner ST-6C yeraltı yükleyici kullanılmaktadır. Bu kepçelerden bir tanesi uzaktan kumandalıdır ve bu kepçe katlar arasından üretilen cevherin alınıp taşınmasında kullanılmaktadır.

Cevher ST-6C'ler tarafından alınıp tabanı +804 katında bulunan cevher nakli için açılmış başyukarıya boşaltılır. Cevher yine ST-6C'ler tarafından başyukarı tabanından (+804) alınıp ve yine +804 katında bulunan ızgara'dan +792 katında bulunan çeneli kırıcıya beslenir. Kırıcıdan çıkan cevher bant konveyör vasıtası ile flexowell besleme silosuna boşaltılır. Buradan da +792 katı ile +935 katları arasında kurulmuş olan 140 ton/saat kapasiteli düşey bant sistemine (flexowell) beslenir. Bu sistem sayesinde ihrac

kuyusunun başı olan +935 kotuna nakledilir. Buradan da 68 metresi 17° eğimli ve 600 metresi 10° eğimli bant konveyör sistemi ile yüzeyde bulunan +985 kotu döküm sahanına nakledilmektedir. Mevcut cevherin tamamının alınabilmesi için iki tür dolgu uygulanmaktadır. Topuklardan önce alınan cevherin boşluğu çimentolu dolgu ile doldurulmaktadır. Çimentolu dolgudaki öncelikli amaç yandaki topuk alınacağı zaman stabil olarak durabilecek dirençte olmasıdır. Bu tür dolguda çimento oram ağırlıkça %5-6 arasındadır. Dolgu ana maddesi olarak kırma ve eleme tesisinde sınıflandırılmış açık ocak dekapaj malzemesi olan bazalt kullanılmaktadır. Kırılmış malzemenin tane boyutu 0-125 mm arasındadır. Kırılmış malzeme kuyular vasıtası ile yeraltına gönderilmektedir. Yeraltında şu an için 3 katta mevcut besleme silolarından alınmakta ve alınırken çimento enjeksiyonu ile karıştırılmaktadır. Çimento enjeksiyonunun hazırlanması için +840 ve +932 katlarında iki adet enjeksiyon seti kurulmuştur. Enjeksiyonun su/çimento oranını kontrol etmek için Marcy Scale kullanılmaktadır. Dolgunun taşınması ve açılan boşluklara boşaltılması için ise 2 adet Wagner MT 2000 kamyon kullanılmaktadır.



Şekil 3.6: Aşıköy Yeraltı Ocağı Cevher Üretim Yöntemi

Topukların alınmasıyla meydana gelen boşluk ise çimentosuz pasa dolgu kullanılmaktadır. Fakat açılan boşluğun kılavuzlarla keşiştiği bölümde yine çimentolu dolgu yapılmaktadır. Pasa dolgu olarak yine kırılmış bazalt kullanılmaktadır. Aynı

zamanda yeraltında hazırlıklardan elde edilen pasa da bu amaç için kullanılmaktadır. Püskürtme beton ihtiyacı +920 galeri girişine kurulmuş olan 16-m³/saat kapasiteli beton santralinden sağlanmaktadır. Püskürtme beton uygulaması kuru olarak 3 adet Ocmer ve Icoma shotcrete ekipmanı ile yapılmaktadır. Enjeksiyonlu bulon için ise 1 adet bulon enjeksiyon pompası mevcuttur (ETİ Bakır-Cengiz İnş., 2007).

Temiz hava girişi +920 galerisinden girmekte, kirli hava ise +1080 ile +940 kotları arasındaki havalandırma kuyusundan çıkmaktadır. Kirli hava +940 katma +940 ile +792 kotları arasındaki diğer havalandırma kuyusundan gelmektedir. +1080 kotu kuyu girişinde 2 adet 90 KW'lık fan, emici olarak kullanılmaktadır. Kış aylarında doğal havalandırmadan da faydalanılmaktadır. Tali havalandırma için güçleri 3,5 ile 30 KWh arasında değişen 13 adet fan mevcuttur. Bunun yanında yine tali havalandırma için genelde 1,5 m x 1,5 m kesitinde katları birbirine bağlayan havalandırma başyukarıları açılmıştır (ETİ Bakır-Cengiz İnş., 2007).

Hazırlık galerileri genelde sağlam taban kayacında sürülmektedir. Cevher kılavuzları ise cevher kontağında sürülebildiği gibi cevher içinde veya yan kayada da sürülebilmektedir. Cevher panoları cevher içinde sürülmesine karşın, kayaç kaliteleri farklı zeminlerle karşılaşılabilir. Uygulanan tahkimat türü ve boyutları zemine, açıklığın boyutlarına, geometrisine ve ömrüne bağlı olarak değişmektedir. Uygulanan tahkimat türleri püskürtme beton, çelik hasır ve bulon, çelik hasırlı püskürtme beton, standart swellex bulon (2,4 m ve 3,3 m), enjeksiyonlu bulon (3 m, 4 m ve 6 m) ve çelik iksa şeklindedir (ETİ Bakır-Cengiz İnş., 2007).

Katlar arasında delinmiş su tahliye delikleri ve rampadaki kanaldan gelen su +792 katı kirli su havuzunda toplanmaktadır. Buradan ihraç kuyusu boyunca +932 katına pompalanıp, drenaj kanalı vasıtasıyla +920 galeri girişinden dışarı atılmaktadır. +792 su havuzunda kirli suyun pompalanabilmesi için 2 adet 55 KW'lık kademeli pompa mevcuttur. Kat içlerinde birikmiş su gerektiğinde 1 KW'lık dalgıç pompalar ile tahliye edilmektedir. Yine +792 katında bulunan temiz su havuzundan temiz su ihtiyacı karşılanmaktadır. Temiz su buradan dalgıç pompa yardımı ile kirli su havuzu yanındaki tanka, oradan da sırası ile 18,5 KW'lık kademeli pompa ile +855 katı havuzuna ve

buradan yine 18,5 KW'lık kademeli pompa ile +932 katı havuzuna gönderilmektedir. +932 katında bulunan 11 KW'lık hidrofor ile bu su yeraltı ihtiyacını karşılamaktadır.

Aşıköy yeraltı işletmesinin enerji ihtiyacı açık ocak kaba kırma önünde bulunan direktten bir seksiyoner ile 6,3 KV olarak temin edilmektedir. Buradan alınan enerji +985 katındaki 500 KVA'lık trafosu beslemektedir. Burada bulunan salt merkezinden alt katlara ve +1080 katına dağılmaktadır. Tüm enerji sarfiyatı +985 katı yüksek gerilim üzerinden 3 tarifeli sayaç ile okunmaktadır. Acil durumlar için +1080 katında 513 KVA'lık bir jeneratör mevcuttur. Bu jeneratör uzaktan kumanda ile ihraç kuyusu başından çalıştırılabilmekte ve +1080 katında bulunan trafo tarafından (Ters trafo sistemi) 400 V 6,3 KV'a dönüştürülerek bütün katların enerji ihtiyacı karşılanabilmektedir. Ayrıca 225 KVA'lık bir jeneratörde gerektiğinde kullanılmak üzere yine +1080 katında mevcuttur. Elektrik kesilmesi durumunda, jeneratör devreye alınmaya kadar +792 kırıcı dairesi, ihraç kuyusu taban gibi kritik çalışma alanlarının aydınlatmasını sağlayacak otomatik olarak devreye giren lambalar mevcuttur (ETİ Bakır-Cengiz İnş., 2007).

Tüm katlarda ve ana yollarda 20 m' de bir 2x18 W flüoresan armatürleri mevcuttur. Ayrıca kırıcı dairesi, mekanik atölye gibi çalışma alanlarında 400 W Metal Halide armatür kullanılmaktadır. Katlar arası üretim esnasında açılan boşluğun aydınlatılması için 1000 W sodyum buharlı armatür kullanılmaktadır (ETİ Bakır-Cengiz İnş., 2007).

3.5. MALZEMENİN KONSANTRE ÖZELLİKLERİ

Aşıköy ve Bakıbaşa ocaklarından üretilen ve içerisinde eser miktarda kobalt ihtiva eden bakırlı pirit tüvenan cevheri, ruhsatlı saha içerisinde kurulu bulunan konsantratör tesislerinde işlenerek ara ürün olarak konsantre şekilde pazarlanmaktadır. Üretilen bakır konsantresi Samsun İzabe tesisine yurtiçi satış, olarak gerçekleştirilmektedir. Yurt içi alıcısı durumunda olan Samsun İzabe tesisinin istediği bakır konsantre özellikleri Tablo 3.3'te verilmiştir (ETİ Bakır-Cengiz İnş., 2007).

Konsantre tesislerinde elde edilen diğer ürün olan Pirit konsantresi ise asit fabrikaları ile gübre fabrikalarına yurtiçi verilmektedir. Yurtiçi satış yapılan bu kuruluşlar tarafından istenen pirit konsantre ürün özellikleri aşağıdaki tabloda verilmiştir (Tablo 3.4).

Tablo 3.3: Bakır Konsantre Ürün Özellikleri

Nem (maksimum)	% 7
Kükürt (minimum)	% 30
Kurşun (maksimum)	% 1
Çinko (maksimum)	% 3
Arsenik (maksimum)	% 0,5

Tablo 3.4: Pirit Konsantre Ürün Özellikleri

Element	%
S	40-46
Fe	40-44
Cu	0,5-1,0
Co	0,45
Zn	0,30
As	0,30 (maksimum)
Nem	7-8

Ruhsat sahası içerisinde kurulu bulunan konsantratör tesisinde elde edilen konsantrenin genel özellikleri ise Tablo 3.5’de verilmiştir (ETİ Bakır-Cengiz İnş., 2007).

3.6. CEVHER HAZIRLAMA TESİSİ İLE İLGİLİ BİLGİLER

Ruhsat sahası içinde kurulu bulunan 1 adet konsantratör üretim tesisi bulunmaktadır. Daha önceden projelendirilen ve uygunluk alan tesisin yılda 930.000.ton tüvenan kompleks cevheri işleme kapasitesi ile 90.000 ton (% 15 tenörlü Cu) bakır konsantresi, 460.000 ton (% 46 tenörlü S) pirit konsantresi üretimi öngörülmüştür. Mevcut tesisi yıllık üretim durumumuza göre % 90 randıman ile çalışması planlanmıştır.

İlgili tesis ekinde kurulu bulunan sosyal tesisler ile yemekhane, yatakhane, misafirhaneler ve idari binalarda ruhsat sahası içinde kalmaktadır. İlgili konsantratör tesisinde Aşıköy kapalı ocak ile Bakibaba açık oaktan üretilen kompleks (bakır +pirit + kobalt) tüvenan cevher işlenmektedir. Tesiste bakır ve pirit konsantresi eldesi mümkün olmakla birlikte tüvenan içinde bulunan kobalt'tan kobalt tuzu üretimi için

ayrıca ilerleyen zaman içinde yeni bir yatırım ve proje çalışması planlanmıştır. Mevcut tesislerin yerleşim planı aşağıdaki şekilde verilmiştir (Şekil 3.7) (ETİ Bakır-Cengiz İnş., 2007).

Tablo 3.5: Üretilen Konsantre Genel Ürün Özellikleri

Elementler	Bakır Konsantresi (%)	Pirit Konsantresi (%)
Cu	15	0,40
Zn	1,5	0,04
Pb	0,04	0,02
Fe	34	44
SiO ₂	5	65
Au	4,6 ppm	0,9 ppm
Ag	25 ppm	6 ppm
S	39	46
Hg	43 ppm	7,3 ppm
Se	0,002	0,05
Cl	0,06	0,0-1
F	0,05	0,002
As	0,1	0,1
Sb	0,04	0,02
Bi	0,005	0,003
H ₂ O	7	7
Co	0,1	0,15

Açık ve kapalı ocaklardan elde edilecek olan tüvenan cevher kırma ve öğütmeden sonra 930.000 ton/yıl olarak kapasiteli konsantratörde flotasyon işlemine tabi tutulmaktadır. Cevher çeneli kırıcılardan geçirildikten sonra stoklanmaktadır. Konili ince kırıcılardan geçirilen cevher, bilyeli ve çubuklu değirmenlerde öğütülerek kaba bakır flotasyon devresine alınır. Flotasyon taşıntıları tekrar öğütüldükten sonra, bakır temizleme flotasyon devresine verilir. Takip eden skaven flotasyon sonunda bakır konsantresi tiknerde yoğunlaştırılarak filtrasyon kurutmaya tabi tutulur (ETİ Bakır-Cengiz İnş., 2007).

Bu şekilde selektif flotasyonla bakır alındıktan sonra geriye kalan artık, kondisyonlanarak pirit flotasyon devresinde zenginleştirilir. Elde edilen pirit konsantresi tiknerde yoğunlaştırılarak filtrasyon ve kurutmaya tabi tutulur. Tesis katı atıkları ise kobalt tuzu üretimi için düşünülen projenin uygulanmasında tekrar

4. YÖNTEMLER

Aşıköy ve Bakibaba işletmelerinde doğrudan izabelik bakır cevheri ve piritik cevher olmak üzere iki tip ürün üretilmekte ve piyasaya sunulmaktadır. Önce KBİ-Samsun Konsantratörü'nün kurulmasıyla işletmeciliğin bağımlı olduğu dış tekno-ekonomik parametreler değişmiş ve rezerv değerlendirme kriterlerinin bu değişen durumda uyumlu hale getirilmesi ihtiyacı doğmuştur. Bu ihtiyaçlar doğrultusunda sahanın ilk olarak veri tabanı oluşturulmuş ve maden yatağı ile topografik yüzey modellenmiştir. Daha sonra tenör-tonaj dağılımı blok model yardımıyla bulunarak COG hesaplamalarına geçilmiştir.

4.1. VERİ TABANI OLUŞTURMA

Herhangi bir maden sahasına ait dataların (sondaj, jeolojik vb.) depolanması, sınıflandırılması, değerlendirilmesi, logların oluşturulması, verilerin temel istatistik analizlerinin yapılması, her doğrultuda jeolojik kesit alınması ve görüntülenmesi, rapor edilmesi v.b. işlemlerden oluşmaktadır. Sahada yapılmış olan 36 adet sondaj bulunmaktadır. Veritabanını oluşturan Collar, Survey, Assay ve Geology dosyaları (Ek-1, Ek-2, Ek-3 ve Ek-4) sondaj loglarından faydalanılarak detaylı olarak hazırlanmıştır (Ergin, Kırmanlı ve Erdoğan, 1998).

4.2. MADEN YATAĞININ VE TOPOĞRAFİK YÜZEYİN MODELLENMESİ

Mevcut işletme ve topografik veriler kullanılarak, “Digital Terrain Modelleme” (DTM modülü” ile üç boyutlu olarak (3D) işletmenin durumu ve çevresi modellenmiştir. DTM modülü, kullanıcı tarafından belirlenen kıstaslara bağlı olarak (kod, jeolojik formasyon, kimyasal analiz değerleri v.b.) belirlenen yüzeyi ileri bir programlama tekniği ile üçgenler oluşturarak (3D) modeller. Dolayısıyla, oluşturulan bu yüzeylerde kimyasal dağılımlar istenilen aralıklarda değişik renklerde elde edilebileceği gibi iki DTM

arasında kalan malzeme miktarı da (örn. İki işletme basamağı) çok hassas olarak program tarafından hesaplanması sağlanmıştır.

Cevher yatağının 3D modeli; fizibilite, planlama ve üretim aşamasında cevher yatağı ile ilgili işlemlerin bilgisayar yardımı ile yapılmasına imkan sağlayan bir veri tabanıdır. Örneğin, nihai sınır analizleri, üretim planlaması gibi işler için bilgisayar destekli yöntemlerin kullanılabilmesi cevher yatağının 3D modelin varlığına bağlıdır. Çubuk (string) ve katı (solid) modelleme teknikleri ile kesitlere ayrılmış maden yatağında her bir kesitteki sondaj loglarının içerdiği kimyasal analiz ve jeolojik formasyon verileri, stringler kullanılarak kesitler arasında otomatik olarak interpolasyon yapılarak üç boyutlu jeolojik modeller oluşturulabilmektedir (Ergin, Kırmanlı ve Erdoğan, 1998).

4.3. REZERV VE TENÖR TONAJ DAĞILIMININ BELİRLENMESİ

Madencilik yatırımları; rezerv hesaplamaları üzerine kurulmuş olup doğru yapılmış olmalarının önemi büyüktür. Klasik rezerv hesaplama yöntemlerini kullanan programlar bu işlemi geometrik interpolasyon yöntemi ile yapmakta olup yaygın olarak poligon metodunu kullanmaktadırlar. DTM yönteminde, cevher veya kömür damarının alt ve üst yüzey modelleri (DTM) oluşturulmakta ve modellenen iki yüzey arasında kalan hacim bir algoritma ile hesaplanarak rezerv hesabı yapılmıştır. Aynı şekilde dekapaj miktarları da çok hassas ve hızlı olarak hesaplanmıştır (Ergin, Kırmanlı ve Erdoğan, 1998).

4.4. HEDEFLenen KONULARIN ARAŞTIRILMASI

Bu çalışma, bir projenin Net Bugünkü Değeri üzerinde ekonomik sınır tenör politikasının etkisini araştırmayı amaçlamaktadır. Genellikle, en yüksek NPV değerini veren ekonomik sınır tenörü politikasının, projenin ömrü boyunca azalan ekonomik sınır tenörlerini kullanan yöntem olduğu kabul edilir (Dağdelen, 1992). Burada en önemli soru verilen bir maden projesi için olası en yüksek net bugünkü değeri veren ekonomik sınır tenörlerinin nasıl belirleneceğidir. Günümüzde en çok kullanılan bir yöntem olan Lane algoritması bu probleme çözüm sağlamıştır. Bu yaklaşımdaki formülasyon ve teorik analizlerde; Lane; ekonomik sınır tenörü kararını bugünden alabilmek için henüz elde edilmemiş gelecekteki nakit akışlarla ilişkili sabit maliyetleri,

maksimum net bugünkü değeri veren, ekonomik sınır tenörü hesaplamalarına dahil etmek zorunda olduğunu göstermiştir. Eğer sistem cevher hazırlama tesisi tarafından (mill capacity) kısıtlanıyorsa, maksimum net bugünkü değeri veren ekonomik sınır tenörü eşitliği aşağıdaki gibidir:

$$g_{milling} = \frac{c + f + F_i}{(P - s)xy} \quad (4.1)$$

$g_{milling}$: g_{proses} : i. yılda kullanılan ekonomik sınır tenörü

c : i. yıldaki öğütme yada cevher hazırlama maliyeti

f: f_a/C ; f_a yıllık sabit maliyetler, C i. yıldaki cevher hazırlama kapasitesi

F_i : $dxNPV/C$, F_i fırsat maliyeti, d faiz oranı

P : satış fiyatı

s: pazarlama maliyeti

y: kazanım yüzdesi (% , recovery)

Bu eşitlikte F_i fırsat maliyetinin dahil edilmesinin altındaki mantık; her maden yatağı verilen bir zaman noktası ile ilişkili net bugünkü değere sahiptir ve söz konusu bu zaman süresince işlenen her malzemenin beher tonu henüz alınmamış nakit akışların maliyetini ödemek zorunda olmasıdır. Bu yöntemin maden ömrü üzerinde de önemli bir etkisi olup, maden ömrü kısalmaktadır.

Eşitlik 4.1’de verilen ekonomik sınır tenörleri, operasyondan sağlanan i. yılından maden madenin ömrü sonuna kadar geçen süredeki gelecek faydaların (profits-her dönem oluşacak) net bugünkü değerine bağlıdır ve bu gelecek faydaların net bugünkü değeri, optimum ekonomik sınır tenörlerine karar verene kadar hesaplanamaz. Karşılıklı olarak birbirine bağlı değişkenlerden oluşan bu tür bir problemin çözümü iterasyon gerektirir. Bunun için başlangıçta önerilen NPV değeri, çözüm stabil optimum bir çözüm verene kadar iterasyon geliştirilir (Başçetin ve Nieto, 2007).

4.5. LANE ALGORİTMASINDA KULLANILAN İŞLEM ADIMLARI

Yukarıda kısaca tanıtılan eşitlik 4.1 algoritması ile çözüme ulaşmada iterasyon gerektiği daha önce belirtilmiş ve bu iterasyonun adımları aşağıda özetle verilmiştir (Lane, 1964, 1988).

Lane Algoritması İterasyon İşlem Adımları:

1. Verilen bir maden yatağının tenör-tonaj dağılımının belirlenmesi.
2. En uygun öğütme (milling) kapasitesi (C), satış fiyatı (P), rafineri ve pazarlama maliyetleri (s), metal kazanım yüzdesi (y-recovery), öğütme (milling) maliyeti (c), üretim maliyeti (m), yıllık sabit maliyetler (f_a) ve faiz oranının (d) tahmin edilmesi.
3. Aşağıdaki eşitliğin kullanılarak i. yılda kullanılacak ekonomik sınır tenörünün ($g_{milling}(i)$) belirlenmesi

$$g_{milling} = \frac{c + f + F_i}{(P - s)xy}, F_i = dxNPV / C, f = f_a / C \quad (4.2)$$

4. Yatağın mevcut tenör-tonaj eğrisinden aşağıdaki parametrelerin belirlenmesi:
 - a) Ekonomik sınır tenörü ($g_{milling}$) üzerindeki cevher tonajı (T_c) ve tenör (g_c)
 - b) Ekonomik sınır tenörü ($g_{milling}$) altındaki atık (waste) tonajı (T_w)
 - c) Kazı oranı (stripping ratio) $sr = (T_w / T_c)$
5. Eğer Adım 4' de hesaplanan toplam rezerv (T_c) tesis edilen yıllık öğütme (milling) kapasitesinden (Q_c) büyükse, i. yıldaki öğütülecek (milled quantity) miktar; $Q_c = C$ aksi halde $Q_c = T_c$

i.yılda üretilen miktar (quantity mined) (Q_m)

$$Q_m = Q_c (1 + sr) \quad (4.4)$$

6. Aşağıdaki eşitliğin kullanılarak yıllık faydaların (profit- P_i) belirlenmesi

$$P_i = (P - s) \times Q_c \times g_c \times y - Q_c (c + f) - Q_m \times m \quad (4.5)$$

7. Dağılım şekli değişmeyecek şekilde oransal olarak, ekonomik sınır tenörü üzerindeki tenör dağılımından cevher tonajlarının (Q_c) ve ekonomik sınır altındaki atık tonajlarının ($Q_m - Q_c$) izlenerek yatağın tenör-tonaj eğrisinin ayarlanması.
8. Eğer Q_c , öğütme (milling) kapasitesinden (C) küçükse, maden ömrü, $N = i$ dir ve adım 9'a geçilir, aksi halde $i = i + 1$ tesis edilir ve adım 3' e gidilir.

9. Adım 6’da tahmin edilen faydaları (P_i) kullanarak, aşağıdaki eşitlik ile i yılından N ’e kadar üretilen nakit akışlar için artan NPV’nin hesaplanması;

$$NPV = \sum_{j=i}^N P_j / (1 + d)^{j-i+1} \quad (4.6)$$

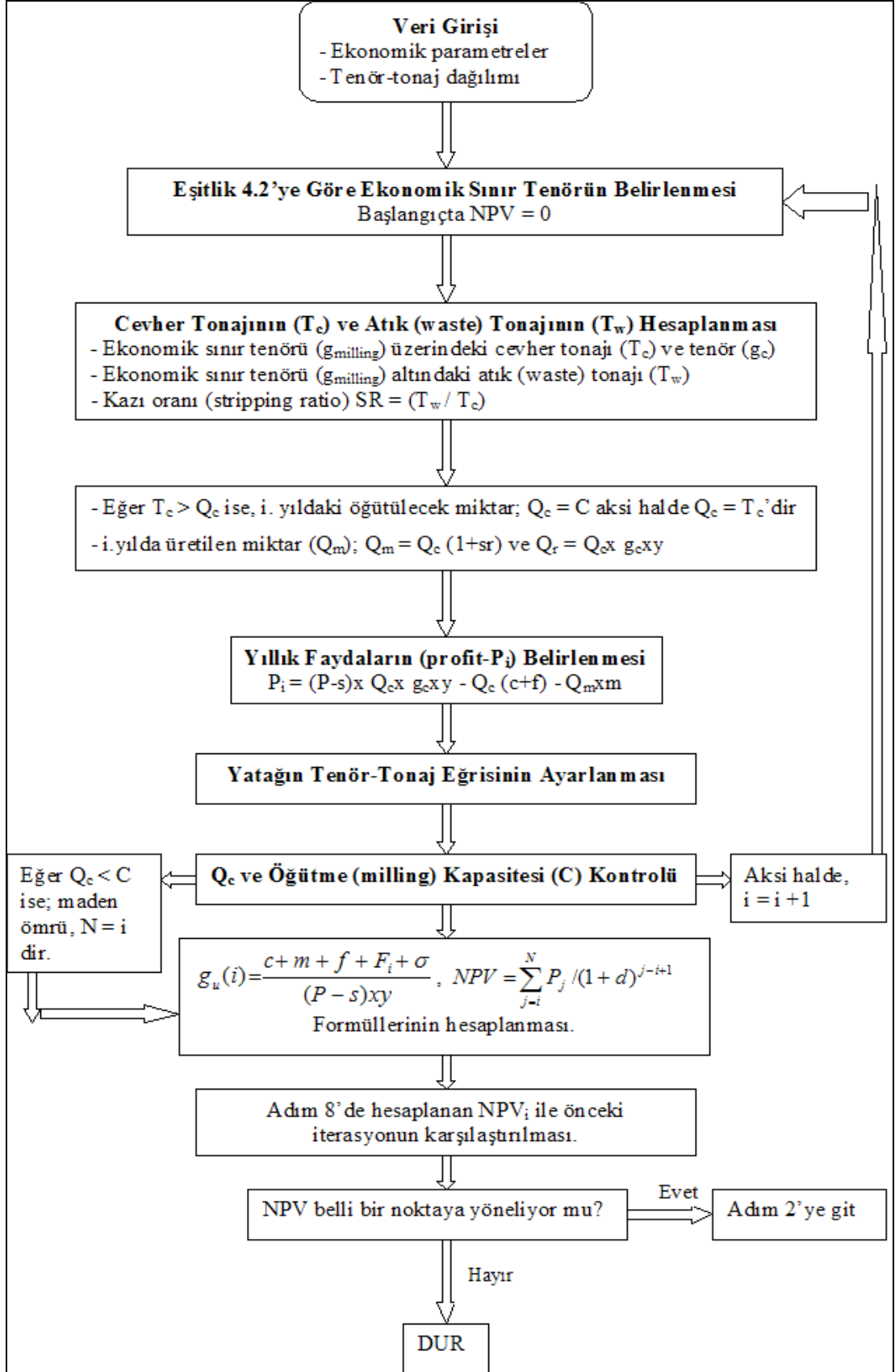
her yıl $i=1$ için N her yıldaki toplam maden ömrü (kalan maden ömrü).

10. Eğer tüm yatağın NPV _{i} si için gelecek faydaların net bugünkü değerinin toplamı, önceki iterasyondan sağlanan net bugünkü değer toplamının $\pm 500K$ toleransı içinde değilse adım 1’e git, aksi halde dur; $i = 1, N$ için bu ekonomik sınır tenörü $g_m(i)$, operasyon için gelecek faydaların net bugünkü değerini maksimum yapan optimum değerdir.

Bir projenin NPV değerini maksimize etmek için optimum cutoff tenörü stratejisinin belirlenmesinde, non-linear problemlerin çözümünde yaygın olarak kullanılan geliştirilmiş indirgenmiş gradient (Generalized Reduced Gradient-GRG) yaklaşımı Başçetin ve Nieto tarafından kullanılmıştır. Klasik Lane algoritmasına ilave edilen geliştirilmiş indirgenmiş gradiyent yaklaşımına dayalı optimizasyon faktörü (σ) ile yeni bir algoritma elde edilmiş ve sonuçta toplam NPV değerinde artış görülmüştür. Algoritmanın kullanımını kolaylaştırmak amacı ile de bu algoritma Visual Basic programlama dilinde kodlanmış ve Microsoft Excel arayüzünde kullanılabilir duruma getirilmiştir. Uygulanan ekonomik sınır tenör formülleri değişse bile Şekil 4.1’deki akış diyagramı prosesleri değişmeyecektir (Başçetin ve Nieto, 2007).

4.5.1. Generalized Reduced Gradient (GRG) Yaklaşımı ile Ekonomik Sınır Tenörünün Hesaplanması

Lane (1964), ekonomik sınır tenörü hesaplamaları için oldukça kapsamlı bir teori geliştirmiştir. Bu teoride kullanılan notasyonlar Tablo 4.1’de verilmiştir. Lane’in bu algoritmasında ekonomik sınır tenörü kararını bugünden alabilmek için henüz elde edilmemiş nakit akışlarla ilişkili sabit maliyetleride dahil eden maximum NPV değerini sağlayan bir ekonomik sınır tenörü sunmaktadır. Konsantratör kısıtlama faktörü ise bu ekonomik sınır tenörü eşitlik 4.1’deki gibi ifade edilir.



Şekil 4.1: Ekonomik sınır tenör optimizasyonu için algoritma akış şeması (Başçetin ve Nieto, 2007)

Eşitlik 4.1’de; $g_{\text{milling}} = g_m(i)$: öğütme (milling) ekonomik sınır tenörü, f : sabit maliyet, F_i : fırsat (opportunity) maliyeti, yılda öğütülen beher ton malzeme (milled in Year i) için, P : fayda (\$), s : satış fiyatı (\$/ton), y : kazanma yüzdesi [recovery (%)].

Tablo 4.1: Algoritmada kullanılan notasyonlar

Notasyon	Açıklama	Birim
i	Yıl	--
N	İşletme ömrü	Yıl
P	Metal Fiyatı	\$/oz
s	Satış Maliyeti	\$/oz
m	Üretim (Mining) Maliyeti	\$/ton
r	Reklamasyon (Reclamation) Maliyeti	\$/ton
c	Cevher Zeng. (Processing; milling) Maliyeti	\$/ton cevher
f_a	Sabit Maliyetler	\$/yıl
f	Yıllık Sabit Maliyet	\$/ton
y	Geri Kazanım (Recovery)	%
d	Faiz Oranı (Discount Rate)	%
CC	Kapital Maliyetler	\$
M	Üretim (Mining) Kapasitesi	Ton/yıl
C	Öğütme (Milling) Kapasitesi	Ton/yıl
R	Rafineri (Refining) Kapasitesi	Ton/yıl
Q_m	Üretilen malzeme (Material Mined)	Ton/yıl
Q_c	İşlenen cevher (Ore Processed)	Ton/yıl
Q_r	Rafine edilen cevher (Concentrate Refined)	Ton/yıl

Fırsat maliyeti ise aşağıdaki ifade ile belirlenir:

$$F_i = \frac{dxNPV_i}{C} \quad (4.7)$$

$$f = \frac{f_a}{C}; \text{ Burada } f_a \text{ yıllık sabit maliyetleri ifade etmektedir.} \quad (4.8)$$

d faiz oranı (discount rate), NPV_i , N yıllık maden ömrü için, yıllık (i) gelecek nakit akışların NPV değerini ve C ise i . yıldaki toplam milling kapasitesini ifade etmektedir.

$g_m(i)$ ekonomik sınır tenörü, NPV_i değerine bağlıdır ve çoğunlukla NPV_i değeri optimum ekonomik sınır tenörüne karar verilmeden belirlenemez. Birbirine bağlı bu tür bir problemin çözümü iterasyon ile sağlanabilir. Bu çalışmada COG hesaplamalarında

algoritmayı çözmek için kullanılan Visual Basic arayüzlü Excel programı Başçetin ve Nieto tarafından geliştirilmiştir. K. Lane algoritmasına dayanan interaktif kullanımlı bu ekonomik sınır tenörü programı, madencilik uygulamalarında da yaygın olarak bilinen Excel tabanlı windowsda Visual Basic kullanılarak kodlanmıştır. Program özellikle Excel gibi çok yaygın bilinen ve kullanılan bir ortamda geliştirilerek işletmelerde çalışan maden mühendisleri tarafından kolaylıkla kullanımı amaçlanmıştır. Söz konusu algoritmadan ayrı olarak programa dahil edilen diğer önemli bir unsur ise programda bir optimizasyon faktörünün kullanılmasıdır. Karar verici mühendis(ler) programa gireceği bu katsayıyı değiştirerek optimum NPV değerini elde etmekte ve aynı zamanda ne kadar bir doğruluk yüzdesi elde edebileceğini görebilmektedir. Programın en önemli sağladığı diğer avantaj, işletme sırasında söz konusu olabilecek parametre değişikliklerinde, bu değişikliklerin programa girilerek çok hızlı bir şekilde iterasyon program tarafından yapıp yeni sonuçların görülebilmesidir (Başçetin ve Nieto, 2007).

Geliştirilen bu ekonomik sınır tenörü programı, nihai ekonomik sınır tenörü eşitliğinde (ultimate cutoff grade) Lane Algoritmasına optimizasyon faktörü dahil edilerek kullanılmaktadır. Bu tez çalışması kapsamında geliştirilen en önemli gelişme ise, kullanılan bu algoritmaya reklamasyon maliyetinin ilave edilerek yeni bir algoritma elde edilmiştir. Buna bağlı olarak COG hesaplamalarında daha gerçekçi bir sonuç elde edilmeye çalışılmıştır. Bu şartlarda yeni algoritma aşağıdaki ifade ile verilebilir (Eşitlik 4.10):

$$g_u(i) = \frac{c + m + f + F_i + \sigma}{(P - s)xy} \quad (\text{Başçetin ve Nieto, 2007}) \quad (4.9)$$

$$g_u(i) = \frac{c + m + r + f + F_i + \sigma}{(P - s)xy} \quad (4.10)$$

$g_u(i)$: g_{milling} : g_{proses} : i. yılda kullanılan ekonomik sınır tenörü

c : i. yıldaki öğütme yada cevher hazırlama maliyeti

m : işletme maliyetleri

σ : optimizasyon faktörü

r : reklamasyon maliyeti

f: f_a/C ; f_a yıllık sabit maliyetler, C i. yıldaki cevher hazırlama kapasitesi

F_i : $dxNPV/C$, F_i fırsat maliyeti, d faiz oranı

P : satış fiyatı

s : pazarlama maliyeti

y : kazanım yüzdesi (% , recovery)

Burada amaç, daha önce hesaba katılmamış üretim sonrası yapılmak zorunda olunan reklamasyonun algoritmaya dahil edilerek NPV değerini reklamasyon maliyeti altında daha fazla maksimize etmektir. Burada, σ optimizasyon faktörünü, m ise beher ton için üretim maliyetini (mining cost) ifade etmektedir. Program, NPV değerinin maksimizasyonunda genelleştirilmiş indirgenmiş gradient (Generalized Reduced Gradient-GRG) algoritması ile (σ) optimizasyon faktörünü de kullanarak problemi çözmektedir.

Birçok durumda lineer olmayan optimizasyonla ilişkili tipik zorluk lokal optimum çözümün bulunup, global optimum çözümün olmamasıdır. Lokal optimum komşu noktalar arasında en iyisi iken, global optimum olası bütün değerlerin en iyisidir. En güçlü non-lineer optimizasyon algoritmalarından biri GRG (*Generalized Reduced Gradient*) algoritma yöntemidir. GRG algoritması Lasdon ve arkadaşları (1978) tarafından geliştirilmiştir. Bu prosedürün gelişimi, eşitlik kısıtlamaları ile yazılan non-lineer optimizasyon problemi ile başlar. Generalized reduced gradient fikri, doğrudan yerine kullanma ile kısıtlamalı bir problemi kısıtlamasız bir değerine dönüştürmeye dayanır. Eğer doğrudan yerine kullanma mümkün olsaydı, $(n-m)$ bağımsız değişkenlerin sayısı azalacak ve kısıtlık eşitlikleri elimine olacaktı. Bununla birlikte; bu durum, non-lineer kısıtlık eşitlikleri ile m bağımsız değişken için, m adet kısıtlık eşitliğini çözmek fizibil değildir. Bu nedenle, kısıtlanmış değişim prosedürü ve klasik max.-min teorisinde Lagrange çarpanları gereklidir. Burada ekonomik model ve kısıtlama eşitlikleri Taylor serisi ile açıklanmıştır (Taylor, 1972).

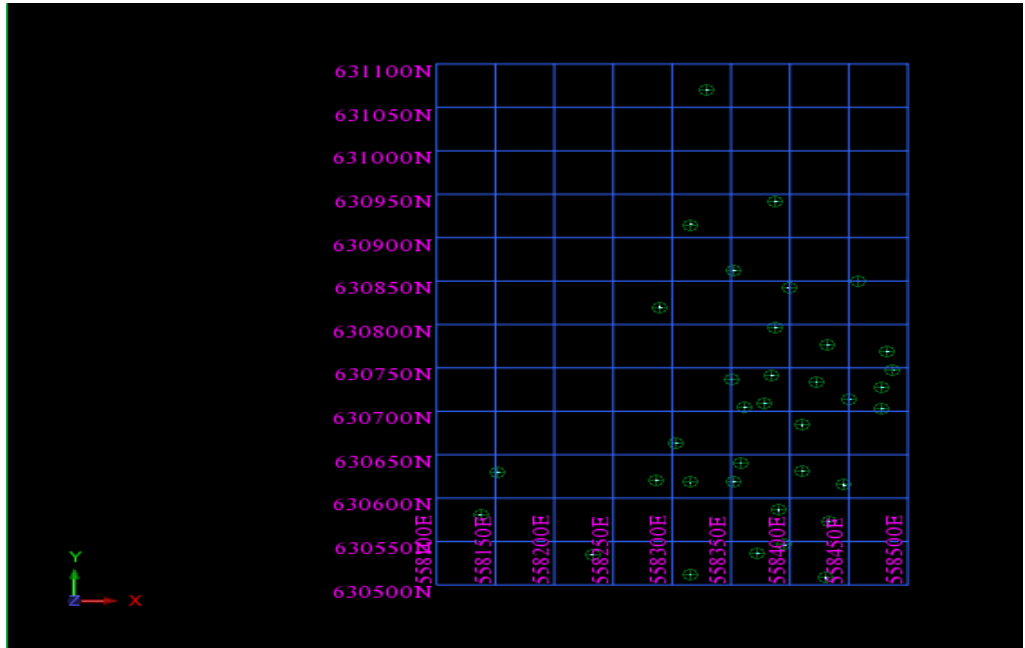
Bu çalışmada cutoff tenörü sırası ile üretilen cevher miktarı, işlenen ve rafine edilen cevher miktarı ile kısıtlanmaktadır. Elde edilecek fayda ise cutoff tenörüne bağlıdır. Bu nedenle bu problemin çözümü, verilen bir period için nihai olarak amaç fonksiyonunu (NPV) maksimize eden optimum cutoff tenörünün belirlenmesi ile sağlanabilir (Asad,

2005). Eşitlik 4.9'a ve Eşitlik 4.10'a göre algoritmadaki işlem adımları ise Lane algoritması işlem adımları ile aynı özelliğe sahiptir (Bölüm 4.5).

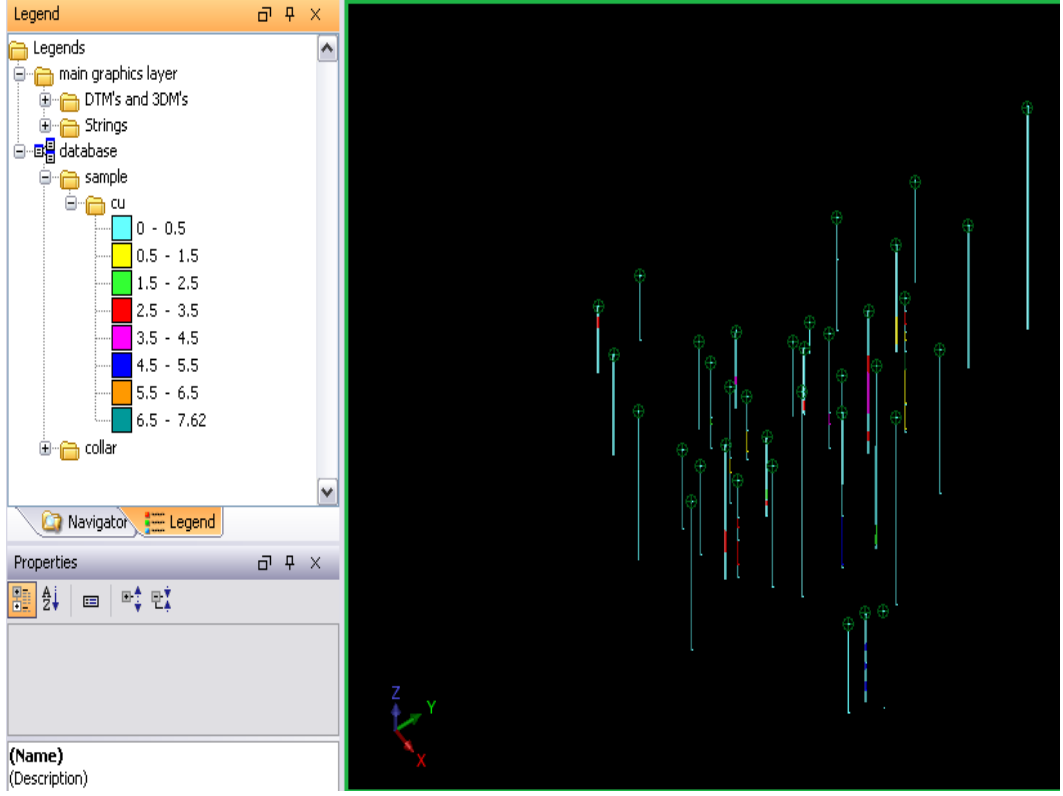
Bu algorithmda, maksimum NPV değerini bulmak için ilk önce optimizasyon faktörü kullanılmadan, daha sonra optimizasyon faktörü kullanılarak test edilmiştir.

5. BULGULAR

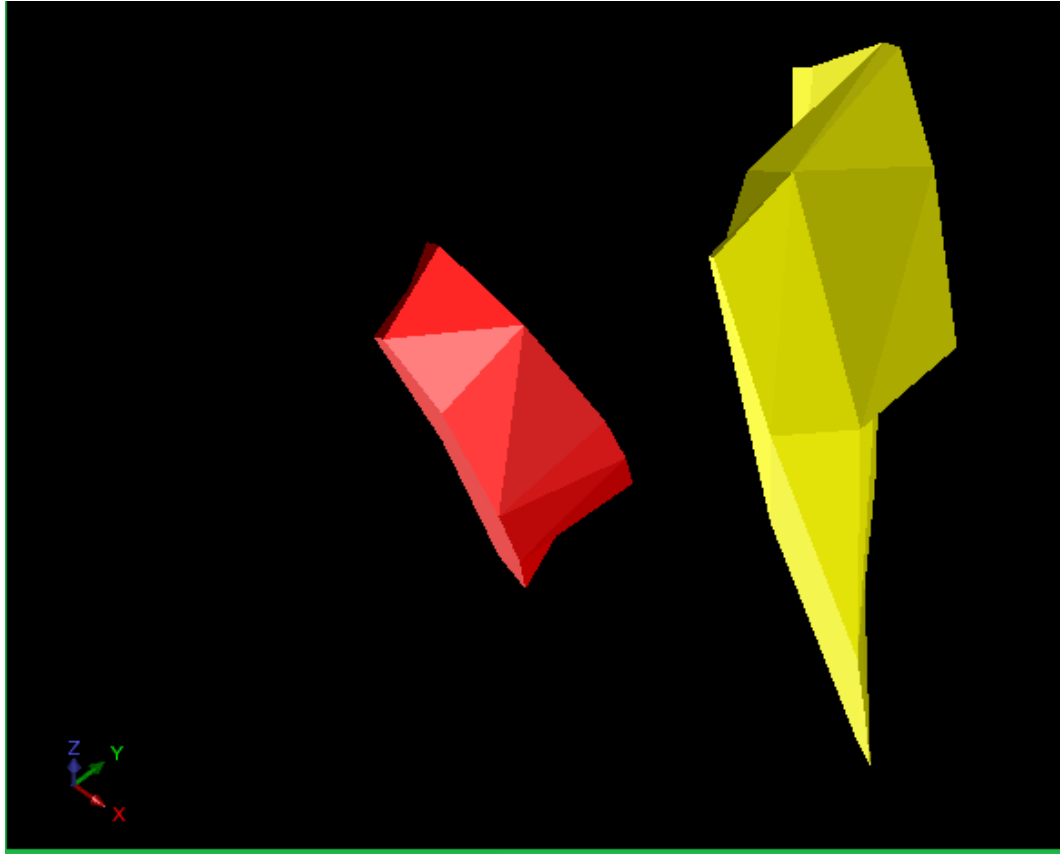
Bu çalışmada SURPAC 6.1 entegre madencilik yazılımından yararlanılarak, Bölüm 4'te kısaca tanımlanmış olan kesit yöntemi, DTM ve blok modelleme teknikleri kullanılarak Şekil 5.1'de coğrafik koordinatları ve sondaj lokasyonları verilen Kastamonu-Küre Bakır Havzası, Bakibaba Açık Ocak Bakır Madeni yatağı modellenerek incelenmiştir (Şekil 5.3, Şekil 5.4, Şekil 5.5 ve Şekil 5.6). Sahada Etibank ve K.B.İ. A.Ş. tarafından yapılmış olan 36 adet sondaj bulunmaktadır. Veritabanı oluşturan Collar, Survey, Assay ve Geology dosyaları sondaj loglarından faydalanılarak detaylı olarak hazırlanmıştır (Şekil 5.2 ve EK-1, EK-2, EK-3, EK-4). Böylece sahadaki bakır dağılımı ve özellikleri ile ilgili bütün ham veri ve analizleri içeren bir veritabanı hazırlanmıştır. Rezerv hesaplamaları cevherin kalınlık ve tenör içeriklerine bağlı olarak belirlenen değerlere göre sınıflandırılarak yapılmaktadır. Bu çalışmada, öncelikle ekonomik sınır tenör hesaplamalarında önemli bir etkiye sahip olan masif cevherin tenör-tonaj dağılımı belirlenmiştir. Hazırlanan veri tabanından yararlanılarak oluşturulan 3D model üzerinden rezerv hesabı yapılmıştır.



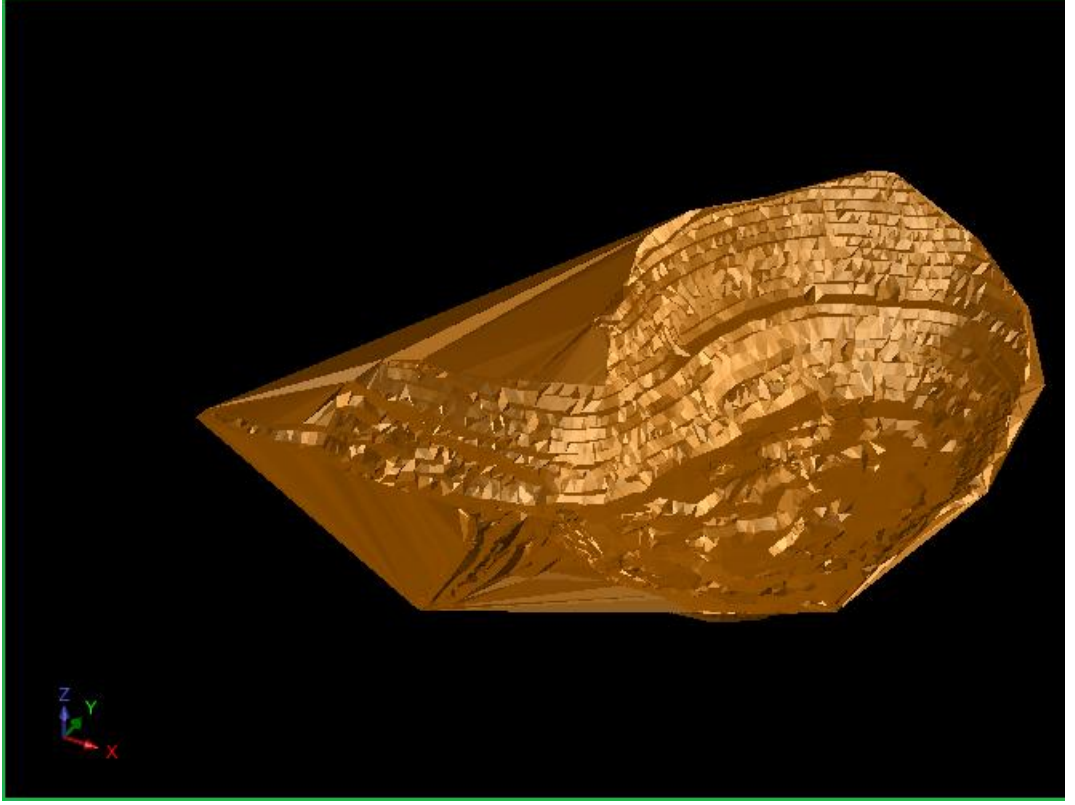
Şekil 5.1: Sondaj lokasyonları



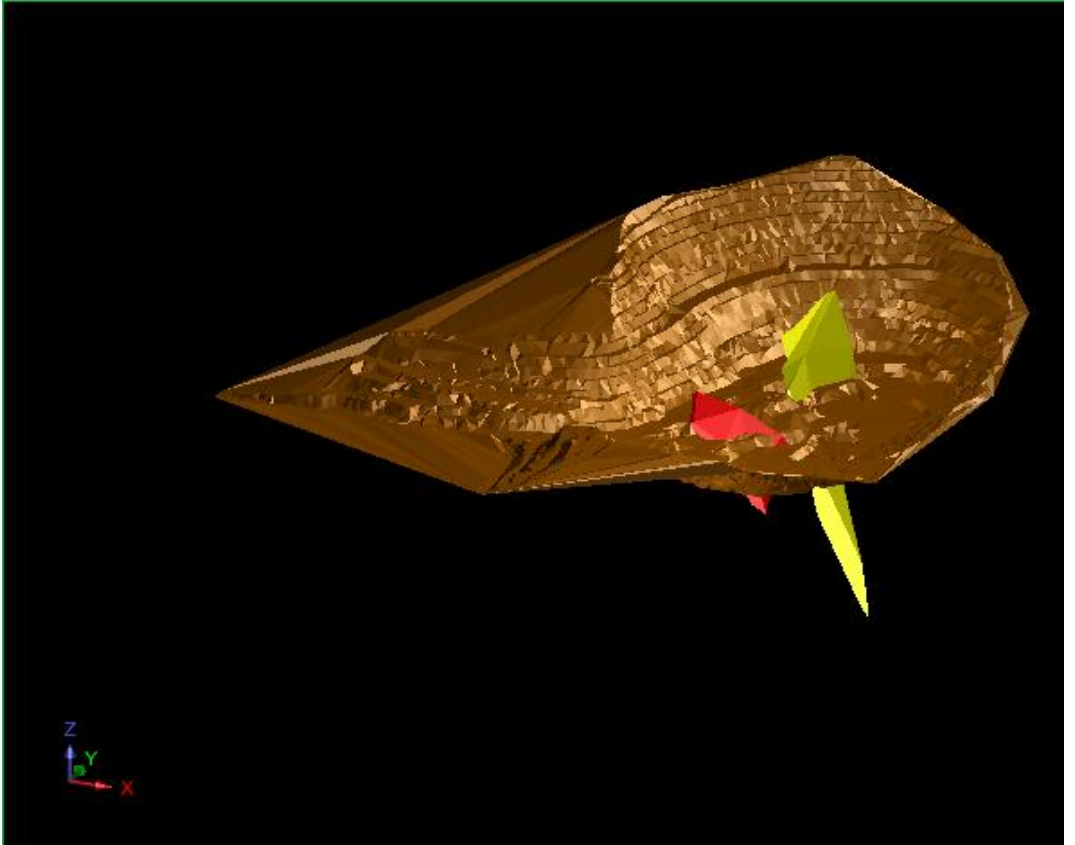
Şekil 5.2: 36 Sondajın jeolojik formasyonları ve tenör değerleri



Şekil 5.3: Bakır cevherinin 3D görünümü



Şekil 5.4: 2008 Bakibaba açık ocağı görünümü



Şekil 5.5: Cevher ve ocağın birlikte görünümü

5.1. BLOK MODELLEME İLE TENÖR-TONAJ DAĞILIMININ BELİRLENMESİ

Açık ocak planlamasında ilk adım jeolojik ve ekonomik blok modelin oluşturulması ile başlar. Bu çalışmada blok modelin kullanım amacı; cevher katı modelinin bloklara ayrılması ve blokların içerdiği tenör belirlenerek, yatağın tenör-tonaj dağılımının hesaplanabilmesidir.

Blok boyutları; sondajlar arası mesafeye, modelin amacına ve jeolojiye bağlı olarak değişmektedir. Heterojen yapıya sahip bir yatakta ve endüstriyel taleplere göre blok boyutlarını küçük tutup en iyi harmanlamayı sağlayabiliriz. Sondajlar arası mesafede sondajlar arasında bir düzen varsa; örneğin karelej sisteminde yapıldıysa sondajlar arası mesafenin $\frac{1}{4}$ 'i istatistiksel olarak yeterli görülmektedir (Ergin, Kirmanlı ve Erdoğan, 1998). Fakat sondajlar düzensiz yapılmışsa basamak yüksekliği temel alınarak hesaplamada kolaylık sağlaması amacıyla 1'e 1 oranından $A \times A \times A$ olarak bloğun bütün eksenlerini aynı ölçüde alabiliriz. Bu çalışmada, blok boyutları 10x10x10 m olarak alınmıştır. Sahanın büyük olması sebebiyle blok modellemede yaklaşık 27504 blok oluşmuştur. Kriking yöntemi ile gerçeğe daha yakın sonuçlar elde edilebildiği bilinmekle birlikte (Rendu ve Marhieson, 1990) uygulaması oldukça karmaşık ve zaman alıcıdır. Bu nedenle tez kapsamında bloklara değer atanmasında en yakın komşu (nearest neighbors method, NN) yöntemi ve uzaklığın tersi (İD) kullanılmıştır.

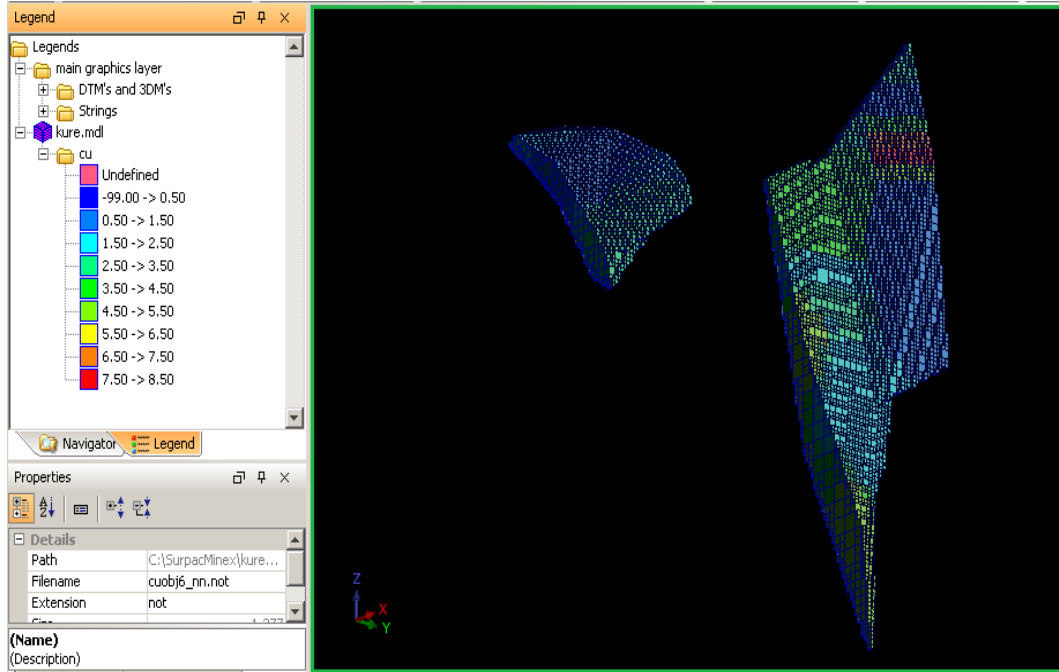
Böylece iki yöntem ile elde edilen sonuçlar karşılaştırılarak hata payı minimize edilmeye çalışılmıştır. Ayrıca farklı tahmin yöntemlerinin tenör-tonaj dağılımında, ekonomik sınır tenör ve NPV üzerinde nasıl bir değişim yaratacağı incelenmiştir. Elde edilen tenör-tonaj dağılımı Tablo 5.1 ve Tablo 5.2'de verilmiştir.

Tablo 5.1: Masif cevherinin en yakın komşu yaklaşımına göre tenör-tonaj dağılımı

Tenör Aralığı	Hacim (m ³)	Kütle (ton)	Ort. Tenör (%Cu)
0.0 – 0.5	0	0	0.00
0.5 – 1.0	202016	808062,5	0.63
1.0 – 1.5	60375	241500	1.30
1.5 – 2.0	16359	65437,5	1.74
2.0 – 2.5	102512	410062,5	2.09
2.5 – 3.0	77953	311812,5	2.58
3.0 – 3.5	37547	150187,5	3.13
3.5 – 4.0	3750	15000	3.66
4.0 – 4.5	87203	348812,5	4.27
4.5 – 5.0	21469	85875	4.98
5.0 – 5.5	23719	94875	5.14
5.5 – 6.0	0	0	0.00
6.0 – 6.5	0	0	0.00
6.5 – 7.0	0	0	0.00
7.0 – 7.5	0	0	0.00
7.5 – 8.0	44688	178750	7.62
8.0 – 8.5	0	0	0.00
Toplam	677594	2710375	2.54

Tablo 5.2: Masif cevherinin uzaklığın tersi yaklaşımına göre tenör-tonaj dağılımı

Tenör Aralığı	Hacim (m ³)	Kütle (ton)	Ort. Tenör (%Cu)
0.0 – 0.5	4625	18500	0.49
0.5 – 1.0	193156	772625	0.63
1.0 – 1.5	63781	255125	1.29
1.5 – 2.0	58000	232000	1.81
2.0 – 2.5	95813	383250	2.23
2.5 – 3.0	59719	238875	2.66
3.0 – 3.5	21125	84500	3.28
3.5 – 4.0	45063	180250	3.85
4.0 – 4.5	62313	249250	4.24
4.5 – 5.0	44016	176062,5	4.85
5.0 – 5.5	7625	30500	5.06
5.5 – 6.0	0	0	0.00
6.0 – 6.5	0	0	0.00
6.5 – 7.0	0	0	0.00
7.0 – 7.5	10516	42062,5	7.02
7.5 – 8.0	11844	47375	7.62
8.0 – 8.5	0.0	0	0.00
Toplam	677594	2710375	2.37



Şekil 5.6: Bloklara ayrılmış 3DM cevherin görünümü

5.2. EKONOMİK SINIR TENÖR (COG) OPTİMİZASYONU

Başçetin ve Nieto (2007) tarafından geliştirilen ekonomik sınır tenör (COG) programı, geleneksel ekonomik sınır tenörü eşitliğinde (ultimate cutoff grade) Lane Algoritmasına optimizasyon faktörü dahil edilerek kullanılmıştır. Bu tez çalışmasında daha önce literatürde yer almayan üretim sonrası yapılacak reklamasyon maliyetleri dikkate alınarak COG ve NPV üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Bu şartlarda geliştirilen yeni algoritma eşitlik 4.10'da verilmiştir.

Ayrıca cevherin farklı fiyat ve farklı reklamasyon maliyetleri kullanılarak oluşturulan farklı senaryolarla bu parametrelerin COG ve NPV üzerindeki etkileri de araştırılmıştır. En yakın komşu yaklaşımıyla bu farklı satış fiyatları ve farklı reklamasyon maliyetleri Senaryo A ve Senaryo B'de uygulanmıştır. Uzaklığın tersi yaklaşımında bulunan değerlerle de benzer şekilde Senaryo A ve Senaryo B'deki gibi denenmiştir. Ancak en yakın komşu yaklaşımındaki COG ve NPV üzerindeki etkileri aynı oranda olduğu görüldüğü için, yalnızca 230 \$/oz bakır fiyatı ile 5 \$/ton reklamasyon maliyeti Senaryo C ve Senaryo D'de gösterilmiştir.

Bu senaryolar şunlardır;

- *Senaryo A* : En yakın komşu (nearest neighbour-NN) yaklaşımıyla bulunan tenör-tonaj dağılımındaki verilerin eşitlik 4.9'a göre uygulandığı algoritmaya denir.
- *Senaryo A-I* : 230 \$/oz bakır fiyatının Senaryo A'da uygulanmasıdır.
- *Senaryo A-II* : 150 \$/oz bakır fiyatının Senaryo A'da uygulanmasıdır.
- *Senaryo A-III* : 90 \$/oz bakır fiyatının Senaryo A'da uygulanmasıdır.

- *Senaryo B* : En yakın komşu (nearest neighbour-NN) yaklaşımıyla bulunan tenör-tonaj dağılımındaki verilerin ve reklamasyon maliyetinin eşitlik 4.10'a göre uygulandığı algoritmaya denir.
- *Senaryo B-I* : Reklamasyon maliyeti 5 \$/ton ve 230 \$/oz bakır fiyatının Senaryo B'de uygulanmasıdır.
- *Senaryo B-II* : Reklamasyon maliyeti 5 \$/ton ve 150 \$/oz bakır fiyatının Senaryo B'de uygulanmasıdır.
- *Senaryo B-III* : Reklamasyon maliyeti 5 \$/ton ve 90 \$/oz bakır fiyatının Senaryo B'de uygulanmasıdır.
- *Senaryo B-IV* : Reklamasyon maliyeti 10 \$/ton ve 230 \$/oz bakır fiyatının Senaryo B'de uygulanmasıdır.
- *Senaryo B-V* : Reklamasyon maliyeti 10 \$/ton ve 150 \$/oz bakır fiyatının Senaryo B'de uygulanmasıdır.
- *Senaryo B-VI* : Reklamasyon maliyeti 10 \$/ton ve 90 \$/oz bakır fiyatının Senaryo B'de uygulanmasıdır.
- *Senaryo B-VII* : Reklamasyon maliyeti 20 \$/ton ve 230 \$/oz bakır fiyatının Senaryo B'de uygulanmasıdır.
- *Senaryo B-VIII* : Reklamasyon maliyeti 20 \$/ton ve 150 \$/oz bakır fiyatının Senaryo B'de uygulanmasıdır.
- *Senaryo B-IX* : Reklamasyon maliyeti 20 \$/ton ve 90 \$/oz bakır fiyatının Senaryo B'de uygulanmasıdır.

- ✓ *Senaryo C* : Uzaklığın tersi (inverse distance-ID) yaklaşımıyla bulunan tenör-tonaj dağılımındaki verilerin ve 230 \$/oz bakır fiyatının eşitlik 4.9'a göre uygulandığı algoritmaya denir.

- ✓ *Senaryo D* : Uzaklığın tersi (inverse distance-ID) yaklaşımıyla bulunan tenör-tonaj dağılımındaki verilerin ve 5 \$/ton reklamasyon maliyeti ile 230 \$/oz bakır fiyatının eşitlik 4.10'a göre uygulandığı algoritmaya denir.

Hesaplamalara 230 \$/oz, 150 \$/oz ve 90 \$/oz bakır fiyatları dahil edilmiştir. Ayrıca bölgesel farklılıklara ve özelliklere göre değişiklikler gösteren reklamasyon maliyetide 5-10-20 \$/ton olarak alınmıştır (Google, 2009). Böylece farklı fiyat aralıklarına göre COG değişimini görmek ve değerlendirmek olanağı elde edilmiştir.

Bölüm 5.1'de anlatılan tenör-tonaj dağılımının sınıflandırma işlemi için, sınıf sayısı ya da sınıf aralıklarının uygun bir şekilde seçilmesi gerekir. Perillo ve Marone (1986) göre sınıf sayısı 8 ile 19 arasında olmalıdır. Sınıf sayısı ve sınıf aralığının tespitinde birkaç yol izlenebilir. Verilerin normal dağılım gösterdiği durumlar için;

- a) Veri sayısının karekökü alınarak sınıf sayısı,
- b) Sınıf aralığı = (en büyük değer – en küçük değer) / (1+ 3.322 log n) formülünden sınıf aralığı bulunabilir. Bu formülde n = veri sayısıdır.

Normal dağılım göstermeyen veriler için, sınıf aralığı veya sınıf sayısı:

Log sınıf aralığı = log (en büyük değer – en küçük değer) / sınıf sayısı şeklinde bulunabilir. Bu formülde sınıf aralığı girilerek sınıf sayısı veya sınıf sayısı girilerek, sınıf aralığı bulunur. Genel olarak birinci durum tercih edilir ve logaritmik sınıf aralıkları bu durumda genellikle 0.1 ile 0.5 arasında alınarak sınıf sayısı bulunur. (Tüysüz ve Yaylalı, 2005)

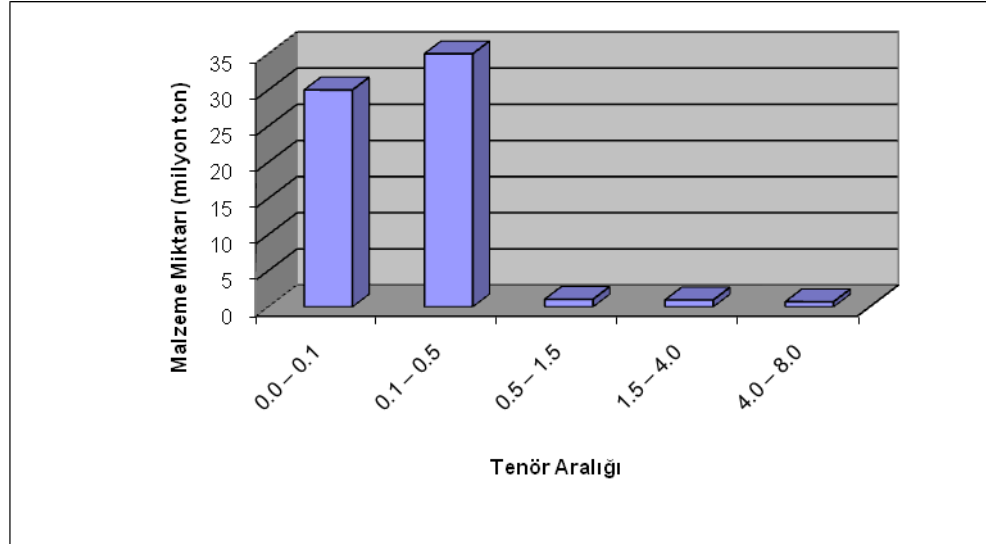
İşletme raporlarında örtü kazı oranı 1 ton cevher için 23,86 m³ dekapaj hacmi civarında tespit edilmiştir (Eti Bakır, 2007). Bu veriler doğrultusunda içinde 0 ile 0,5 tenör aralığına sahip saçınımlı cevherinde bulunduğu örtü oranı yaklaşık 65 milyon ton olduğundan, bu örtü oranı masif cevherin 0-0,5 tenör-tonaj aralığına Excel hesaplamalarında dahil edilmiştir.

5.2.1.En Yakın Komşu Yaklaşımına (NN) Göre COG Hesaplamaları

En yakın komşu (nearest neighbour-NN) yaklaşımıyla bulunan bu değerlerdeki ortalama tenöre göre excelde yapılan COG değerleri Tablo 5.3 ve Şekil 5.7 verilmiştir.

Tablo 5.3: NN yaklaşımına göre hesaplamalarda kullanılan ortalama tenör-tonajları

Tenör Aralığı	Ort. Tenör	Ton (000)
0	0,5	0,0500
0,5	1	0,6300
1	1,5	1,3000
1,5	2	1,7400
2	2,5	2,0900
2,5	3	2,5800
3	3,5	3,1300
3,5	4	3,6600
4	4,5	4,2700
4,5	5	4,9800
5	5,5	5,1400
5,5	6	5,8400
6	7,5	7,0000
7,5	8	7,6200
Toplam		67710,375



Şekil 5.7: NN yaklaşımına göre yatağın tenör-tonaj dağılımı

Pratik uygulamalarda tenör-tonaj dağılımlarının doğruluğunu test etmek için temel istatistiksel hesaplamaların yapılması zorunludur. Ancak bu çalışmanın amacı doğrultusunda daha önce bahsedilen istatistiksel çalışmaya yer verilmemiştir. Ayrıca

elde edilen sonuçlar işletmedeki rezerv hesaplamaları ve örtü kazı oranları ile de karşılaştırıldığında anormal bir sonuç görülmemiştir.

Bu çalışmada geliştirilen yeni algoritma optimizasyon faktörü (iteratif algoritma), geleneksel COG ve Lane algoritması ile kıyaslanarak test edilmiştir. Hesaplamalarda kullanılan dizayn parametreleri ise Tablo 5.4’de verilmiştir.

Tablo 5.4: Maden Dizayn Parametreleri

Parametreler	Değerler	
Fiyat	230;150;90	\$/oz
Satış Maliyeti	0,43	\$/oz
Cevher Hazırlama Maliyeti	22	\$/ton
İşletme Maliyeti	3,85	\$/ton
Reklamasyon Maliyeti	5;10;20	\$/ton
Kapital Maliyetler	\$ 45 M	
Sabit Maliyetler (f_a)	\$ 11,3	M/yıl
Sabit Maliyet (f)	12,15	\$/ton
İşletme Kapasitesi	--	
Mil Kapasitesi	0,93 M	ton
Faiz oranı	18	%
Kazanım yüzdesi	95	%

*Fiyat ve Reklamasyon Maliyeti parametrelerindeki değerler algoritmada ayrı ayrı uygulanmıştır.

5.2.1.1. Senaryo A’ya Göre COG Hesaplamaları

En yakın komşu (nearest neighbour-NN) yaklaşımıyla bulunan tenör-tonaj dağılımındaki verilerin ve Tablo 5.4’teki maden dizaynı parametrelerinin eşitlik 4.9’a göre iterasyon algoritması için kullanılmasıdır. Burada sırasıyla 230 \$/oz, 150 \$/oz ve 90 \$/oz bakır fiyatları Senaryo A-I, Senaryo A-II ve Senaryo A-III adıyla gerçekleştirilmiştir.

- Senaryo A-I:

NN yaklaşımıyla bulunan bu değerlerdeki ortalama tenöre göre bakır fiyatı 230 \$/oz olduğunda excelde yapılan COG hesaplamalarından elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir. Geleneksel COG formülü ile yapılan hesaplamalara göre (Tablo 5.5) \$370 milyon NPV ve \$2.204 milyon fayda elde edilmektedir (Eşitlik 5.1).

$$\text{Geleneksel COG} = \frac{\text{Proses Maliyeti} + \text{Üretim Maliyeti}}{(\text{Fiyat} - \text{Satış Maliyeti}) \times \text{Geri Kazanım}} \quad (5.1)$$

Tablo 5.5: Senaryo A-I'nin Geleneksel COG Sonuçları

Yıl	Toplam (atık+ cevher)	Toplam üretim, t	Toplam konsantre, t	Toplam rafineri, t	Fayda, \$	Yıllık NPV, \$	Optimum COG (oz/ton)
1	67.710.375	1.744.864	930.000	413.824	56.523.738	56.523.738	0,119
2	65.965.511	1.744.864	930.000	413.824	56.523.738	47.901.473	0,119
3	64.220.647	1.744.864	930.000	413.824	56.523.738	40.594.469	0,119
4	62.475.782	1.744.864	930.000	413.824	56.523.738	34.402.092	0,119
5	60.730.918	1.744.864	930.000	413.824	56.523.738	29.154.315	0,119
6	58.986.054	1.744.864	930.000	413.824	56.523.738	24.707.047	0,119
7	57.241.190	1.744.864	930.000	413.824	56.523.738	20.938.175	0,119
8	55.496.325	1.744.864	930.000	413.824	56.523.738	17.744.216	0,119
9	53.751.461	1.744.864	930.000	413.824	56.523.738	15.037.471	0,119
10	52.006.597	1.744.864	930.000	413.824	56.523.738	12.743.620	0,119
11	50.261.733	1.744.864	930.000	413.824	56.523.738	10.799.678	0,119
12	48.516.868	1.744.864	930.000	413.824	56.523.738	9.152.269	0,119
13	46.772.004	1.744.864	930.000	413.824	56.523.738	7.756.161	0,119
14	45.027.140	1.744.864	930.000	413.824	56.523.738	6.573.017	0,119
15	43.282.276	1.744.864	930.000	413.824	56.523.738	5.570.354	0,119
16	41.537.411	1.744.864	930.000	413.824	56.523.738	4.720.639	0,119
17	39.792.547	1.744.864	930.000	413.824	56.523.738	4.000.541	0,119
18	38.047.683	1.744.864	930.000	413.824	56.523.738	3.390.289	0,119
19	36.302.819	1.744.864	930.000	413.824	56.523.738	2.873.126	0,119
20	34.557.955	1.744.864	930.000	413.824	56.523.738	2.434.853	0,119
21	32.813.090	1.744.864	930.000	413.824	56.523.738	2.063.435	0,119
22	31.068.226	1.744.864	930.000	413.824	56.523.738	1.748.673	0,119
23	29.323.362	1.744.864	930.000	413.824	56.523.738	1.481.927	0,119
24	27.578.498	1.744.864	930.000	413.824	56.523.738	1.255.870	0,119
25	25.833.633	1.744.864	930.000	413.824	56.523.738	1.064.297	0,119
26	24.088.769	1.744.864	930.000	413.824	56.523.738	901.946	0,119
27	22.343.905	1.744.864	930.000	413.824	56.523.738	764.361	0,119
28	20.599.041	1.744.864	930.000	413.824	56.523.738	647.764	0,119
29	18.854.176	1.744.864	930.000	413.824	56.523.738	548.952	0,119
30	17.109.312	1.744.864	930.000	413.824	56.523.738	465.214	0,119
31	15.364.448	1.744.864	930.000	413.824	56.523.738	394.249	0,119
32	13.619.584	1.744.864	930.000	413.824	56.523.738	334.109	0,119
33	11.874.719	1.744.864	930.000	413.824	56.523.738	283.144	0,119
34	10.129.855	1.744.864	930.000	413.824	56.523.738	239.952	0,119
35	8.384.991	1.744.864	930.000	413.824	56.523.738	203.349	0,119
36	6.640.127	1.744.864	930.000	413.824	56.523.738	172.330	0,119
37	4.895.263	1.744.864	930.000	413.824	56.523.738	146.042	0,119
38	3.150.398	1.744.864	930.000	413.824	56.523.738	123.765	0,119
39	1.405.534	1.744.864	930.000	413.824	56.523.738	104.885	0,119
Toplam		68.049.705			2.204.425.787	369.961.809	

Tablo 5.6 yatırım ve fırsat maliyetini kullanan Lane algoritmasına dayalı sonuçları göstermektedir. Tablo 5.6’da uygulanan $g_u(i)=c+m+f+Fi / (P-s)*y$ formülünde üretim maliyeti kullanılırken optimizasyon faktörü (σ) olmadan COG hesaplanmış ve yıllara göre değer almıştır. Bu değerlerin sonucu \$890 milyon NPV, \$1.431 milyon fayda ve 13 yıl işletme ömrü elde edilmiştir (Tablo 5.6).

Tablo 5.6: Senaryo A-I’in Lane algoritması ile COG politikası

Yıl	Toplam (atık+ cevher)	Toplam üretim, t	Toplam konsantre, t	Toplam rafineri, t	Fayda, \$	Yıllık NPV, \$	Optimum COG (oz/ton)
1	67.710.375	23.301.833	930.000	2.250.989	395.287.461	395.287.461	0,503
2	44.408.542	9.159.603	930.000	1.046.032	173.113.001	146.705.933	0,452
3	35.248.939	5.943.699	930.000	771.832	122.546.174	88.010.754	0,410
4	29.305.240	4.580.747	930.000	655.621	101.115.129	61.541.789	0,374
5	24.724.493	3.835.409	930.000	592.071	89.395.439	46.109.173	0,343
6	20.889.085	3.370.630	930.000	552.442	82.087.265	35.881.100	0,317
7	17.518.455	3.056.718	930.000	525.677	77.151.317	28.579.281	0,296
8	14.461.737	2.833.114	930.000	506.612	73.635.376	23.115.988	0,277
9	11.628.623	2.667.734	930.000	492.511	71.034.936	18.898.004	0,261
10	8.960.889	2.541.983	930.000	481.789	69.057.633	15.569.463	0,248
11	6.418.906	2.444.338	930.000	473.463	67.522.273	12.901.107	0,237
12	3.974.568	2.367.276	930.000	466.893	66.310.547	10.736.940	0,227
13	1.607.292	2.305.674	648.306	321.811	42.861.257	5.881.401	0,219
Toplam		68.408.757			1.431.117.808	889.218.395	

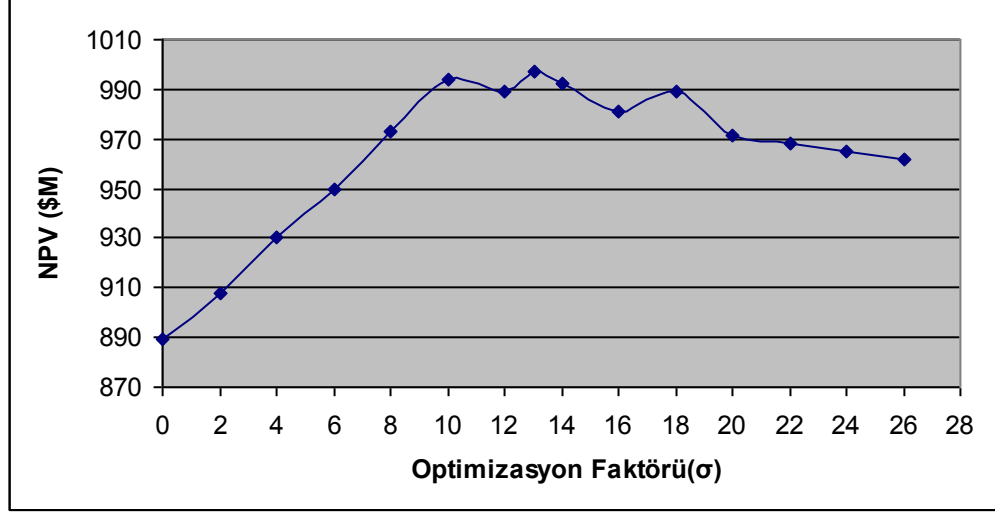
Tablo 5.6’nın iterasyonu ile optimizasyon faktörü kullanılarak belirlenen bu optimum yaklaşım \$997 milyon NPV ve \$1.175 milyon fayda ve 4 yıl işletme ömrü vermektedir (Tablo 5.7).

Tablo 5.7: Optimizasyon faktörü (σ) kullanılarak Senaryo A-I’in COG politikası

Yıl	Toplam (atık+ cevher)	Toplam üretim, t	Toplam konsantre, t	Toplam rafineri, t	Fayda, \$	Yıllık NPV, \$	Optimum COG (oz/ton)
1	67.710.375	25.021.321	930.000	2.376.021	417.371.014	417.371.014	0,562
2	42.689.054	23.561.726	930.000	2.269.887	398.625.293	337.818.045	0,512
3	19.127.328	11.734.978	930.000	1.265.618	213.608.168	153.410.061	0,470
4	7.392.350	7.392.352	930.000	895.349	145.324.723	88.449.113	0,434
Toplam		67.710.377			1.174.929.198	997.048.232	

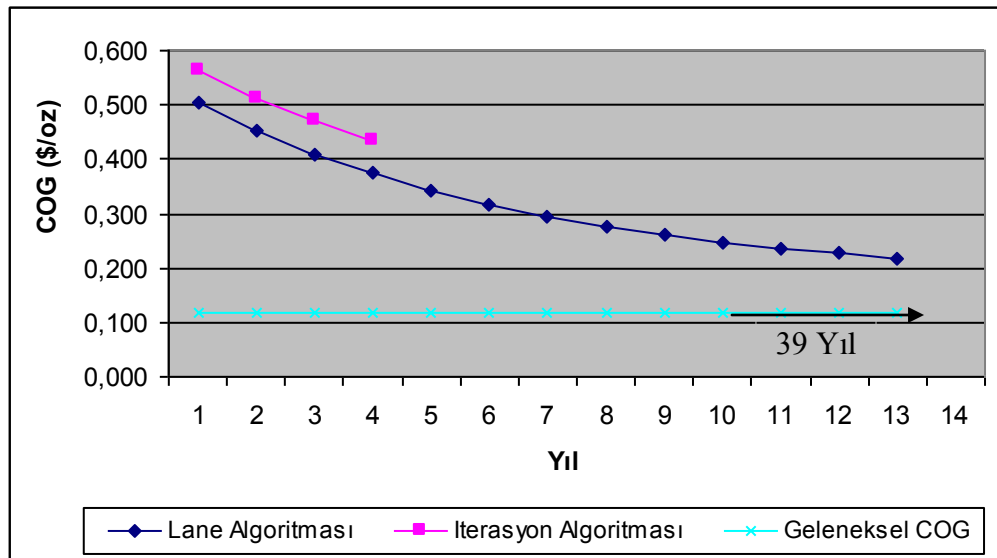
Sonraki aşamada ise İterasyon Algoritması’nda uygulanan $g_u(i)=c+m+f+Fi+\sigma / (P-s)*y$ formülü ile optimum COG yaklaşımı kullanılmış ve optimizasyon faktörü (σ)

bulunmuştur. Buradaki optimizasyon faktörü yıllara göre değişmemekle birlikte maksimum NPV için 13,03 olarak hesaplanmıştır (Şekil 5.8).



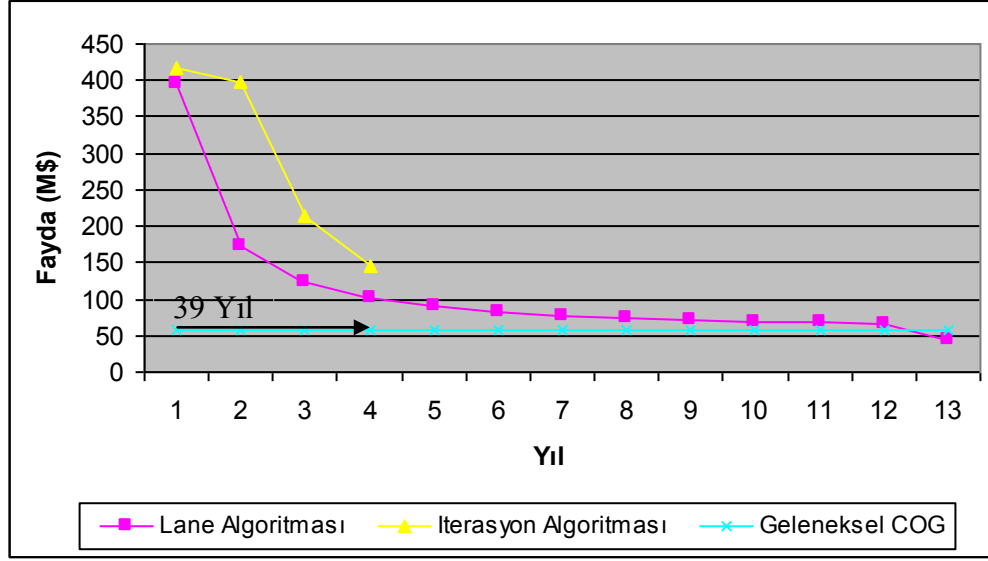
Şekil 5.8: Senaryo A-I'in farklı optimizasyon faktörleri (σ) ve toplam NPV değerlerinin analizi

Geleneksel COG hesaplamalarında toplam 39 yıl işletme ömrü boyunca ekonomik sınır tenör sabit kalarak 0,119 oz/ton, Lane algoritmasıyla işletme ömrü 13 yıla düşerken COG 0,503 oz/ton'a kadar yükselmiştir. En yüksek NPV iterasyon algoritmasıyla Excel programında hesaplanması sonucu COG 0,562 oz/ton ile 0,434 oz/ton arasında değişmiş, işletme ömrü 4 yıla inmiştir (Şekil 5.9.a).



Şekil 5.9.a: Senaryo A-I'in COG dağılımları

Geleneksel COG'de toplam NPV \$370 milyon, Lane algoritmasıyla toplam NPV \$890 milyona ve iterasyon algoritmasıyla da toplam NPV \$997 milyona maksimize edilmiştir. İterasyon algoritmasında ilk yıl fayda \$417.371.014'ten 4 yıl sonra \$145.324.723'e, Lane algoritmasında ilk yıl \$395.287.461'den \$42.861.257'a azalmış ve Geleneksel COG'da \$56.523.738 olarak sabit kalmıştır (Şekil 5.9.b).



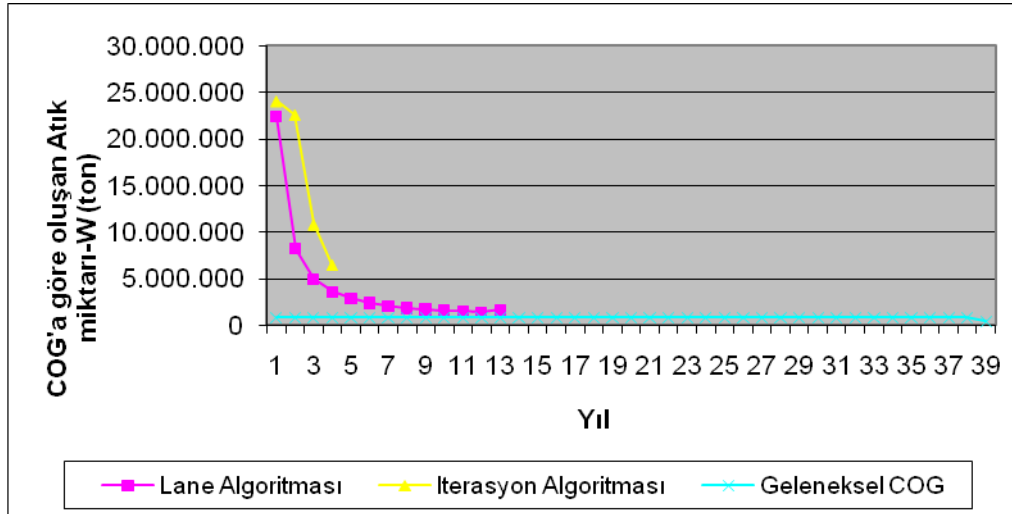
Şekil 5.9.b: Senaryo A-I'in Fayda dağılımları

Tenör-tonaj dağılımları sonrası yapılan iterasyonlara göre elde edilen COG baz alınarak üretimin bir kısmı atık olarak (COG'in altı), diğer bir kısmı ise (COG'un üstü) cevher hazırlama tesisine gönderilecek ürün olarak değerlendirilmektedir (Lane, K.F., 1988).

Bu değerlendirme ışığında tez çalışması kapsamında, üretim sırasında doğrudan atık sahasına gönderilen malzeme miktarında hesaplanmıştır. Buna göre Lane algoritmasında toplam üretilen 68.408.757 ton malzeme miktarının 56.600.452 ton'u, İterasyon algoritmasında 67.710.377 ton üretilen malzemenin 63.990.377 ton'u ve Geleneksel COG'in toplamdaki 68.049.705 ton malzemenin 31.779.705 ton'u atık olarak değerlendirilmektedir. İlk yıl Lane ve İterasyon Algoritmalarındaki atık miktarları birbirine yakın olmasına rağmen ikinci yıl yaklaşık 12 milyon ton atık malzemenin Lane göre İterasyon Algoritmasında fazla olduğu görülmektedir (Tablo 5.8, Şekil 5.10).

Tablo 5.8: Senaryo A-I'in COG'a göre oluşan Atık miktarlarının (W) sonuçları

Yıl	Geleneksel COG	Lane Algoritması	İterasyon Algoritması
0	814.864	22.371.833	24.091.321
1	814.864	8.229.603	22.631.726
2	814.864	5.013.699	10.804.978
3	814.864	3.650.747	6.462.352
4	814.864	2.905.409	-
5	814.864	2.440.630	-
6	814.864	2.126.718	-
7	814.864	1.903.114	-
8	814.864	1.737.734	-
9	814.864	1.611.983	-
10	814.864	1.514.338	-
11	814.864	1.437.276	-
12	814.864	1.657.368	-
13-38	814.864	-	-
Toplam	31.779.705	56.600.452	63.990.377

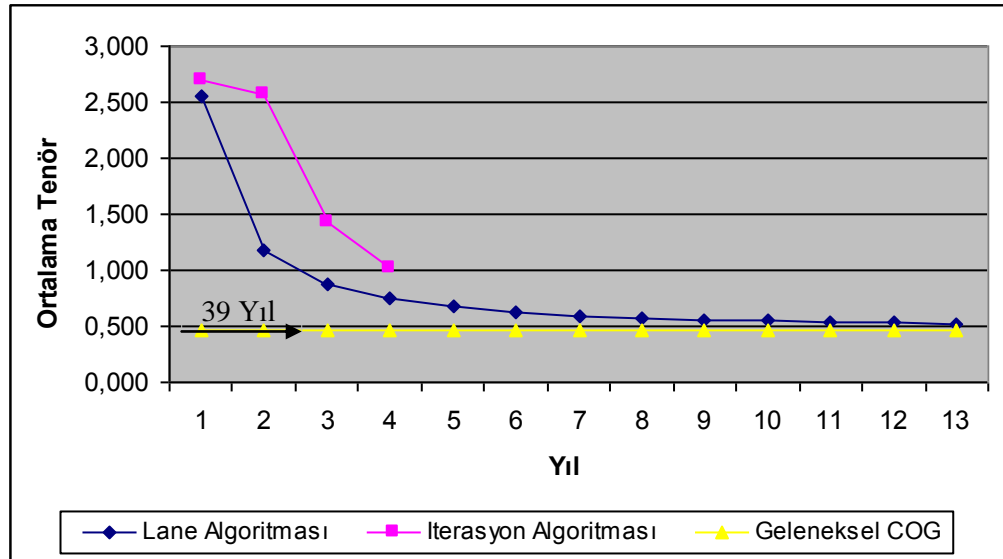


Şekil 5.10: Senaryo A-I'in COG'a göre oluşan Atık miktarlarının (W) yıllara göre dağılımları

Geleneksel COG hesaplamalarında işletme ömrü boyunca değişmeyen 0,468 ortalama tenör vardır. Buna karşın Lane Algoritması ilk yıl 2,548 ortalama tenörle başlarken, son yıllara doğru Geleneksel COG ortalama tenörüne yaklaşmıştır. İterasyon Algoritması'nın ise, en yüksek kazanca ulaşabilmek için 4 yıllık işletme ömrü boyunca diğer algoritmalara göre ortalama tenörü yüksektir (Tablo 5.9, Şekil 5.11).

Tablo 5.9: Senaryo A-I'in Ortalama Tenör sonuçları

Yıl	Geleneksel COG	Lane Algoritması	İterasyon Algoritması
0	0,468	2,548	2,689
1	0,468	1,184	2,569
2	0,468	0,874	1,433
3	0,468	0,742	1,013
4	0,468	0,670	-
5	0,468	0,625	-
6	0,468	0,595	-
7	0,468	0,573	-
8	0,468	0,557	-
9	0,468	0,545	-
10	0,468	0,536	-
11	0,468	0,528	-
12	0,468	0,523	-
13-38	0,468	-	-
Ort.	0,468	0,808	1,926



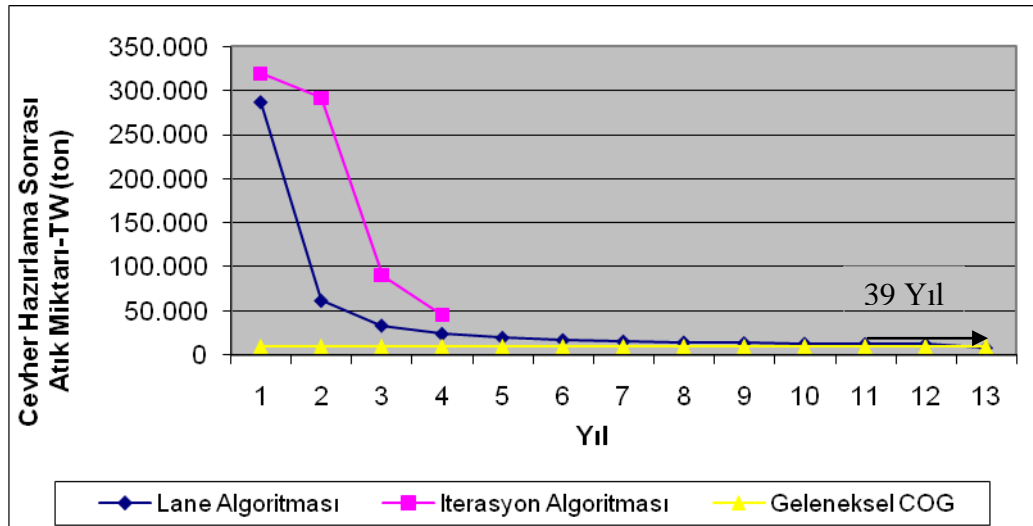
Şekil 5.11: Senaryo A-I'in Ortalama Tenörlerin karşılaştırılması

Şekil 3.3'de görülen akım şeması dikkate alındığında Cevher Hazırlama tesisi atıkları (TW) atık barajında toplanmaktadır. Bu çalışmada oluşturulan farklı senaryolar içerisinde oluşacak atık miktarlarında araştırılmıştır. Bu konu özellikle çevresel açıdan önemlidir ve bir maden projesinin ekonomik, teknik ve çevresel parametrelerini birbirleri ile olan ilişkilerinin belirlenmesinde de bir yol haritası oluşturacaktır. Bu çalışmada her üç yaklaşıma göre de cevher hazırlama sonrası atık miktarları

hesaplanmıştır. Buna göre Geleneksel COG'de toplam 377.971 ton, Lane Algoritması'nda 534.286 ton ve İterasyon Algoritması'nda 747.102 ton atık oluşmaktadır (Tablo 5.10, Şekil 5.12).

Tablo 5.10: Senaryo A-I'in Cevher Hazırlama Sonrası Atık (TW) Sonuçları

Yıl	Geleneksel COG	Lane Algoritması	İterasyon Algoritması
0	9.692	286.754	319.495
1	9.692	61.923	291.590
2	9.692	33.714	90.650
3	9.692	24.326	45.368
4	9.692	19.839	-
5	9.692	17.272	-
6	9.692	15.639	-
7	9.692	14.525	-
8	9.692	13.728	-
9	9.692	13.136	-
10	9.692	12.686	-
11	9.692	12.337	-
12	9.692	8.408	-
13-38	9.692	-	-
Toplam	377.971	534.286	747.102

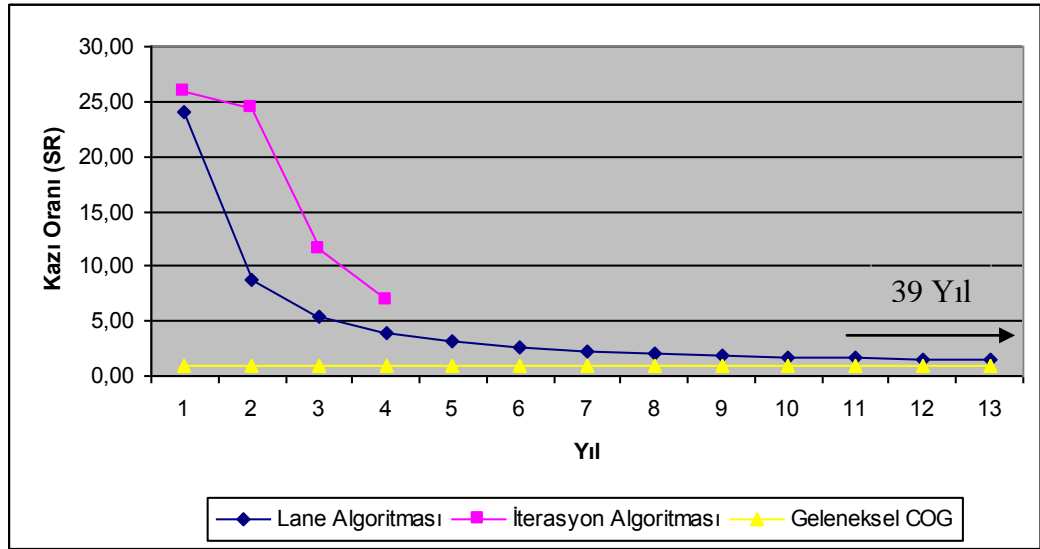


Şekil 5.12: Senaryo A-I'in Cevher Hazırlama Sonrası Atık (TW) miktarlarının karşılaştırılması

Kazı oranlarına bakıldığında, Lane ve iterasyon algoritmalarının 20'nin üstünde, geleneksel COG'un ise 1'in altında olduğu görülmektedir (Tablo 5.11 ve Şekil 5.13).

Tablo 5.11: Senaryo A-I'in
Kazı Oranı sonuçları

Yıl	Geleneksel COG	Lane Algoritması	İterasyon Algoritması
0	0,88	24,06	25,90
1	0,88	8,85	24,34
2	0,88	5,39	11,62
3	0,88	3,93	6,95
4	0,88	3,12	-
5	0,88	2,62	-
6	0,88	2,29	-
7	0,88	2,05	-
8	0,88	1,87	-
9	0,88	1,73	-
10	0,88	1,63	-
11	0,88	1,55	-
12	0,88	1,48	-
13-38	0,88	-	-
Ort.	0,88	4,66	17,20



Şekil 5.13: Senaryo A-I'in Kazı Oranlarının (SR) karşılaştırılması

- Senaryo A-II :

Bu senaryoda ise bakır satış fiyatı 150 \$/oz alınarak hesaplamalar yapılmıştır. İlk önce Geleneksel COG (eşitlik 5.1) formülüne göre hesaplama yapılmış ve sonuçlar Tablo 5.9'da verilmiştir. Tablo 5.12 incelendiğinde Geleneksel COG göre \$171 milyon NPV ve \$865 milyon fayda elde edilmiştir (Tablo 5.12).

Tablo 5.12: Senaryo A-II'nin Geleneksel COG Sonuçları

Yıl	Toplam (atık+ cevher)	Toplam üretim, t	Toplam konsantre, t	Toplam rafineri, t	Fayda, \$	Yıllık NPV, \$	Optimum COG (oz/ton)
1	67.710.375	2.061.777	930.000	440.845	26.239.301	26.239.301	0,182
2	65.648.598	2.061.777	930.000	440.845	26.239.301	22.236.695	0,182
3	63.586.822	2.061.777	930.000	440.845	26.239.301	18.844.657	0,182
4	61.525.045	2.061.777	930.000	440.845	26.239.301	15.970.048	0,182
5	59.463.268	2.061.777	930.000	440.845	26.239.301	13.533.939	0,182
6	57.401.492	2.061.777	930.000	440.845	26.239.301	11.469.440	0,182
7	55.339.715	2.061.777	930.000	440.845	26.239.301	9.719.865	0,182
8	53.277.938	2.061.777	930.000	440.845	26.239.301	8.237.173	0,182
9	51.216.162	2.061.777	930.000	440.845	26.239.301	6.980.655	0,182
10	49.154.385	2.061.777	930.000	440.845	26.239.301	5.915.810	0,182
11	47.092.608	2.061.777	930.000	440.845	26.239.301	5.013.398	0,182
12	45.030.832	2.061.777	930.000	440.845	26.239.301	4.248.642	0,182
13	42.969.055	2.061.777	930.000	440.845	26.239.301	3.600.544	0,182
14	40.907.279	2.061.777	930.000	440.845	26.239.301	3.051.309	0,182
15	38.845.502	2.061.777	930.000	440.845	26.239.301	2.585.855	0,182
16	36.783.725	2.061.777	930.000	440.845	26.239.301	2.191.402	0,182
17	34.721.949	2.061.777	930.000	440.845	26.239.301	1.857.121	0,182
18	32.660.172	2.061.777	930.000	440.845	26.239.301	1.573.831	0,182
19	30.598.395	2.061.777	930.000	440.845	26.239.301	1.333.755	0,182
20	28.536.619	2.061.777	930.000	440.845	26.239.301	1.130.301	0,182
21	26.474.842	2.061.777	930.000	440.845	26.239.301	957.882	0,182
22	24.413.065	2.061.777	930.000	440.845	26.239.301	811.765	0,182
23	22.351.289	2.061.777	930.000	440.845	26.239.301	687.936	0,182
24	20.289.512	2.061.777	930.000	440.845	26.239.301	582.997	0,182
25	18.227.735	2.061.777	930.000	440.845	26.239.301	494.065	0,182
26	16.165.959	2.061.777	930.000	440.845	26.239.301	418.699	0,182
27	14.104.182	2.061.777	930.000	440.845	26.239.301	354.830	0,182
28	12.042.405	2.061.777	930.000	440.845	26.239.301	300.703	0,182
29	9.980.629	2.061.777	930.000	440.845	26.239.301	254.833	0,182
30	7.918.852	2.061.777	930.000	440.845	26.239.301	215.960	0,182
31	5.857.075	2.061.777	930.000	440.845	26.239.301	183.017	0,182
32	3.795.299	2.061.777	930.000	440.845	26.239.301	155.099	0,182
33	1.733.522	2.061.777	930.000	440.845	26.239.301	131.440	0,182
Toplam		68.038.630			865.896.922	171.282.970	

Tablo 5.13 ise Lane algoritmasına dayalı sonuçları göstermektedir. Tablo 5.12'de $g_u(i)=c+m+f+Fi / (P-s)*y$ formülü ile optimizasyon faktörü (σ) uygulanmadan COG hesaplanmıştır. Bu hesaplamanın sonucu \$479 milyon NPV, \$669,7 milyon fayda ve 9 yıl işletme ömrü elde edilmiştir (Tablo 5.13). Optimizasyon faktörü kullanılarak belirlenen optimum yaklaşım ile \$538,9 milyon NPV ve \$622 milyon fayda ve 3 yıl işletme ömrü vermektedir (Tablo 5.14).

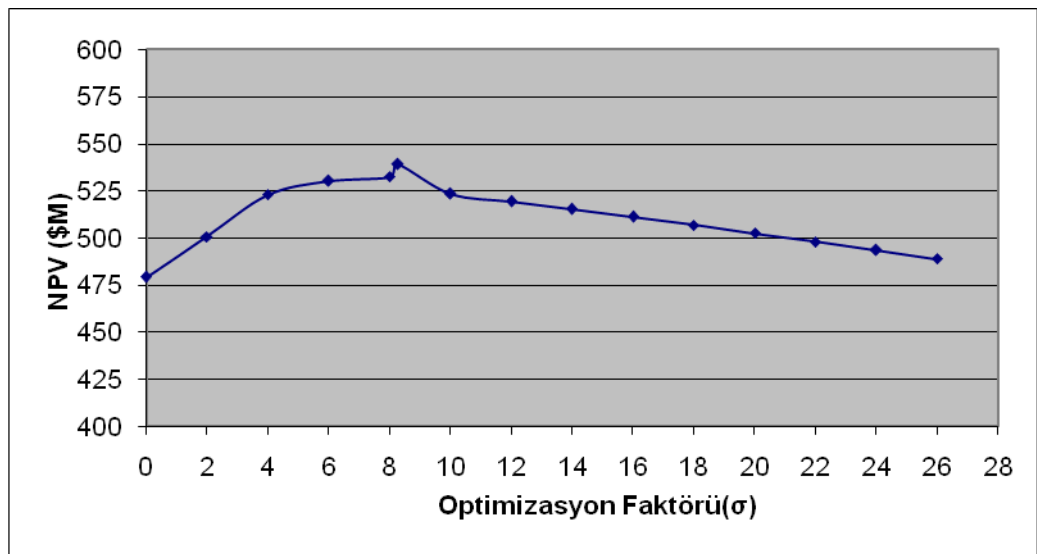
Tablo 5.13: Senaryo A-II'nin Lane Algoritması ile COG politikası

Yıl	Toplam (atık+cevher)	Toplam üretim, t	Toplam konsantre, t	Toplam rafineri, t	Fayda, \$	Yıllık NPV, \$	Optimum COG (oz/ton)
1	67.710.375	23.253.140	930.000	2.247.448	214.866.241	214.866.241	0,501
2	44.457.235	10.909.138	930.000	1.195.203	105.006.388	88.988.464	0,465
3	33.548.097	7.476.379	930.000	902.514	74.444.911	53.465.176	0,435
4	26.071.719	5.902.398	930.000	768.310	60.431.934	36.780.740	0,409
5	20.169.321	5.008.769	930.000	692.116	52.476.055	27.066.565	0,387
6	15.160.551	4.439.195	930.000	643.552	47.405.192	20.721.247	0,369
7	10.721.357	4.048.996	930.000	610.282	43.931.301	16.273.540	0,353
8	6.672.360	3.768.296	930.000	586.349	41.432.251	13.006.621	0,340
9	2.904.065	3.559.190	758.819	463.875	29.764.780	7.918.567	0,329
Toplam		68.365.500			669.759.053	479.087.161	

Tablo 5.13'deki sonuçlara $g_u(i)=c+m+f+Fi+\sigma / (P-s)*y$ formülü uygulanarak bulunan optimizasyon faktörü (σ) maksimum NPV için 8,27 olarak hesaplanmıştır (Şekil 5.14).

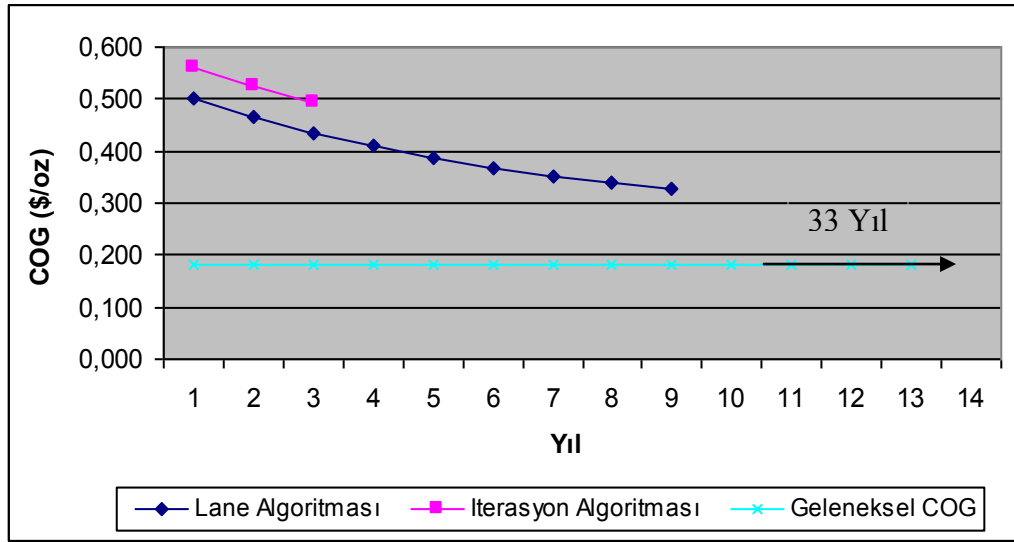
Tablo 5.14: Optimizasyon faktörü (σ) kullanılarak Senaryo A-II'nin COG politikası

Yıl	Toplam (atık+cevher)	Toplam üretim, t	Toplam konsantre, t	Toplam rafineri, t	Fayda, \$	Yıllık NPV, \$	Optimum COG (oz/ton)
1	67.710.375	24.918.312	930.000	2.368.531	226.565.618	226.565.618	0,559
2	42.792.063	23.869.104	930.000	2.292.238	219.193.956	185.757.589	0,523
3	18.922.959	18.922.958	930.000	1.878.491	176.352.551	126.653.656	0,493
Toplam		67.710.374			622.112.125	538.976.864	

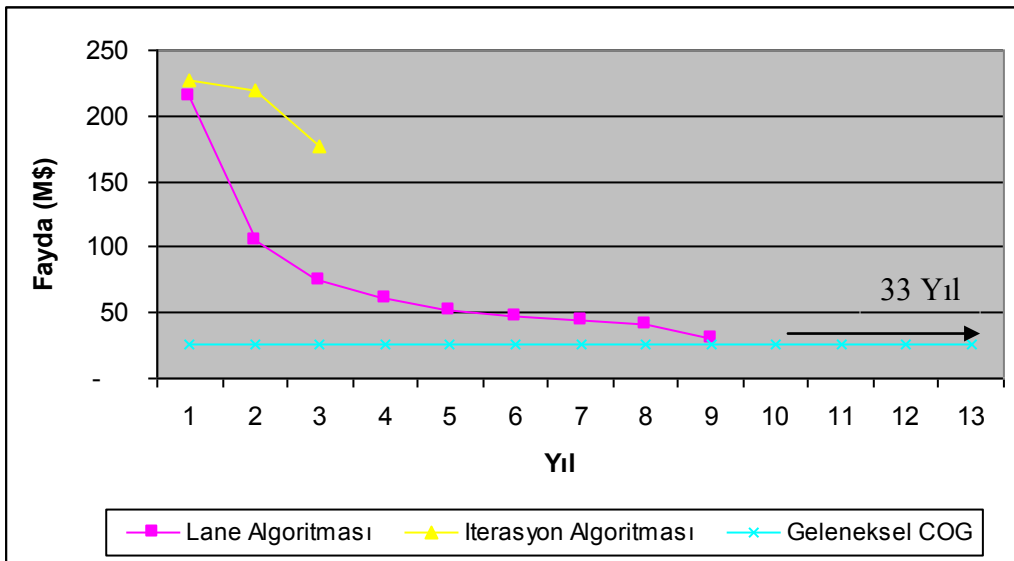


Şekil 5.14: Senaryo A-II'nin farklı optimizasyon faktörleri ve toplam NPV değerlerinin analizi

Geleneksel COG hesaplamalarında toplam 33 yıl işletme ömrü boyunca ekonomik sınır tenör sabit kalarak 0,182 oz/ton, Lane algoritmasıyla işletme ömrü 9 yıla düşerken COG 0,501 oz/ton'a kadar yükselmiştir. En yüksek NPV iterasyon algoritmasıyla Excel programında hesaplanması sonucu COG 0,559 oz/ton ile 0,493 oz/ton arasında değişmiş, işletme ömrü 3 yıla indirilmiştir (Şekil 5.15.a). İterasyon algoritmasında ilk yıl fayda \$226.565.618'den 3 yıl sonra \$176.352.551'e, Lane algoritmasında ilk yıl \$214.866.241'den \$29.764.780'e azalmış ve Geleneksel COG'da \$26.239.301 olarak sabit kalmıştır (Şekil 5.15.b).



Şekil 5.15.a: Senaryo A-II'nin COG dağılımları

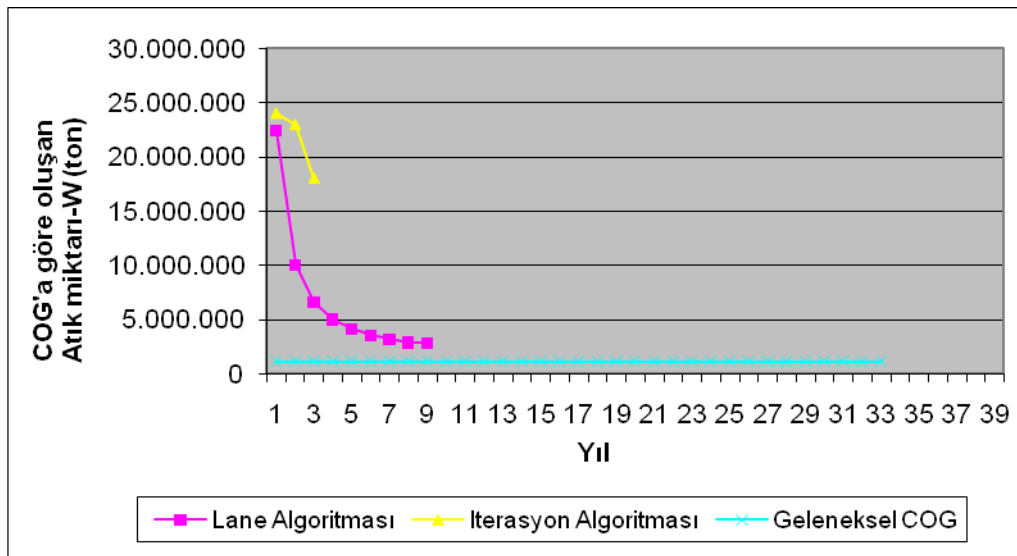


Şekil 5.15.b. Senaryo A-II'nin Fayda dağılımları

Geleneksel COG'de toplam NPV \$171 milyon, Lane algoritmasıyla toplam NPV \$479 milyona ve iterasyon algoritmasıyla da toplam NPV \$538,9 milyona maksimize edilmiştir. Lane algoritmasında toplam üretilen malzeme miktarının 60.166.681 ton'u, İterasyon algoritmasında üretilen malzemenin 64.920.374 ton'u ve Geleneksel COG'in toplamdaki malzemenin 37.348.630 ton'u atık elde edileceği hesaplanmıştır. İlk yıl Lane ve İterasyon Algoritmalarındaki atık miktarları birbirine yakın olmasına rağmen ikinci yıl yaklaşık 12 milyon ton atık malzemenin Lane göre İterasyon Algoritmasında fazla olduğu görülmektedir (Tablo 5.15, Şekil 5.16).

Tablo 5.15: Senaryo A-II'nin COG'a göre oluşan Atık miktarlarının (W) sonuçları

Yıl	Geleneksel COG	Lane Algoritması	İterasyon Algoritması
0	1.131.777	22.323.140	23.988.312
1	1.131.777	9.979.138	22.939.104
2	1.131.777	6.546.379	17.992.958
3	1.131.777	4.972.398	-
4	1.131.777	4.078.769	-
5	1.131.777	3.509.195	-
6	1.131.777	3.118.996	-
7	1.131.777	2.838.296	-
8	1.131.777	2.800.371	-
9-32	1.131.777	-	-
Toplam	37.348.630	60.166.681	64.920.374

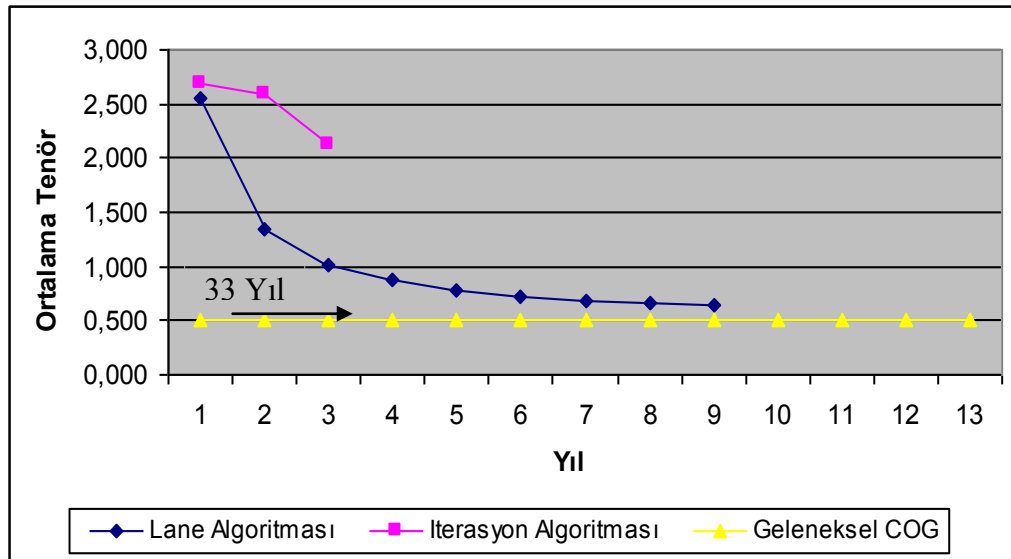


Şekil 5.16: Senaryo A-II'nin COG'a göre oluşan Atık miktarlarının (W) yıllara göre dağılımları

Geleneksel COG hesaplamalarında işletme ömrü boyunca değişmeyen 0,499 ortalama tenör vardır. Buna karşın Lane Algoritması ilk yıl 2,544 ortalama tenörle başlarken, son yıllara doğru Geleneksel COG ortalama tenörüne yaklaşmıştır. İterasyon Algoritması ise, en yüksek kazanca ulaşabilmek için 3 yıllık işletme ömrü boyunca diğer algoritmalara göre ortalama tenörü yüksektir (Tablo 5.16, Şekil 5.17).

Tablo 5.16: Senaryo A-II'nin Ortalama Tenör sonuçları

Yıl	Geleneksel COG	Lane Algoritması	İterasyon Algoritması
0	0,499	2,544	2,681
1	0,499	1,353	2,594
2	0,499	1,022	2,126
3	0,499	0,870	-
4	0,499	0,783	-
5	0,499	0,728	-
6	0,499	0,691	-
7	0,499	0,664	-
8	0,499	0,643	-
9-32	0,499	-	-
Ort.	0,499	1,033	2,467

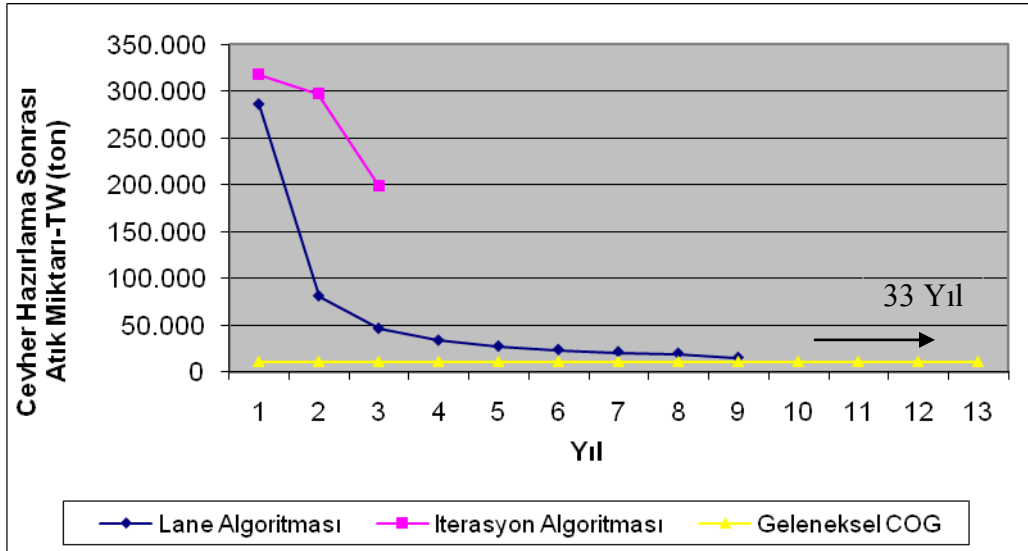


Şekil 5.17: Senaryo A-II'nin Ortalama Tenörlerin karşılaştırılması

Bu bölümde ise yine Cevher Hazırlama tesisi atıkları (TW) hesaplanmıştır. Sonuç olarak Geleneksel COG'a göre toplam 362.952 ton, Lane Algoritması'nda 552.208 ton ve İterasyon Algoritması'nda 814.546 ton atık elde edilmektedir (Tablo 5.17, Şekil 5.18).

Tablo 5.17: Senaryo A-II'nin
Cevher Hazırlama Sonrası Atık (TW) Sonuçları

Yıl	Geleneksel COG	Lane Algoritması	İterasyon Algoritması
0	10.999	285.853	317.484
1	10.999	80.844	297.360
2	10.999	46.097	199.702
3	10.999	33.407	-
4	10.999	27.109	-
5	10.999	23.439	-
6	10.999	21.078	-
7	10.999	19.457	-
8	10.999	14.925	-
9-32	10.999	-	-
Toplam	362.952	552.208	814.546



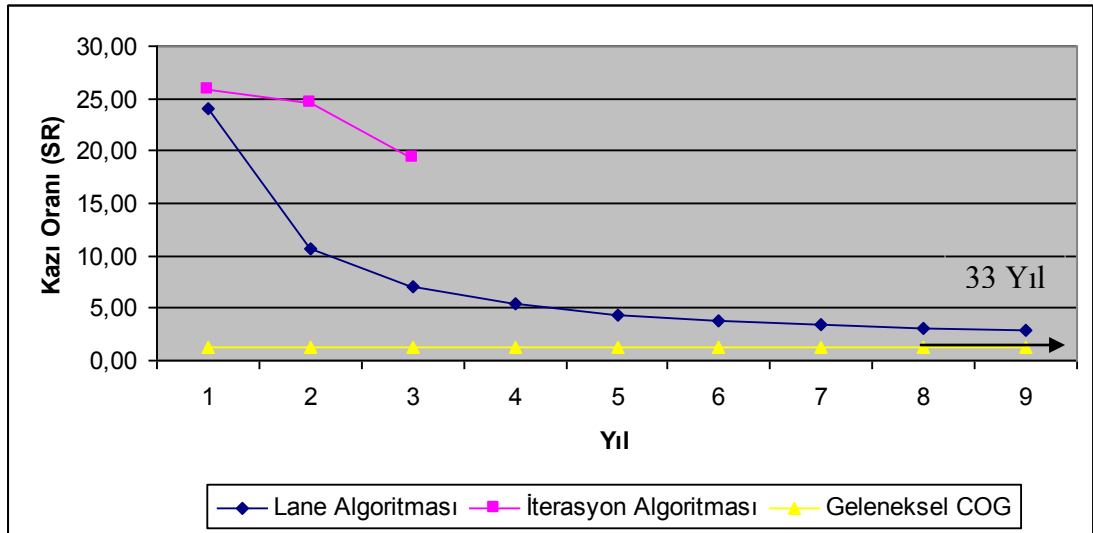
Şekil 5.18: Senaryo A-II'nin Cevher Hazırlama Sonrası Atık (TW) miktarlarının karşılaştırılması

Kazı oranlarına bakıldığında, Lane ve iterasyon algoritmalarının 20'nin üstünde, geleneksel COG'un ise 1,5'un altında olduğu görülmektedir (Tablo 5.18 ve Şekil 5.19).

Senaryo A-I'e göre Senaryo A-II'nin işletme ömürleri kısalmışken, kazı oranları artmaktadır.

Tablo 5.18: Senaryo A-II'nin Kazı Oranı (SR) sonuçları

Yıl	Geleneksel COG	Lane Algoritması	İterasyon Algoritması
0	1,22	24,00	25,79
1	1,22	10,73	24,67
2	1,22	7,04	19,35
3	1,22	5,35	-
4	1,22	4,39	-
5	1,22	3,77	-
6	1,22	3,35	-
7	1,22	3,05	-
8	1,22	2,83	-
9-32	1,22	-	-
Ort.	1,22	7,17	23,27



Şekil 5.19: Senaryo A-II'nin Kazı Oranlarının (SR) karşılaştırılması

- Senaryo A-III ;

Bu bölümde bakır fiyatı 90 \$/oz alınarak eşitlik 5.3 formülü ile Geleneksel COG göre hesaplama yapılmıştır. Sonuçlar \$25 milyon NPV ve \$87 milyon fayda olarak elde edilmiştir (Tablo 5.19).

Tablo 5.20, yatırım ve fırsat maliyetini kullanan Lane algoritmasına dayalı sonuçları göstermektedir. Burada uygulanan $g_u(i) = c + m + f + Fi / (P - s)^y$ formülü ile optimizasyon faktörü (σ) olmadan COG hesaplanmıştır. Bu hesaplama sonucu \$177,5 milyon NPV, \$203,4 milyon fayda ve 3 yıl işletme ömrü elde edilmiştir. İşletmenin 4. yıl zarara

uğraması sebebiyle üretilen toplam malzeme miktarı (Qm) 60 milyon ton civarında kalmış ve bu nedenle işletme ömrü 3 yıl ile sınırlanmıştır (Tablo 5.20).

Tablo 5.19: Senaryo A-III'ün Geleneksel COG Sonuçları

Yıl	Toplam (atık+ cevher)	Toplam üretim, t	Toplam konsantre, t	Toplam rafineri, t	Fayda, \$	Yıllık NPV, \$	Optimum COG (oz/ton)
1	67.710.375	3.167.746	930.000	535.144	3.977.000	3.977.000	0,304
2	64.542.629	3.167.746	930.000	535.144	3.977.000	3.370.339	0,304
3	61.374.884	3.167.746	930.000	535.144	3.977.000	2.856.219	0,304
4	58.207.138	3.167.746	930.000	535.144	3.977.000	2.420.525	0,304
5	55.039.393	3.167.746	930.000	535.144	3.977.000	2.051.292	0,304
6	51.871.647	3.167.746	930.000	535.144	3.977.000	1.738.383	0,304
7	48.703.902	3.167.746	930.000	535.144	3.977.000	1.473.206	0,304
8	45.536.156	3.167.746	930.000	535.144	3.977.000	1.248.480	0,304
9	42.368.411	3.167.746	930.000	535.144	3.977.000	1.058.034	0,304
10	39.200.665	3.167.746	930.000	535.144	3.977.000	896.639	0,304
11	36.032.919	3.167.746	930.000	535.144	3.977.000	759.863	0,304
12	32.865.174	3.167.746	930.000	535.144	3.977.000	643.952	0,304
13	29.697.428	3.167.746	930.000	535.144	3.977.000	545.722	0,304
14	26.529.683	3.167.746	930.000	535.144	3.977.000	462.476	0,304
15	23.361.937	3.167.746	930.000	535.144	3.977.000	391.929	0,304
16	20.194.192	3.167.746	930.000	535.144	3.977.000	332.143	0,304
17	17.026.446	3.167.746	930.000	535.144	3.977.000	281.477	0,304
18	13.858.700	3.167.746	930.000	535.144	3.977.000	238.540	0,304
19	10.690.955	3.167.746	930.000	535.144	3.977.000	202.153	0,304
20	7.523.209	3.167.746	930.000	535.144	3.977.000	171.316	0,304
21	4.355.464	3.167.746	930.000	535.144	3.977.000	145.183	0,304
22	1.187.718	3.167.746	930.000	535.144	3.977.000	123.036	0,304
Toplam		69.690.402			87.493.994	25.387.907	

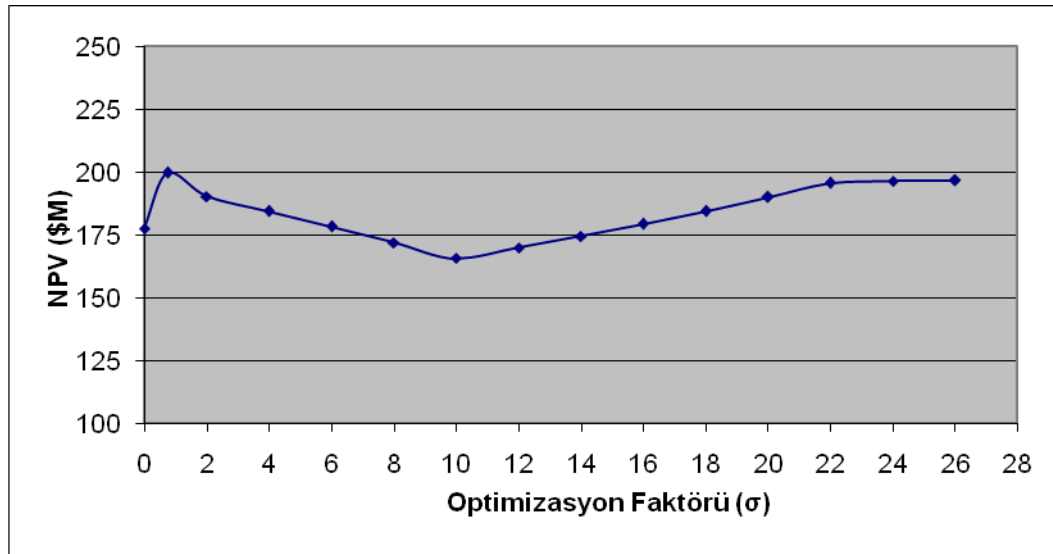
Tablo 5.21'de uygulanan $g_u(i)=c+m+f+Fi+\sigma / (P-s)*y$ formülü ile optimum COG yaklaşımı kullanılarak optimizasyon faktörü (σ) bulunmuştur. Tablo incelendiğinde maksimum NPV için 0,74 olarak hesaplanmış (Şekil 5.20) ve iterasyon sonucu yaklaşık \$199,6 milyon NPV ve \$231,8 milyon fayda ve 3 yıl işletme ömrü elde edilmektedir (Tablo 5.21). Geleneksel COG'de toplam NPV \$25 milyon, Lane algoritmasıyla toplam NPV \$177,5 milyona ve iterasyon algoritmasıyla da toplam NPV \$199,6 milyona maksimize edilmiştir.

Tablo 5.20: Senaryo A-III'ün Lane Algoritması ile COG politikası

Yıl	Toplam (atık+ cevher)	Toplam üretim, t	Toplam konsantre, t	Toplam rafineri, t	Fayda, \$	Yıllık NPV, \$	Optimum COG (oz/ton)
1	67.710.375	23.349.159	930.000	2.254.430	80.275.052	80.275.052	0,504
2	44.361.216	20.164.186	930.000	1.984.323	68.343.693	57.918.384	0,495
3	24.197.030	16.598.816	930.000	1.680.326	54.841.391	39.386.233	0,488
Toplam		60.112.161			203.460.136	177.579.669	

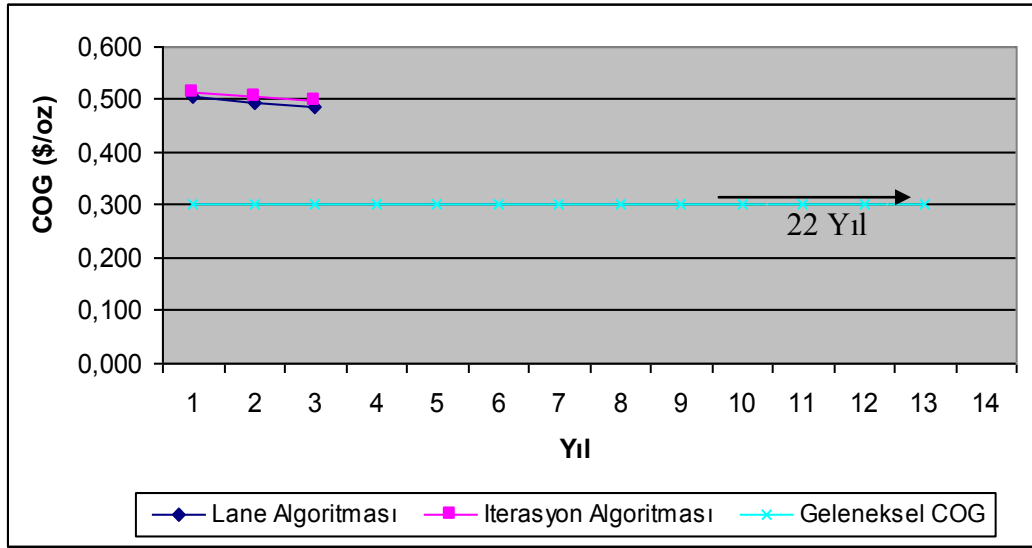
Tablo 5.21: Optimizasyon faktörü (σ) kullanılarak Senaryo A-III'ün COG politikası

Yıl	Toplam (atık+ cevher)	Toplam üretim, t	Toplam konsantre, t	Toplam rafineri, t	Fayda, \$	Yıllık NPV, \$	Optimum COG (oz/ton)
1	67.710.375	23.586.432	930.000	2.271.683	80.906.920	80.906.920	0,513
2	44.123.943	23.340.640	930.000	2.253.811	80.252.365	68.010.478	0,504
3	20.783.303	20.783.303	930.000	2.037.111	70.688.331	50.767.259	0,496
Toplam		67.710.374			231.847.616	199.684.657	



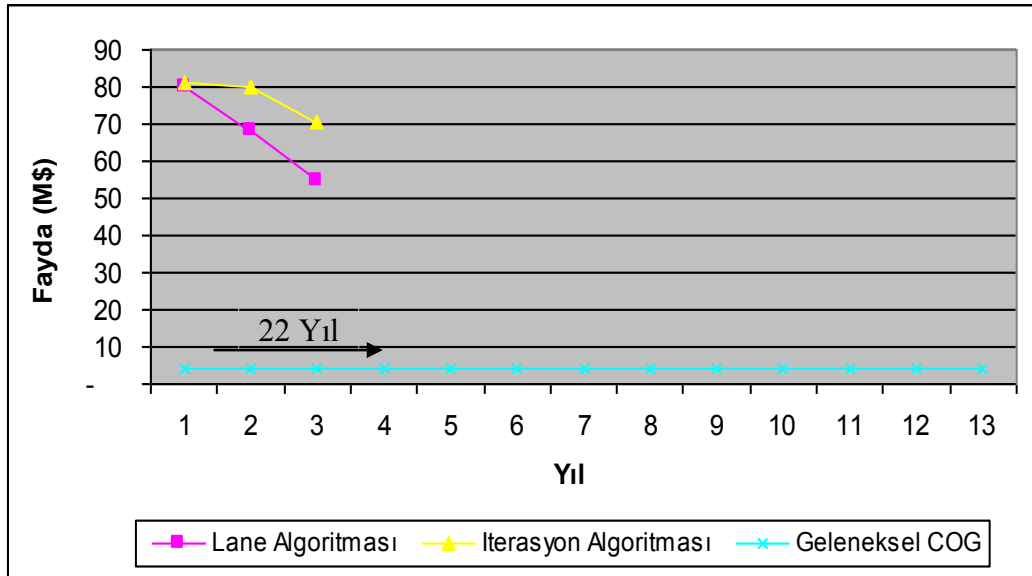
Şekil 5.20: Senaryo A-III'ün farklı optimizasyon faktörleri ve toplam NPV değerlerinin analizi

Geleneksel COG hesaplamalarında toplam 22 yıl işletme ömrü boyunca ekonomik sınır tenör sabit kalarak 0,304 oz/ton, Lane algoritmasıyla işletme ömrü 3 yıla düşerken COG 0,504 oz/ton'a kadar yükselmiştir. En yüksek NPV iterasyon algoritmasıyla Excel programında hesaplanması sonucu COG 0,513 oz/ton ile 0,496 oz/ton arasında değişmiş, işletme ömrü 3 yıl olarak aynı kalmıştır (Şekil 5.21.a).



Şekil 5.21.a: Senaryo A-III'ün COG dağılımları

İterasyon algoritmasında ilk yıl fayda \$80.906.920'den 3 yıl sonra \$70.688.331'e, Lane algoritmasında ilk yıl \$80.275.052'den \$54.841.391'e azalmış ve Geleneksel COG'da \$3.977.000 olarak sabit kalmıştır (Şekil 5.21.b).



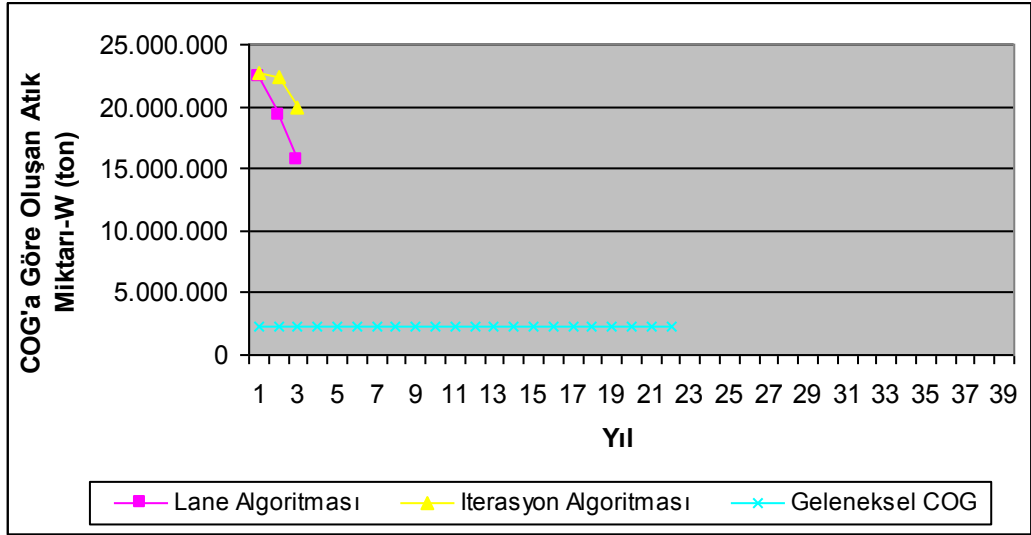
Şekil 5.21.b. Senaryo A-III'ün Fayda dağılımları

Lane algoritmasında toplam üretilen malzeme miktarının 57.322.161 ton'u, İterasyon algoritmasında üretilen malzemenin 64.920.374 ton'u ve Geleneksel COG'in toplamdaki malzemenin 49.230.402 ton'u atık olarak değerlendirilmektedir. Lane ve

İterasyon Algoritmalarında işletme ömrü eşit olduğundan özellikle ilk yılki atık miktarlarının birbirine yakın olduğu görülmektedir (Tablo 5.22, Şekil 5.22).

Tablo 5.22: Senaryo A-III'ün COG'a göre oluşan Atık miktarlarının (W) sonuçları

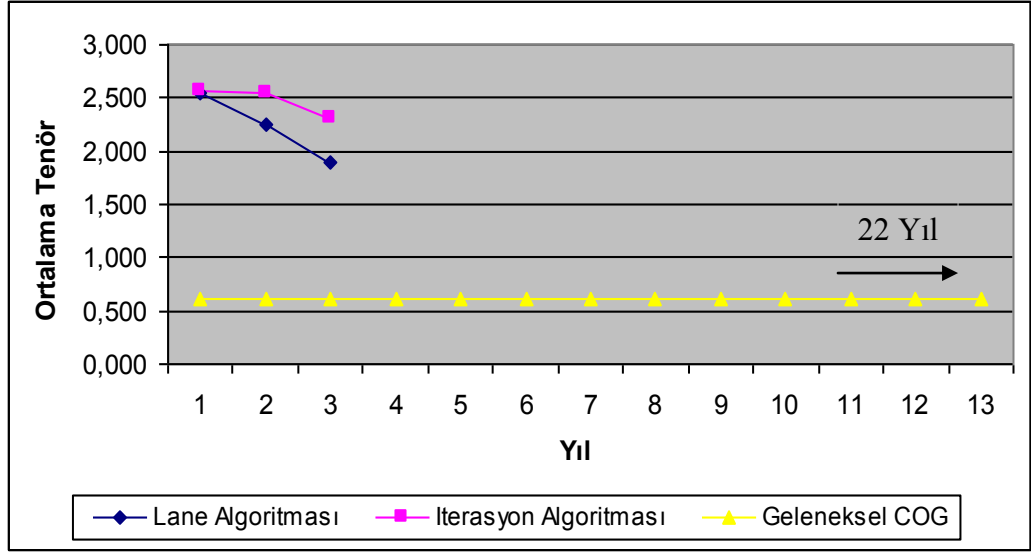
Yıl	Geleneksel COG	Lane Algoritması	İterasyon Algoritması
0	2.237.746	22.419.159	22.656.432
1	2.237.746	19.234.186	22.410.640
2	2.237.746	15.668.816	19.853.303
3-21	2.237.746	-	-
Toplam	49.230.402	57.322.161	64.920.374



Şekil 5.22: Senaryo A-III'ün COG'a göre oluşan Atık miktarlarının (W) yıllara göre dağılımları

Tablo 5.23: Senaryo A-III'ün Ortalama Tenör sonuçları

Yıl	Geleneksel COG	Lane Algoritması	İterasyon Algoritması
0	0,606	2,552	2,571
1	0,606	2,246	2,551
2	0,606	1,902	2,306
3-21	0,606	-	-
Ort.	0,606	2,233	2,476



Şekil 5.23: Senaryo A-III'ün Ortalama Tenörlerin karşılaştırılması

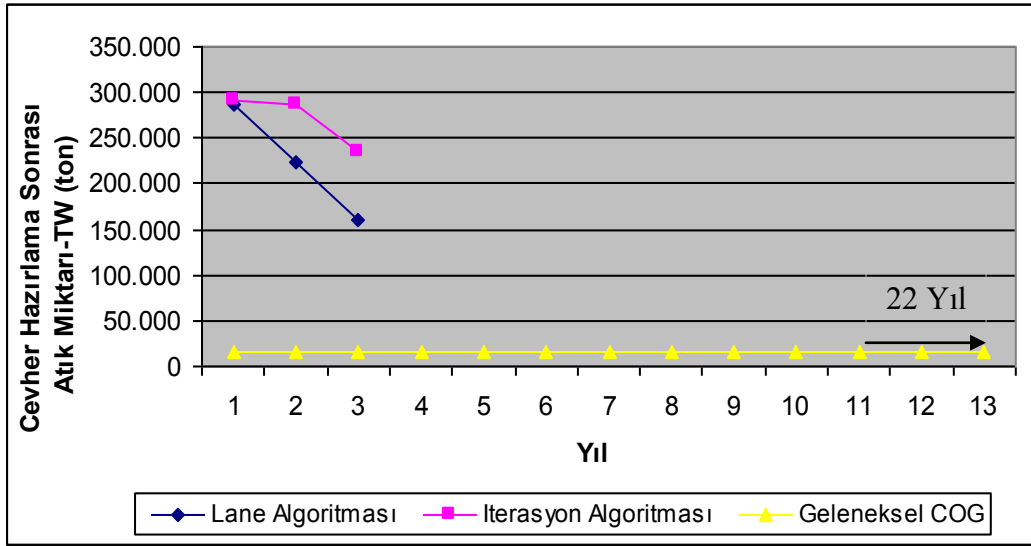
Bu bölümde cevher hazırlama sonrası atık miktarları hesaplanmış ve sonuç olarak Geleneksel COG'a göre toplam 356.555 ton, Lane Algorithması'nda 670.260 ton ve İterasyon Algorithması'nda 814.376 ton atık elde edilmektedir (Tablo 5.24, Şekil 5.24). Ayrıca Senaryo A-III'e göre oluşan kazı oranları Tablo 5.25 ve Şekil 5.25'te gösterilmiştir.

Tablo 5.24: Senaryo A-III'ün Cevher Hazırlama Sonrası Atık (TW) Sonuçları

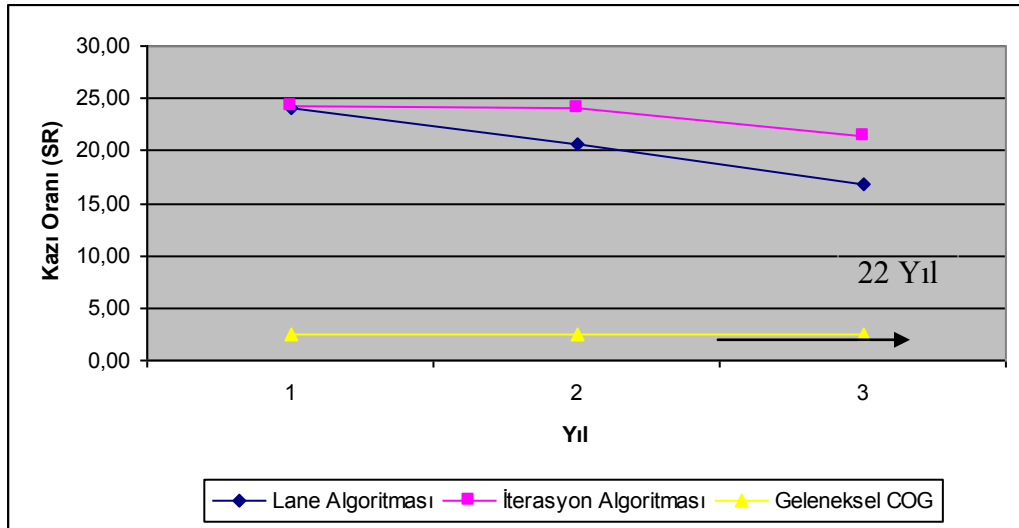
Yıl	Geleneksel COG	Lane Algorithması	İterasyon Algorithması
0	16.207	287.632	292.051
1	16.207	222.837	287.474
2	16.207	159.790	234.851
3-21	16.207	-	-
Toplam	356.555	670.260	814.376

Tablo 5.25: Senaryo A-III'ün Kazı Oranı (SR) Sonuçları

Yıl	Geleneksel COG	Lane Algorithması	İterasyon Algorithması
0	2,41	24,11	24,36
1	2,41	20,68	24,10
2	2,41	16,85	21,35
3-21	2,41	-	-
Ort.	2,41	20,55	23,27



Şekil 5.24: Senaryo A-III'ün Cevher Hazırlama Sonrası Atık (TW) miktarlarının karşılaştırılması



Şekil 5.25: Senaryo A-III'ün Kazı Oranlarının (SR) karşılaştırılması

Senaryo A'nın Geleneksel COG, K. Lane Algoritması ve İterasyon Algoritması'ndaki sonuçları Tablo 5.26'da verilmiştir. Bu üç algoritma farklı bakır fiyatlarında sağlıklı olarak işlemiştir. Tablo 5.26'daki sonuçlara göre bakır fiyatlarının ortalama COG ve ortalama tenörle ters orantılı olduğu belirlenmiştir.

Geleneksel COG algoritmasındaki ortalama COG sonuçları İterasyon algoritmasına kadar her üç bakır fiyatında en az 0,2 olarak artmıştır. Ayrıca toplam COG'a göre oluşan

Atık miktarı (W) ve cevher hazırlama sonrası atık miktarı (TW) ortalama COG'ın yükselmesi ile artmaktadır.

Tablo 5.26: Senaryo A'da farklı bakır fiyatlarına göre elde edilen sonuçlar

	Senaryo A								
	Geleneksel COG'e göre			K.Lane Algoritması'na göre			İterasyon Algoritması'na göre		
	Bakır Fiyatları			Bakır Fiyatları			Bakır Fiyatları		
	230 \$/oz	150 \$/oz	90 \$/oz	230 \$/oz	150 \$/oz	90 \$/oz	230 \$/oz	150 \$/oz	90 \$/oz
Ort. COG (oz/ton)	0,119	0,182	0,304	0,320	0,399	0,496	0,494	0,525	0,504
Toplam NPV (milyon \$)	370	171	25	890	479	177,5	997	538,9	199,6
Toplam Fayda (milyon \$)	2.204	865	87	1.431	669,7	203,4	1.175	622	231,8
Toplam İşletme Ömrü (Yıl)	39	33	22	13	9	3	4	3	3
Toplam W (milyon ton)	31,7	37,3	49,2	56,6	60,1	57,3	64	64,9	64,9
Ort. Tenör	0,468	0,499	0,606	0,808	1,033	2,233	1,926	2,467	2,476
Toplam TW (ton)	377.971	362.952	356.555	534.286	552.208	670.260	747.102	814.546	814.376

5.2.1.2. Senaryo B'ye Göre COG Hesaplamaları

Bilindiği gibi madencilik sonrası sahanın tekrar eski haline getirilmesi yada rehabilite edilmesi zorunlu bir madencilik faaliyettir. Bu faaliyet elbette proje hazırlama sürecinde planlanmalı ve maliyetler dikkate alınmalıdır.

Yapılan literatür incelemelerinde ve COG hesaplamalarında reklamasyon maliyetinin bugüne kadar dikkate alınmadığı anlaşılmıştır. Bu çalışmada oluşacak reklamasyon maliyetinin COG ve NPV üzerinde nasıl bir etki yapacağını belirlemek amacıyla bir araştırma yapılmıştır. Söz konusu çalışmada, reklamasyon maliyetinin farklı arazi koşulları ve özelliklerine göre değiştiği gözlemlenerek 5, 10 ve 20 \$/ton olarak reklamasyon maliyetleri uygulanmıştır.

Bu değerlendirme aynı zamanda farklı bakır fiyatları içinde değerlendirilerek daha gerçekçi bir maden planlama sürecinin oluşması sağlanmıştır.

En yakın komşu (nearest neighbour-NN) yaklaşımıyla bulunan tenör-tonaj dağılımındaki verilerin ve Tablo 5.4'teki maden dizaynı parametrelerinin eşitlik 4.10'a

göre iterasyon algoritması için kullanılması Senaryo B'dir. Burada sırasıyla 230 \$/oz, 150 \$/oz ve 90 \$/oz bakır fiyatları ile reklamasyon maliyeti 5 \$/ton olanlara Senaryo B-I, Senaryo B-II ve Senaryo B-III denilmiştir. Uygulanan bakır fiyatları aynı sırayla reklamasyon maliyeti 10 \$/ton ve 20 \$/ton parametrelerinde sırasıyla Senaryo B-IV, Senaryo B-V, Senaryo B-VI, Senaryo B-VII, Senaryo B-VIII ve Senaryo B-IX adıyla gerçekleştirilmiştir.

- Senaryo B-I:

En yakın komşu (nearest neighbour-NN) yaklaşımıyla bulunan tenör-tonaj dağılımındaki verilerle birlikte, reklamasyon maliyeti 5 \$/ton ve 230 \$/oz bakır fiyatının Senaryo B'ye göre iterasyon algoritması için kullanılmasıdır.

Eşitlik 5.1'e, diğer formüllerde olduğu gibi reklamasyon maliyeti ilave edildiğinde yeni bir algoritma elde edilmiştir (Eşitlik 5.2). Tablo 5.27'de bu formüle göre Geleneksel COG hesaplanmış ve sonuçta \$320 milyon NPV ve \$1.810 milyon fayda olarak değerler elde edilmiştir.

$$Geleneksel\ COG = \frac{c + m + r}{(P - s) * y} \quad (5.2)$$

Lane algoritmasına dayalı olarak COG hesaplanmış ve \$572 milyon NPV, \$1.220 milyon fayda ve 17 yıl işletme ömrü sonuçları elde edilmiştir (Tablo 5.28).

Tablo 5.28 ile optimizasyon faktörü kullanılarak yaklaşık \$708 milyon NPV, \$868 milyon fayda ve 5 yıl işletme ömrü elde edilmektedir (Tablo 5.29). Buradaki optimizasyon faktörü yıllara göre değişmemekte olup, maksimum NPV için 12,78 olarak hesaplanmıştır (Şekil 5.26).

Geleneksel COG'de toplam NPV \$320 milyon, Lane algoritmasıyla toplam NPV \$572 milyona ve iterasyon algoritmasıyla da toplam NPV \$708 milyona maksimize edilmiştir. Geleneksel COG hesaplamalarında toplam 37 yıl işletme ömrü boyunca ekonomik sınır tenör sabit kalarak 0,141 oz/ton, Lane algoritmasıyla işletme ömrü 17 yıla düşerken COG 0,481 oz/ton'a kadar yükselmiştir.

Tablo 5.27: Senaryo B-I'in Geleneksel COG Sonuçları

Yıl	Toplam (atık+ cevher)	Toplam üretim, t	Toplam konsantre, t	Toplam rafineri, t	Fayda, \$	Yıllık NPV, \$	Optimum COG (oz/ton)
1	67.710.375	1.847.561	930.000	422.580	48.900.751	48.900.751	0,141
2	65.862.814	1.847.561	930.000	422.580	48.900.751	41.441.315	0,141
3	64.015.252	1.847.561	930.000	422.580	48.900.751	35.119.758	0,141
4	62.167.691	1.847.561	930.000	422.580	48.900.751	29.762.507	0,141
5	60.320.129	1.847.561	930.000	422.580	48.900.751	25.222.463	0,141
6	58.472.568	1.847.561	930.000	422.580	48.900.751	21.374.969	0,141
7	56.625.007	1.847.561	930.000	422.580	48.900.751	18.114.381	0,141
8	54.777.445	1.847.561	930.000	422.580	48.900.751	15.351.170	0,141
9	52.929.884	1.847.561	930.000	422.580	48.900.751	13.009.466	0,141
10	51.082.323	1.847.561	930.000	422.580	48.900.751	11.024.971	0,141
11	49.234.761	1.847.561	930.000	422.580	48.900.751	9.343.196	0,141
12	47.387.200	1.847.561	930.000	422.580	48.900.751	7.917.963	0,141
13	45.539.638	1.847.561	930.000	422.580	48.900.751	6.710.138	0,141
14	43.692.077	1.847.561	930.000	422.580	48.900.751	5.686.558	0,141
15	41.844.516	1.847.561	930.000	422.580	48.900.751	4.819.117	0,141
16	39.996.954	1.847.561	930.000	422.580	48.900.751	4.083.997	0,141
17	38.149.393	1.847.561	930.000	422.580	48.900.751	3.461.014	0,141
18	36.301.832	1.847.561	930.000	422.580	48.900.751	2.933.063	0,141
19	34.454.270	1.847.561	930.000	422.580	48.900.751	2.485.647	0,141
20	32.606.709	1.847.561	930.000	422.580	48.900.751	2.106.480	0,141
21	30.759.147	1.847.561	930.000	422.580	48.900.751	1.785.153	0,141
22	28.911.586	1.847.561	930.000	422.580	48.900.751	1.512.841	0,141
23	27.064.025	1.847.561	930.000	422.580	48.900.751	1.282.069	0,141
24	25.216.463	1.847.561	930.000	422.580	48.900.751	1.086.499	0,141
25	23.368.902	1.847.561	930.000	422.580	48.900.751	920.762	0,141
26	21.521.340	1.847.561	930.000	422.580	48.900.751	780.307	0,141
27	19.673.779	1.847.561	930.000	422.580	48.900.751	661.277	0,141
28	17.826.218	1.847.561	930.000	422.580	48.900.751	560.404	0,141
29	15.978.656	1.847.561	930.000	422.580	48.900.751	474.919	0,141
30	14.131.095	1.847.561	930.000	422.580	48.900.751	402.474	0,141
31	12.283.534	1.847.561	930.000	422.580	48.900.751	341.079	0,141
32	10.435.972	1.847.561	930.000	422.580	48.900.751	289.050	0,141
33	8.588.411	1.847.561	930.000	422.580	48.900.751	244.958	0,141
34	6.740.849	1.847.561	930.000	422.580	48.900.751	207.591	0,141
35	4.893.288	1.847.561	930.000	422.580	48.900.751	175.925	0,141
36	3.045.727	1.847.561	930.000	422.580	48.900.751	149.089	0,141
37	1.198.165	1.847.561	930.000	422.580	48.900.751	126.347	0,141
Toplam		68.359.771			1.809.327.797	319.869.667	

En yüksek NPV iterasyon algoritmasıyla Excel programında hesaplanması sonucu COG 0,540 oz/ton ile 0,402 oz/ton arasında değişmiş, işletme ömrü 5 yıla inmiştir (Şekil 5.27.a). İterasyon algoritmasında ilk yıl fayda \$286.918.000'den 5 yıl sonra

\$88.873.900'e, Lane algoritmasında ilk yıl \$183.640.553'den \$52.599.031'e azalmış ve Geleneksel COG'da \$48.900.751 olarak sabit kalmıştır (Şekil 5.27.b).

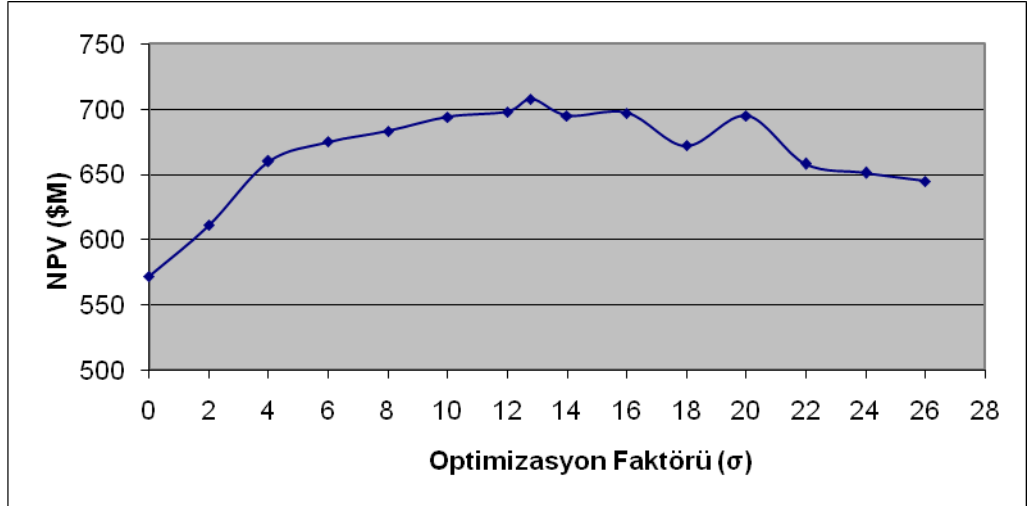
Tablo 5.28: Senaryo B-I'in Lane Algoritması COG politikası

Yıl	Toplam (atık+ cevher)	Toplam üretim, t	Toplam konsantre, t	Toplam rafineri, t	Fayda, \$	Yıllık NPV, \$	Optimum COG (oz/ton)
1	67.710.375	14.411.901	930.000	1.493.862	183.640.553	183.640.553	0,481
2	53.298.474	7.710.711	930.000	922.494	111.777.086	94.726.344	0,438
3	45.587.763	5.531.168	930.000	736.658	88.403.695	63.490.157	0,401
4	40.056.596	4.462.253	930.000	645.518	76.940.665	46.828.464	0,370
5	35.594.343	3.834.296	930.000	591.976	70.206.461	36.211.712	0,343
6	31.760.047	3.425.742	930.000	557.141	65.825.144	28.772.777	0,321
7	28.334.305	3.142.022	930.000	532.950	62.782.533	23.256.630	0,302
8	25.192.282	2.935.958	930.000	515.381	60.572.699	19.015.287	0,286
9	22.256.325	2.781.372	930.000	502.200	58.914.918	15.673.617	0,272
10	19.474.953	2.662.565	930.000	492.070	57.640.841	12.995.478	0,261
11	16.812.388	2.569.550	930.000	484.139	56.643.344	10.822.530	0,251
12	14.242.838	2.495.664	930.000	477.840	55.850.997	9.043.340	0,243
13	11.747.174	2.436.296	930.000	472.778	55.214.338	7.576.485	0,236
14	9.310.878	2.388.152	930.000	468.673	54.698.040	6.360.711	0,230
15	6.922.725	2.348.817	930.000	465.319	54.276.210	5.348.862	0,225
16	4.573.908	2.316.482	930.000	462.562	53.929.455	4.503.974	0,220
17	2.257.426	2.289.769	916.864	453.783	52.599.031	3.722.765	0,217
Toplam		67.742.718			1.219.916.009	571.989.687	

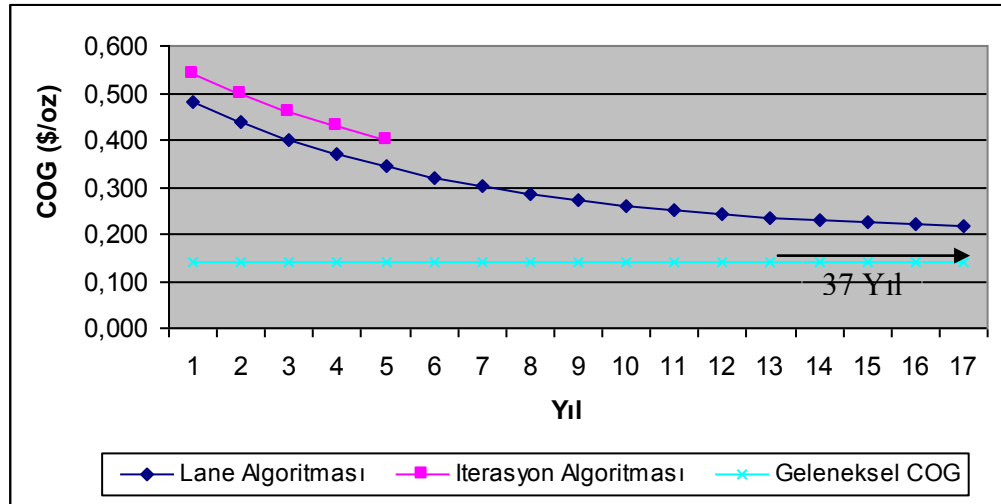
Tablo 5.29: Optimizasyon faktörü (σ) kullanılarak Senaryo B-I'in COG politikası

Yıl	Toplam (atık+ cevher)	Toplam üretim, t	Toplam konsantre, t	Toplam rafineri, t	Fayda, \$	Yıllık NPV, \$	Optimum COG (oz/ton)
1	67.710.375	24.339.650	930.000	2.326.453	286.918.000	286.918.000	0,540
2	43.370.725	20.722.230	930.000	2.031.904	251.312.438	212.976.642	0,496
3	22.648.495	10.064.283	930.000	1.123.168	137.016.761	98.403.304	0,459
4	12.584.212	7.009.198	930.000	862.680	104.254.067	63.452.243	0,428
5	5.575.014	5.575.015	930.000	740.396	88.873.900	45.840.169	0,402
Toplam		67.710.375			868.375.165	707.590.359	

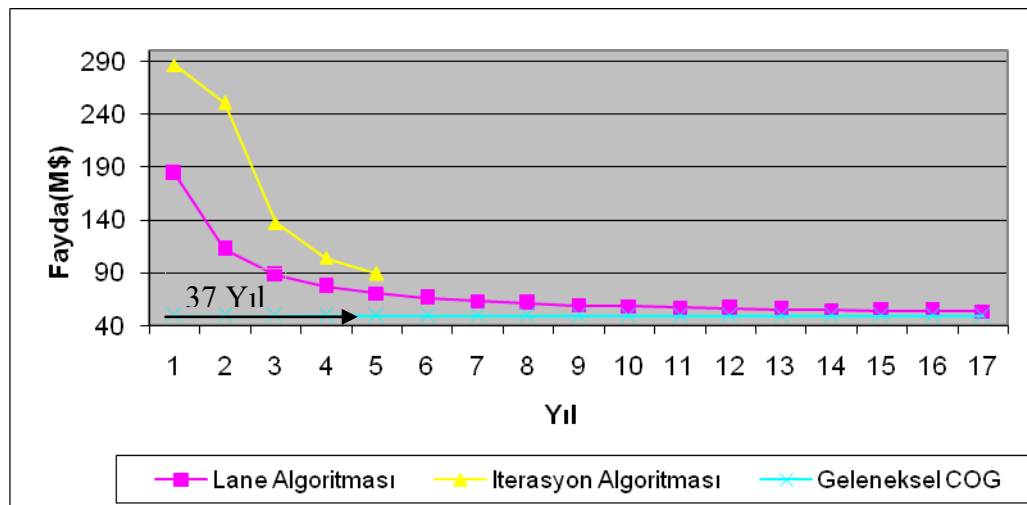
Lane algoritmasında toplam üretilen malzeme miktarının 51.945.855 ton'u, İterasyon algoritmasında üretilen malzemenin 63.060.375 ton'u ve Geleneksel COG'in toplamdaki malzemenin 33.949.771 ton'u atık olarak değerlendirilmektedir. Lane Algoritması'ndaki yıllık atık miktarları, İterasyon Algoritması'nın işletme ömrü boyunca aynı yıllarda ki atık miktarının yaklaşık yarı oranında olduğu görülmektedir (Tablo 5.30, Şekil 5.28).



Şekil 5.26: Senaryo B-I'in farklı optimizasyon faktörleri (σ) ve toplam NPV değerlerinin analizi



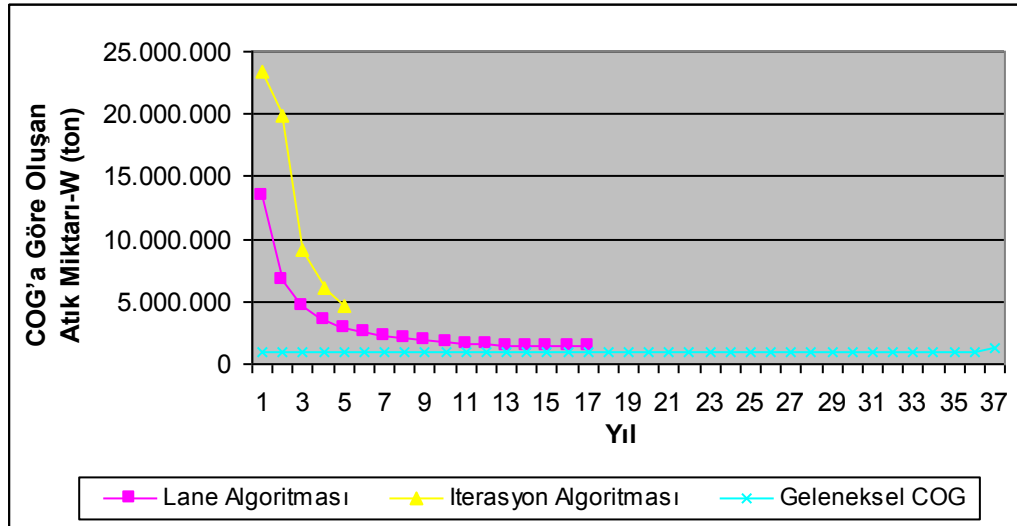
Şekil 5.27.a: Senaryo B-I'in COG dağılımları



Şekil 5.27.b: Senaryo B-I'in Fayda dağılımları

Tablo 5.30: Senaryo B-I'in COG'a göre oluşan Atık miktarlarının (W) sonuçları

Yıl	Geleneksel COG	Lane Algoritması	İterasyon Algoritması
0	917.561	13.481.901	23.409.650
1	917.561	6.780.711	19.792.230
2	917.561	4.601.168	9.134.283
3	917.561	3.532.253	6.079.198
4	917.561	2.904.296	4.645.015
5	917.561	2.495.742	-
6	917.561	2.212.022	-
7	917.561	2.005.958	-
8	917.561	1.851.372	-
9	917.561	1.732.565	-
10	917.561	1.639.550	-
11	917.561	1.565.664	-
12	917.561	1.506.296	-
13	917.561	1.458.152	-
14	917.561	1.418.817	-
15	917.561	1.386.482	-
16	917.561	1.372.906	-
17-36	917.561	-	-
Toplam	33.949.771	51.945.855	63.060.375



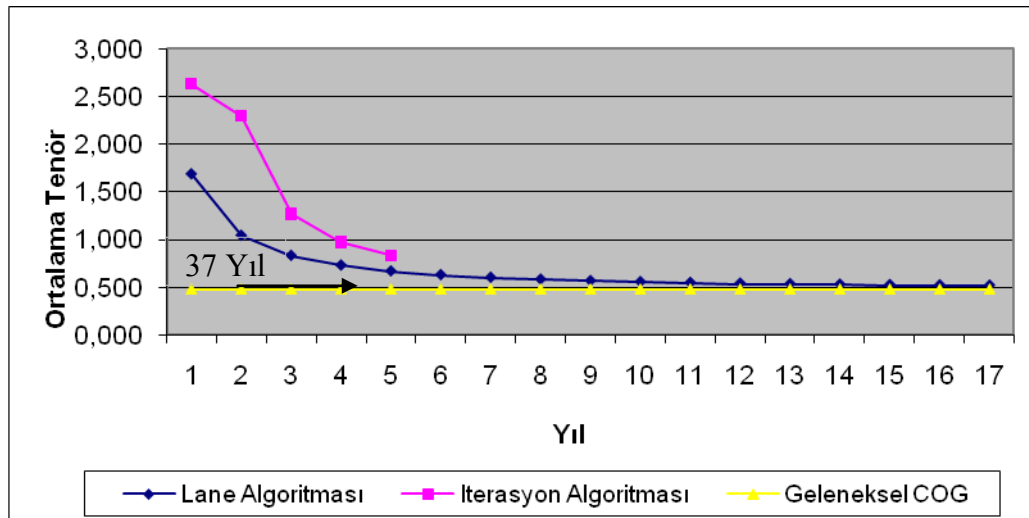
Şekil 5.28: Senaryo B-I'in COG'a göre oluşan Atık miktarlarının (W) yıllara göre dağılımları

Üç algoritmaya göre ortalama tenörler incelendiğinde, Geleneksel COG algoritmasında işletme ömrü boyunca değişmeyen 0,478 ortalama tenör görülmektedir. Buna karşın

Lane Algoritması 3. işletme yılında 0,834 ortalama tenöre düşmektedir. İterasyon Algoritması ise işletme ömrünün son yılında 0,838 ortalama tenöre sahip iken genel ortalama tenörü 1,604 olarak belirlenmiştir (Tablo 5.31, Şekil 5.29).

Tablo 5.31: Senaryo B-I'in
Ortalama Tenör sonuçları

Yıl	Geleneksel COG	Lane Algoritması	İterasyon Algoritması
0	0,478	1,691	2,633
1	0,478	1,044	2,300
2	0,478	0,834	1,271
3	0,478	0,731	0,976
4	0,478	0,670	0,838
5	0,478	0,631	-
6	0,478	0,603	-
7	0,478	0,583	-
8	0,478	0,568	-
9	0,478	0,557	-
10	0,478	0,548	-
11	0,478	0,541	-
12	0,478	0,535	-
13	0,478	0,530	-
14	0,478	0,527	-
15	0,478	0,524	-
16	0,478	0,521	-
17-36	0,478	-	-
Ort.	0,478	0,685	1,604

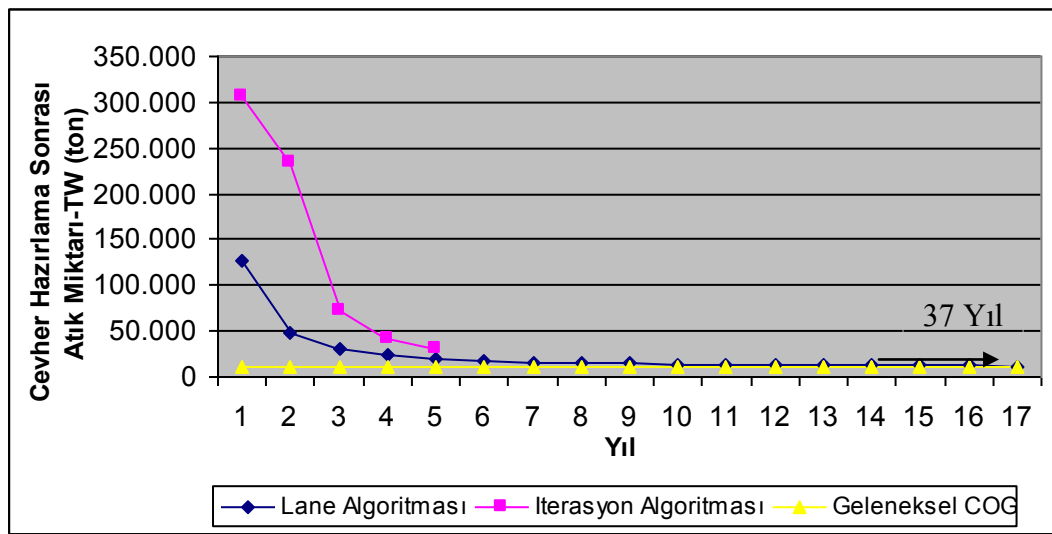


Şekil 5.29: Senaryo B-I'in Ortalama Tenörlerin karşılaştırılması

Bu bölümde cevher hazırlama sonrası atık miktarları hesaplanmış ve sonuç olarak Geleneksel COG'a göre toplam 373.924 ton, Lane'de 412.680 ton ve iterasyon'da 684.489 ton atık elde edilmektedir (Tablo 5.32, Şekil 5.30).

Tablo 5.32: Senaryo B-I'in Cevher Hazırlama Sonrası Atık (TW) Sonuçları

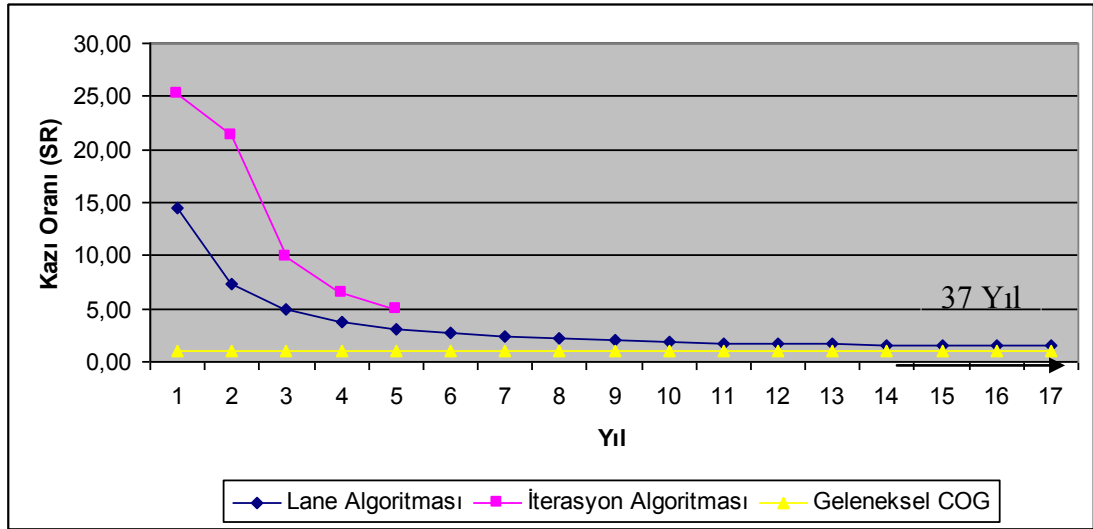
Yıl	Geleneksel COG	Lane Algoritması	İterasyon Algoritması
0	10.106	126.294	306.304
1	10.106	48.160	233.652
2	10.106	30.711	71.393
3	10.106	23.582	42.118
4	10.106	19.832	31.024
5	10.106	17.567	-
6	10.106	16.074	-
7	10.106	15.032	-
8	10.106	14.273	-
9	10.106	13.703	-
10	10.106	13.265	-
11	10.106	12.922	-
12	10.106	12.650	-
13	10.106	12.431	-
14	10.106	12.254	-
15	10.106	12.109	-
16	10.106	11.821	-
17-36	10.106	-	-
Toplam	373.924	412.680	684.489



Şekil 5.30: Senaryo B-I'in Cevher Hazırlama Sonrası Atık (TW) miktarlarının karşılaştırılması

Tablo 5.33: Senaryo B-I'in Kazı Oranı (SR) Sonuçları

Yıl	Geleneksel COG	Lane Algoritması	İterasyon Algoritması
0	0,99	14,50	25,17
1	0,99	7,29	21,28
2	0,99	4,95	9,82
3	0,99	3,80	6,54
4	0,99	3,12	4,99
5	0,99	2,68	-
6	0,99	2,38	-
7	0,99	2,16	-
8	0,99	1,99	-
9	0,99	1,86	-
10	0,99	1,76	-
11	0,99	1,68	-
12	0,99	1,62	-
13	0,99	1,57	-
14	0,99	1,53	-
15	0,99	1,49	-
16	0,99	1,46	-
17-36	0,99	-	-
Ort.	0,99	3,28	13,56



Şekil 5.31: Senaryo B-I'in Kazı Oranlarının (SR) karşılaştırılması

- *Senaryo B-II :*

NN yaklaşımında reklamasyon maliyeti 5 \$/ton ile 150 \$/oz bakır fiyatının Senaryo B'ye göre iterasyon algoritmasında kullanılmasıdır. Geleneksel COG'in eşitlik 5.2'deki

algoritmasına göre \$109,5 milyon NPV ve \$504,9 milyon fayda olarak değerler elde edilmiştir (Tablo 5.34).

Tablo 5.34: Senaryo B-II'nin Geleneksel COG Sonuçları

Yıl	Toplam (atık+ cevher)	Toplam üretim, t	Toplam konsantre, t	Toplam rafineri, t	Fayda, \$	Yıllık NPV, \$	Optimum COG (oz/ton)
1	67.710.375	2.292.932	930.000	460.554	16.832.593	16.832.593	0,217
2	65.417.443	2.292.932	930.000	460.554	16.832.593	14.264.909	0,217
3	63.124.510	2.292.932	930.000	460.554	16.832.593	12.088.906	0,217
4	60.831.578	2.292.932	930.000	460.554	16.832.593	10.244.836	0,217
5	58.538.646	2.292.932	930.000	460.554	16.832.593	8.682.064	0,217
6	56.245.713	2.292.932	930.000	460.554	16.832.593	7.357.682	0,217
7	53.952.781	2.292.932	930.000	460.554	16.832.593	6.235.323	0,217
8	51.659.848	2.292.932	930.000	460.554	16.832.593	5.284.172	0,217
9	49.366.916	2.292.932	930.000	460.554	16.832.593	4.478.112	0,217
10	47.073.984	2.292.932	930.000	460.554	16.832.593	3.795.010	0,217
11	44.781.051	2.292.932	930.000	460.554	16.832.593	3.216.110	0,217
12	42.488.119	2.292.932	930.000	460.554	16.832.593	2.725.517	0,217
13	40.195.187	2.292.932	930.000	460.554	16.832.593	2.309.760	0,217
14	37.902.254	2.292.932	930.000	460.554	16.832.593	1.957.424	0,217
15	35.609.322	2.292.932	930.000	460.554	16.832.593	1.658.834	0,217
16	33.316.389	2.292.932	930.000	460.554	16.832.593	1.405.791	0,217
17	31.023.457	2.292.932	930.000	460.554	16.832.593	1.191.349	0,217
18	28.730.525	2.292.932	930.000	460.554	16.832.593	1.009.618	0,217
19	26.437.592	2.292.932	930.000	460.554	16.832.593	855.608	0,217
20	24.144.660	2.292.932	930.000	460.554	16.832.593	725.092	0,217
21	21.851.728	2.292.932	930.000	460.554	16.832.593	614.484	0,217
22	19.558.795	2.292.932	930.000	460.554	16.832.593	520.750	0,217
23	17.265.863	2.292.932	930.000	460.554	16.832.593	441.313	0,217
24	14.972.930	2.292.932	930.000	460.554	16.832.593	373.994	0,217
25	12.679.998	2.292.932	930.000	460.554	16.832.593	316.944	0,217
26	10.387.066	2.292.932	930.000	460.554	16.832.593	268.597	0,217
27	8.094.133	2.292.932	930.000	460.554	16.832.593	227.624	0,217
28	5.801.201	2.292.932	930.000	460.554	16.832.593	192.902	0,217
29	3.508.269	2.292.932	930.000	460.554	16.832.593	163.476	0,217
30	1.215.336	2.292.932	930.000	460.554	16.832.593	138.539	0,217
Toplam		68.787.971			504.977.788	109.577.336	

Yatırım ve fırsat maliyetini içeren Lane algoritmasına dayalı sonuçlar \$177,7 milyon NPV, \$367,7 milyon fayda ve 14 yıl işletme ömrü elde edilmiştir (Tablo 5.35). Bu tabloda uygulanan eşitlik 4.10 formülü optimizasyon faktörsüz(σ) olarak COG hesaplanmıştır. Tablo 5.35 ile optimizasyon faktörü kullanılarak yaklaşık \$246 milyon NPV ve \$294,8 milyon fayda ve 4 yıl işletme ömrü elde edilmiştir (Tablo 5.36).

Tablo 5.35: Senaryo B-II'nin Lane Algoritması COG politikası

Yıl	Toplam (atık+ cevher)	Toplam üretim, t	Toplam konsantre, t	Toplam rafineri, t	Fayda, \$	Yıllık NPV, \$	Optimum COG (oz/ton)
1	67.710.375	9.099.259	930.000	1.040.886	43.396.943	43.396.943	0,452
2	58.611.116	7.054.235	930.000	866.520	35.415.438	30.013.083	0,429
3	51.556.880	5.925.624	930.000	770.291	31.010.592	22.271.324	0,410
4	45.631.256	5.218.124	930.000	709.966	28.249.294	17.193.393	0,393
5	40.413.133	4.738.649	930.000	669.085	26.377.959	13.605.458	0,379
6	35.674.483	4.396.310	930.000	639.896	25.041.845	10.946.021	0,367
7	31.278.174	4.142.679	930.000	618.270	24.051.952	8.909.601	0,357
8	27.135.495	3.949.579	930.000	601.806	23.298.303	7.313.921	0,349
9	23.185.916	3.799.491	930.000	589.009	22.712.528	6.042.399	0,342
10	19.386.424	3.680.950	930.000	578.901	22.249.872	5.016.369	0,335
11	15.705.475	3.586.132	930.000	570.817	21.879.808	4.180.454	0,330
12	12.119.343	3.509.520	930.000	564.285	21.580.800	3.494.342	0,326
13	8.609.824	3.447.111	930.000	558.963	21.337.227	2.927.884	0,322
14	5.162.712	3.395.935	930.000	554.600	21.137.490	2.458.031	0,319
Toplam		65.943.597			367.740.051	177.769.223	

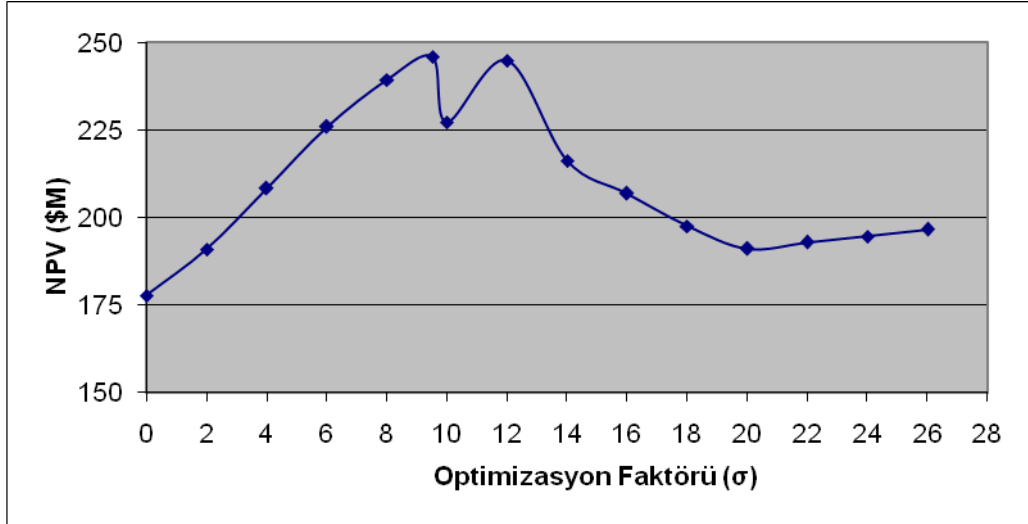
Tablo 5.36'da uygulanan $g_u(i)=c+m+r+f+Fi+\sigma / (P-s)*y$ formülü, optimum COG yaklaşımı kullanılarak bulunan optimizasyon faktörünü (σ) göstermektedir. Buradaki optimizasyon faktörü yıllara göre değişmemekle beraber maksimum NPV için 9,53 olarak hesaplanmıştır (Şekil 5.32).

Tablo 5.36: Optimizasyon faktörü (σ) kullanılarak Senaryo B-II'nin COG politikası

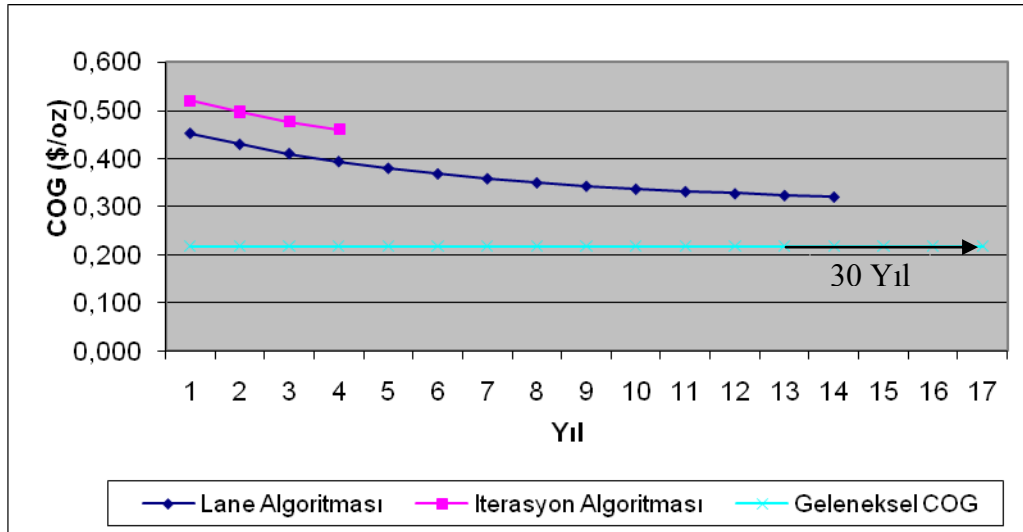
Yıl	Toplam (atık+ cevher)	Toplam üretim, t	Toplam konsantre, t	Toplam rafineri, t	Fayda, \$	Yıllık NPV, \$	Optimum COG (oz/ton)
1	67.710.375	23.748.750	930.000	2.283.486	99.604.610	99.604.610	0,519
2	43.961.625	20.578.344	930.000	2.019.636	88.198.554	74.744.538	0,496
3	23.383.281	13.228.464	930.000	1.392.958	59.512.779	42.741.151	0,477
4	10.154.817	10.154.785	930.000	1.130.885	47.516.545	28.920.037	0,460
Toplam		67.710.343			294.832.489	246.010.335	

Geleneksel COG'de toplam NPV \$109,5 milyon, Lane algoritmasıyla toplam NPV \$177,7 milyona ve iterasyon algoritmasıyla da toplam NPV \$246 milyona maksimize edilmiştir. Geleneksel COG hesaplamalarında toplam 30 yıl işletme ömrü boyunca ekonomik sınır tenör sabit kalarak 0,217 oz/ton, Lane algoritmasıyla işletme ömrü 14 yıla düşerken COG 0,452 oz/ton'a kadar yükselmiştir. En yüksek NPV, iterasyon

algoritmasıyla Excel programında hesaplanması sonucu COG 0,519 oz/ton ile 0,460 oz/ton arasında değişmiş, işletme ömrü 4 yıla indirilmiştir (Şekil 5.33.a).



Şekil 5.32: Senaryo B-II'nin farklı optimizasyon faktörleri ve toplam NPV değerlerinin analizi

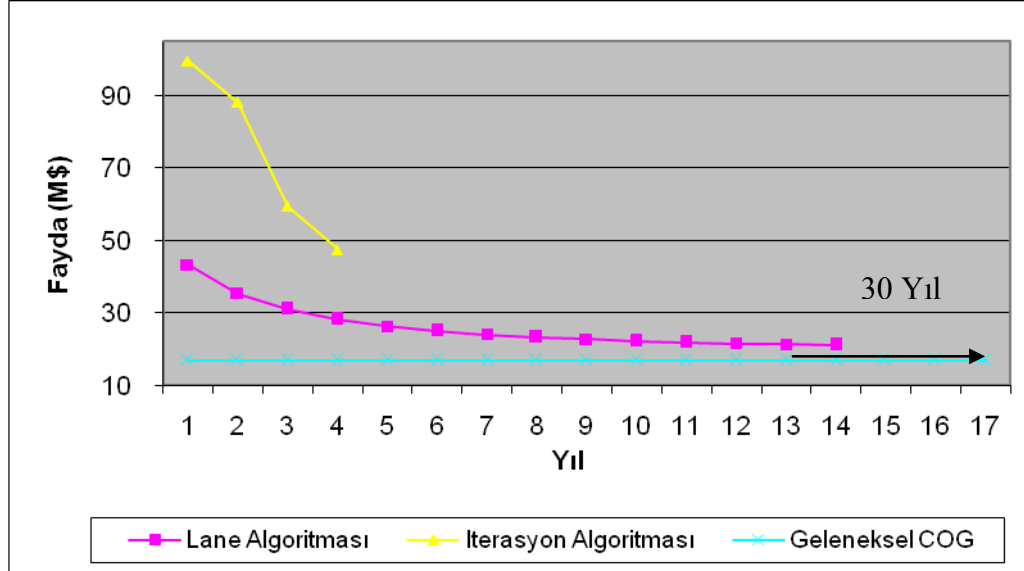


Şekil 5.33.a: Senaryo B-II'nin COG dağılımları

İterasyon algoritmasında ilk yıl fayda \$99,6 milyon'dan 4 yıl sonra \$47,5 milyon'a, Lane algoritmasında ilk yıl \$43,4 milyon olan fayda son yıl \$21 milyon'a kadar azalmış ve Geleneksel COG'da \$16,8 milyon olarak değişmemiştir (Şekil 5.33.b).

Lane algoritmasında toplam üretilen malzeme miktarının 52,9 milyon ton'u, İterasyon algoritmasında üretilen malzemenin 63,9 milyon ton'u ve Geleneksel COG'in

toplamdaki malzemenin 40,8 milyon ton'u atık olarak elde edilmektedir. Lane Algoritması'ndaki yıllık atık miktarları, İterasyon Algoritması'nın işletme ömrü boyunca aynı yıllarda ki atık miktarının yaklaşık yarı oranında olduğu görülmektedir (Tablo 5.37, Şekil 5.34).

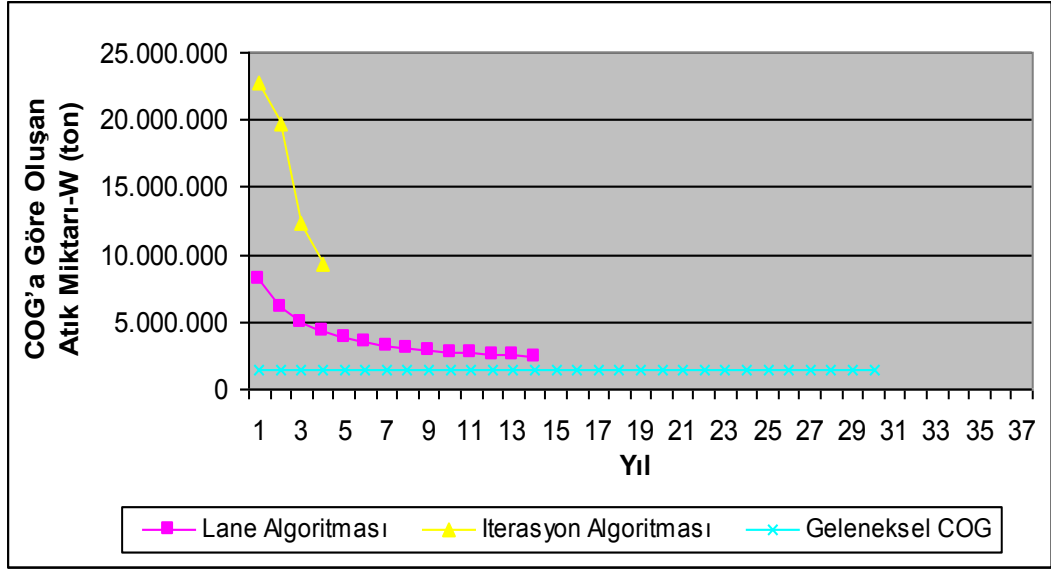


Şekil 5.33.b: Senaryo B-II'nin Fayda dağılımları

Tablo 5.37: Senaryo B-II'nin

COG'a göre oluşan Atık miktarlarının (W) sonuçları

Yıl	Geleneksel COG	Lane Algoritması	İterasyon Algoritması
0	1.362.932	8.169.259	22.818.750
1	1.362.932	6.124.235	19.648.344
2	1.362.932	4.995.624	12.298.464
3	1.362.932	4.288.124	9.224.785
4	1.362.932	3.808.649	-
5	1.362.932	3.466.310	-
6	1.362.932	3.212.679	-
7	1.362.932	3.019.579	-
8	1.362.932	2.869.491	-
9	1.362.932	2.750.950	-
10	1.362.932	2.656.132	-
11	1.362.932	2.579.520	-
12	1.362.932	2.517.111	-
13	1.362.932	2.465.935	-
14-29	1.362.932	-	-
Toplam	40.887.971	52.923.597	63.990.343

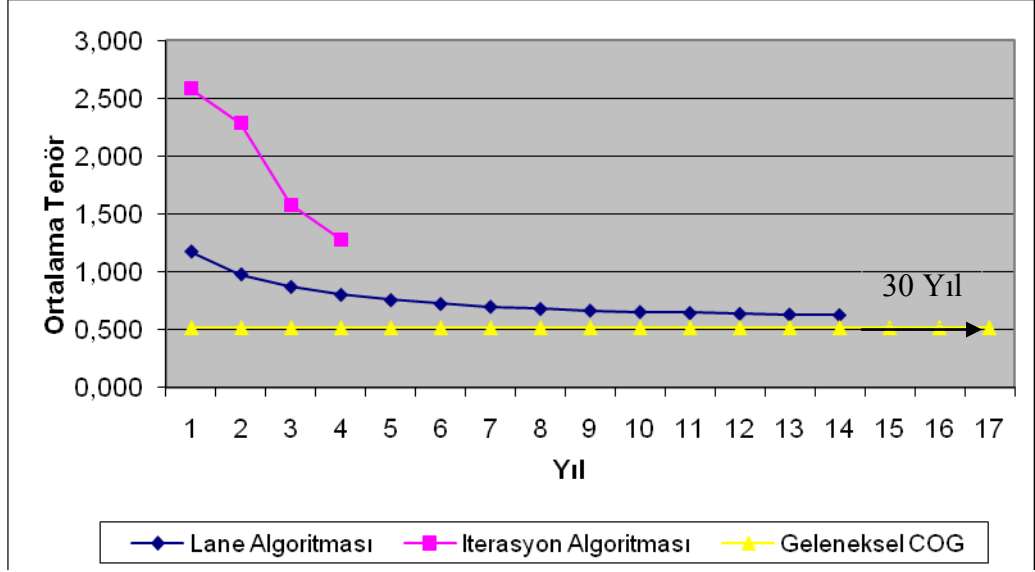


Şekil 5.34: Senaryo B-II'nin COG'a göre oluşan Atık miktarlarının (W) dağılımları

Geleneksel COG hesaplamalarında yıllara göre değişmeyen 0,521 ortalama tenör vardır. Buna karşın Lane Algoritması 2. işletme yılında 0,981 ortalama tenörle 1'in altına düşmektedir. İterasyon Algoritması ise işletme ömrünün son yılında 1,280 ortalama tenöre inerek genel ortalama tenörü 1,932 ile diğer yaklaşımların genel ortalama tenörlerinin 2 katından fazla olarak belirlenmiştir (Tablo 5.38, Şekil 5.35).

Tablo 5.38: Senaryo B-II'nin Ortalama Tenör sonuçları

Yıl	Geleneksel COG	Lane Algoritması	İterasyon Algoritması
0	0,521	1,178	2,585
1	0,521	0,981	2,286
2	0,521	0,872	1,577
3	0,521	0,804	1,280
4	0,521	0,757	-
5	0,521	0,724	-
6	0,521	0,700	-
7	0,521	0,681	-
8	0,521	0,667	-
9	0,521	0,655	-
10	0,521	0,646	-
11	0,521	0,639	-
12	0,521	0,633	-
13	0,521	0,628	-
14-29	0,521	-	-
Ort.	0,521	0,755	1,932

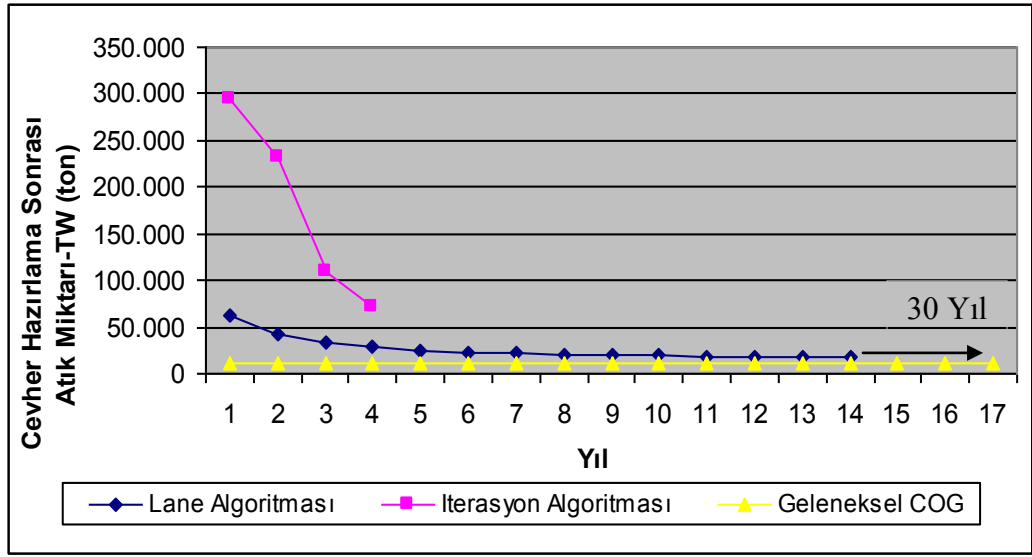


Şekil 5.35: Senaryo B-II'nin Ortalama Tenörlerin karşılaştırılması

Sonraki bölümde cevher hazırlama sonrası atık miktarları hesaplanmış ve sonuç olarak Geleneksel COG'a göre toplam 360.119 ton, Lane'de 366.701 ton ve iterasyon'da 708.119 ton atık elde edilmektedir (Tablo 5.39, Şekil 5.36).

Tablo 5.39: Senaryo B-II'nin
Cevher Hazırlama Sonrası Atık (TW) Sonuçları

Yıl	Geleneksel COG	Lane Algoritması	İterasyon Algoritması
0	12.004	61.315	295.094
1	12.004	42.493	230.839
2	12.004	33.579	109.809
3	12.004	28.526	72.377
4	12.004	25.335	-
5	12.004	23.173	-
6	12.004	21.633	-
7	12.004	20.496	-
8	12.004	19.634	-
9	12.004	18.966	-
10	12.004	18.440	-
11	12.004	18.020	-
12	12.004	17.682	-
13	12.004	17.407	-
14-29	12.004	-	-
Toplam	360.119	366.701	708.119

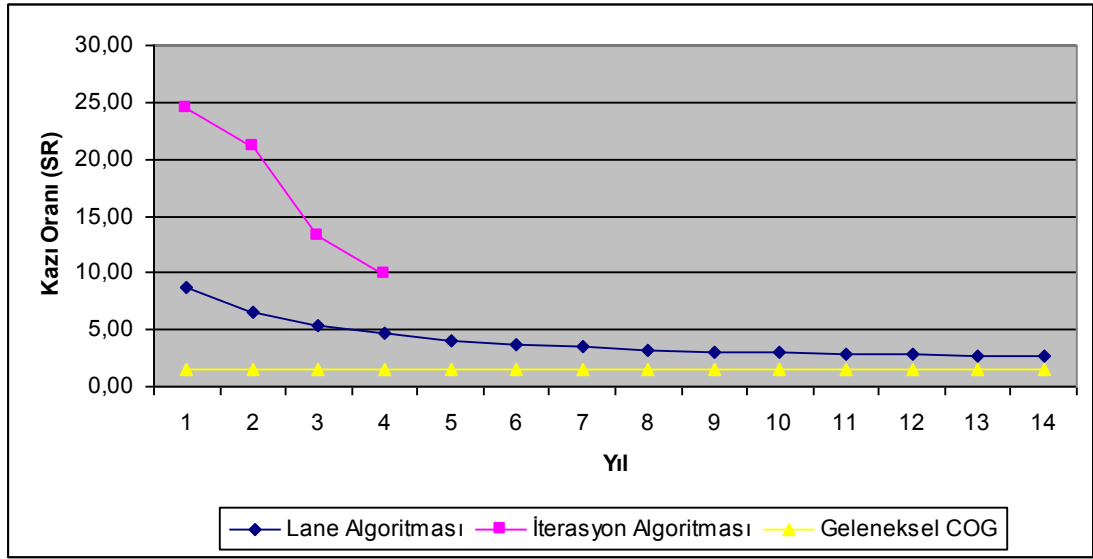


Şekil 5.36: Senaryo B-II'nin Cevher Hazırlama Sonrası Atık (TW) miktarlarının karşılaştırılması

Buradaki kazı oranında sadece iterasyon algoritmasının sonuçları 20'nin üstünde er almaktadır. Ayrıca Senaryo B-I'e göre işletme ömrü kısılırken kazı oranlarının düştüğünde görülmektedir (Tablo 5.40, Şekil 5.37).

Tablo 5.40: Senaryo B-II'nin Kazı Oranı (SR) Sonuçları

Yıl	Geleneksel COG	Lane Algoritması	İterasyon Algoritması
0	1,47	8,78	24,54
1	1,47	6,59	21,13
2	1,47	5,37	13,22
3	1,47	4,61	9,92
4	1,47	4,10	-
5	1,47	3,73	-
6	1,47	3,45	-
7	1,47	3,25	-
8	1,47	3,09	-
9	1,47	2,96	-
10	1,47	2,86	-
11	1,47	2,77	-
12	1,47	2,71	-
13	1,47	2,65	-
14-29	1,47	-	-
Ort.	1,47	4,06	17,20



Şekil 5.37: Senaryo B-II'nin Kazı Oranlarının (SR) karşılaştırılması

- Senaryo B-III :

Senaryo BI ve Senaryo BII'de yapılan işlem adımları bu kez 90 \$/oz bakır fiyatı ile reklamasyon maliyeti 5 \$/ton parametrelerinde denenmiştir. Geleneksel COG'in eşitlik 5.2'deki algoritmasına göre 16 yıl işletme ömrü boyunca \$80,4 milyon NPV ve \$211,2 milyon fayda olarak negatif değerler elde edilmiştir. Dolayısıyla daha önceki parametrelerde yapılan Lane ve İterasyon Algoritma işlemleri bu değerde yapılamamaktadır.

- Senaryo B-IV :

NN yaklaşımında reklamasyon maliyeti 10 \$/ton ile 230 \$/oz bakır fiyatının Senaryo B'ye göre iterasyon algoritmasında kullanılmasıdır. Senaryo BI'deki yapılan işlem adımları aynı şekilde bu parametrede de yapılmıştır. Eşitlik 5.2 algoritmasına göre Geleneksel COG hesaplanmış ve \$264 milyon NPV ile \$1.411 milyon fayda elde edilmiştir (Tablo 5.41).

Tablo 5.42'de Lane algoritmasına dayalı uygulanan $g_u(i) = c + m + r + f + Fi / (P - s) \cdot y$ formülü ile optimizasyon faktörü (σ) olmadan COG hesaplanmış ve \$357 milyon NPV, \$935 milyon fayda ve 19 yıl işletme ömrü sonuçları elde edilmiştir.

Tablo 5.42 ile optimizasyon faktörü kullanılarak yaklaşık \$429 milyon NPV ve \$590 milyon profit ve 7 yıl işletme ömrü elde edilmektedir (Tablo 5.43).

Tablo 5.41: Senaryo B-IV'ün Geleneksel COG Sonuçları

Yıl	Toplam (atık+ cevher)	Toplam üretim, t	Toplam konsantre, t	Toplam rafineri, t	Fayda, \$	Yıllık NPV, \$	Optimum COG (oz/ton)
1	67.710.375	1.963.104	930.000	432.432	40.324.311	40.324.311	0,164
2	65.747.271	1.963.104	930.000	432.432	40.324.311	34.173.145	0,164
3	63.784.166	1.963.104	930.000	432.432	40.324.311	28.960.292	0,164
4	61.821.062	1.963.104	930.000	432.432	40.324.311	24.542.620	0,164
5	59.857.958	1.963.104	930.000	432.432	40.324.311	20.798.831	0,164
6	57.894.853	1.963.104	930.000	432.432	40.324.311	17.626.128	0,164
7	55.931.749	1.963.104	930.000	432.432	40.324.311	14.937.396	0,164
8	53.968.645	1.963.104	930.000	432.432	40.324.311	12.658.811	0,164
9	52.005.540	1.963.104	930.000	432.432	40.324.311	10.727.806	0,164
10	50.042.436	1.963.104	930.000	432.432	40.324.311	9.091.361	0,164
11	48.079.332	1.963.104	930.000	432.432	40.324.311	7.704.543	0,164
12	46.116.227	1.963.104	930.000	432.432	40.324.311	6.529.274	0,164
13	44.153.123	1.963.104	930.000	432.432	40.324.311	5.533.283	0,164
14	42.190.019	1.963.104	930.000	432.432	40.324.311	4.689.223	0,164
15	40.226.915	1.963.104	930.000	432.432	40.324.311	3.973.918	0,164
16	38.263.810	1.963.104	930.000	432.432	40.324.311	3.367.727	0,164
17	36.300.706	1.963.104	930.000	432.432	40.324.311	2.854.006	0,164
18	34.337.602	1.963.104	930.000	432.432	40.324.311	2.418.649	0,164
19	32.374.497	1.963.104	930.000	432.432	40.324.311	2.049.702	0,164
20	30.411.393	1.963.104	930.000	432.432	40.324.311	1.737.036	0,164
21	28.448.289	1.963.104	930.000	432.432	40.324.311	1.472.064	0,164
22	26.485.184	1.963.104	930.000	432.432	40.324.311	1.247.512	0,164
23	24.522.080	1.963.104	930.000	432.432	40.324.311	1.057.214	0,164
24	22.558.976	1.963.104	930.000	432.432	40.324.311	895.944	0,164
25	20.595.871	1.963.104	930.000	432.432	40.324.311	759.274	0,164
26	18.632.767	1.963.104	930.000	432.432	40.324.311	643.453	0,164
27	16.669.663	1.963.104	930.000	432.432	40.324.311	545.299	0,164
28	14.706.558	1.963.104	930.000	432.432	40.324.311	462.118	0,164
29	12.743.454	1.963.104	930.000	432.432	40.324.311	391.625	0,164
30	10.780.350	1.963.104	930.000	432.432	40.324.311	331.886	0,164
31	8.817.245	1.963.104	930.000	432.432	40.324.311	281.259	0,164
32	6.854.141	1.963.104	930.000	432.432	40.324.311	238.355	0,164
33	4.891.037	1.963.104	930.000	432.432	40.324.311	201.996	0,164
34	2.927.932	1.963.104	930.000	432.432	40.324.311	171.183	0,164
35	964.828	1.963.104	457.077	212.532	40.324.311	145.070	0,164
Toplam		68.708.651			1.411.350.869	263.542.312	

Tablo 5.43'de uygulanan eşitlik 4.10 denklemi, optimum COG yaklaşımı kullanılarak bulunan optimizasyon faktörünü (σ) göstermektedir. Buradaki optimizasyon faktörü

yıllara göre değişmemekle beraber, maksimum NPV için 13,27 olarak hesaplanmıştır (Şekil 5.38).

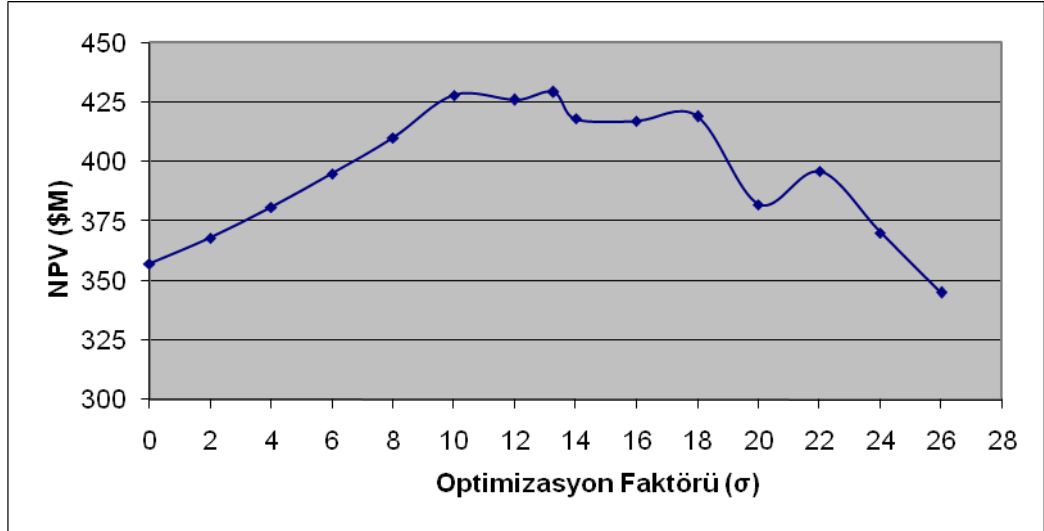
Tablo 5.42: Senaryo B-IV'ün Lane Algoritması COG politikası

Yıl	Toplam (atık+ cevher)	Toplam üretim, t	Toplam konsantre, t	Toplam rafineri, t	Fayda, \$	Yıllık NPV, \$	Optimum COG (oz/ton)
1	67.710.375	9.346.561	930.000	1.061.972	82.587.118	82.587.118	0,454
2	58.363.814	6.380.901	930.000	809.109	65.611.715	55.603.149	0,418
3	51.982.913	5.028.695	930.000	693.815	57.871.706	41.562.559	0,388
4	46.954.218	4.263.092	930.000	628.537	53.489.406	32.555.304	0,362
5	42.691.127	3.775.913	930.000	586.998	50.700.802	26.150.910	0,340
6	38.915.214	3.442.519	930.000	558.572	48.792.459	21.327.633	0,322
7	35.472.695	3.202.861	930.000	538.138	47.420.660	17.566.108	0,306
8	32.269.834	3.024.427	930.000	522.924	46.399.308	14.565.904	0,293
9	29.245.407	2.888.074	930.000	511.298	45.618.824	12.136.348	0,282
10	26.357.333	2.781.791	930.000	502.236	45.010.461	10.147.882	0,272
11	23.575.542	2.697.659	930.000	495.062	44.528.891	8.507.889	0,264
12	20.877.883	2.630.245	930.000	489.314	44.143.013	7.147.594	0,257
13	18.247.639	2.575.697	930.000	484.663	43.830.783	6.014.439	0,252
14	15.671.941	2.531.211	930.000	480.870	43.576.144	5.067.371	0,247
15	13.140.731	2.494.696	930.000	477.757	43.367.134	4.273.785	0,242
16	10.646.035	2.464.566	930.000	475.188	43.194.671	3.607.448	0,239
17	8.181.468	2.439.596	930.000	473.059	43.051.744	3.047.043	0,236
18	5.741.872	2.418.828	930.000	471.288	42.932.867	2.575.110	0,233
19	3.323.044	2.401.503	930.000	469.811	42.833.697	2.177.256	0,231
Toplam		66.788.834			934.961.405	356.620.848	

Tablo 5.38: Optimizasyon faktörü (σ) kullanılarak Senaryo B-IV'ün COG politikası

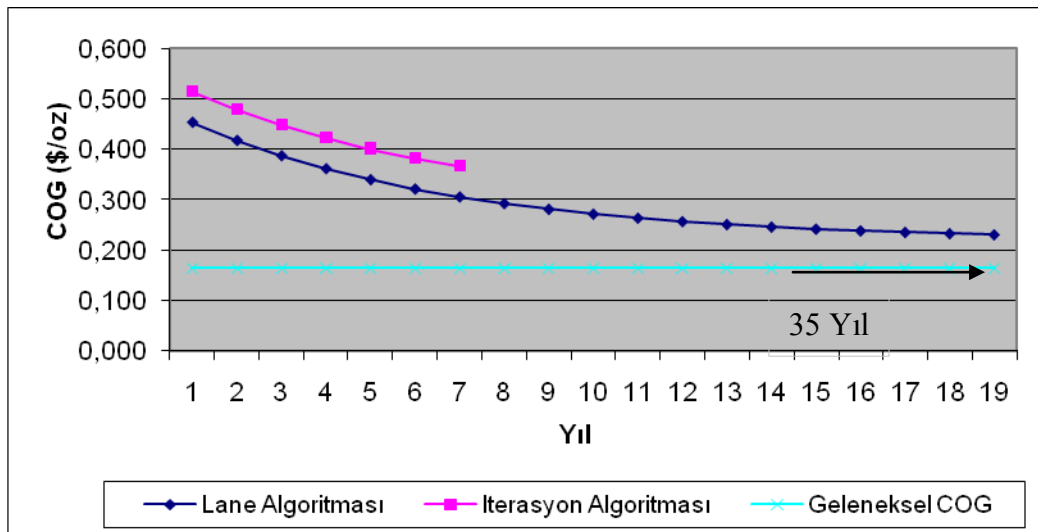
Yıl	Toplam (atık+ cevher)	Toplam üretim, t	Toplam konsantre, t	Toplam rafineri, t	Fayda, \$	Yıllık NPV, \$	Optimum COG (oz/ton)
1	67.710.375	23.635.469	930.000	2.275.249	163.217.695	163.217.695	0,515
2	44.074.906	13.861.291	930.000	1.446.915	108.429.367	91.889.294	0,479
3	30.213.615	8.750.098	930.000	1.011.116	79.172.970	56.860.795	0,449
4	21.463.517	6.666.791	930.000	833.485	67.248.147	40.929.298	0,423
5	14.796.726	5.547.472	930.000	738.048	60.841.184	31.381.206	0,401
6	9.249.254	4.856.476	930.000	679.131	56.885.928	24.865.364	0,383
7	4.392.778	4.392.775	930.000	639.594	54.231.712	20.089.136	0,367
Toplam		67.710.372			590.027.003	429.232.788	

Geleneksel COG'de toplam NPV \$264 milyon, Lane algoritmasıyla toplam NPV \$357 milyona ve iterasyon algoritmasıyla da toplam NPV NPV \$429 milyona maksimize edilmiştir.

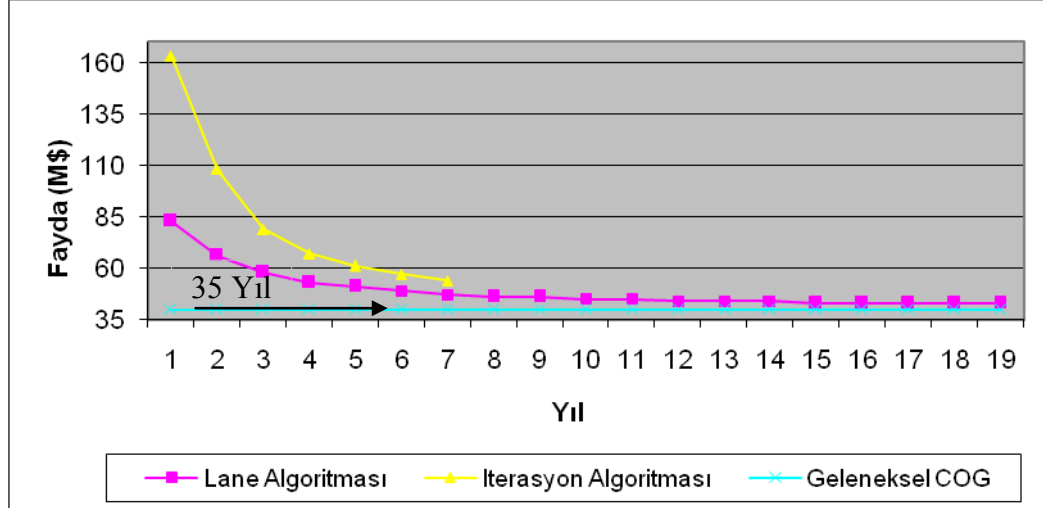


Şekil 5.38: Senaryo B-IV'ün farklı optimizasyon faktörleri ve toplam NPV değerlerinin analizi

Geleneksel COG hesaplamalarında toplam 35 yıl işletme ömrü boyunca ekonomik sınır tenör sabit kalarak 0,164 oz/ton, Lane algoritmasıyla işletme ömrü 19 yıla düşerken COG 0,454 oz/ton'a kadar yükselmiştir. En yüksek NPV, iterasyon algoritmasıyla Excel programında hesaplanması sonucu COG 0,515 oz/ton ile 0,367 oz/ton arasında değişmiş, işletme ömrü 7 yıla inmiştir (Şekil 5.39.a). İterasyon algoritmasında ilk yıl fayda \$163,2 milyon'dan 7 yıl sonra \$54 milyon'a, Lane algoritmasında ilk yıl \$82,5 milyon olan fayda son yıl \$42,8 milyon'a kadar azalmış ve Geleneksel COG'da \$40,3 milyon olarak sabit kalmıştır (Şekil 5.39.b).



Şekil 5.39.a: Senaryo B-IV'ün COG dağılımları

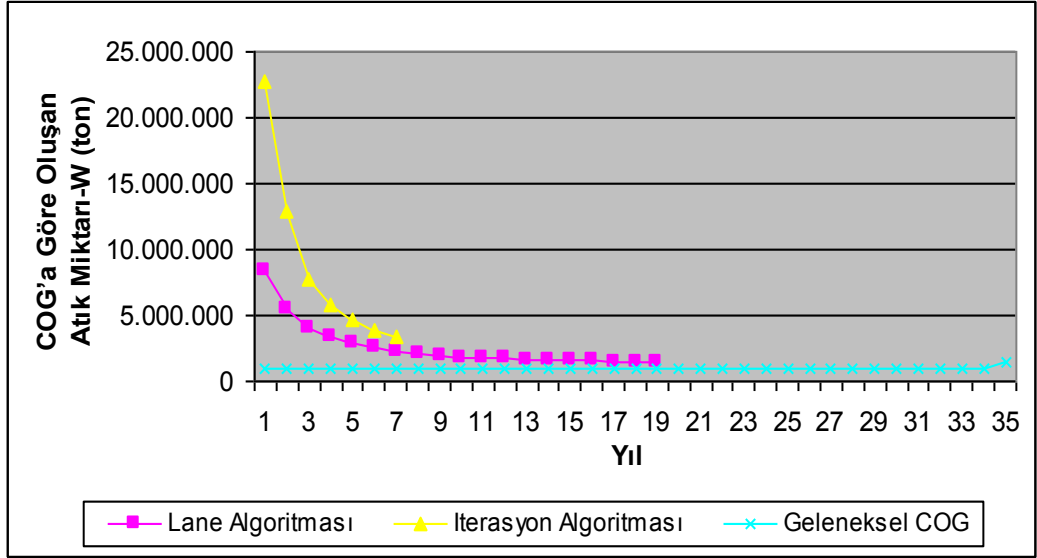


Şekil 5.39.b: Senaryo B-IV'ün Fayda dağılımları

Lane algoritmasında toplam üretilen malzeme miktarının 49 milyon ton'u, İterasyon algoritmasında üretilen malzemenin 61 milyon ton'u ve Geleneksel COG'in toplamdaki malzemenin 36 milyon ton'u atık olarak elde edilmiştir (Tablo 5.44, Şekil 5.40).

Tablo 5.44: Senaryo B-IV'ün COG'a göre oluşan Atık miktarlarının (W) sonuçları

Yıl	Geleneksel COG	Lane Algoritması	İterasyon Algoritması
0	1.033.104	8.416.561	22.705.469
1	1.033.104	5.450.901	12.931.291
2	1.033.104	4.098.695	7.820.098
3	1.033.104	3.333.092	5.736.791
4	1.033.104	2.845.913	4.617.472
5	1.033.104	2.512.519	3.926.476
6	1.033.104	2.272.861	3.462.775
7	1.033.104	2.094.427	-
8	1.033.104	1.958.074	-
9	1.033.104	1.851.791	-
10	1.033.104	1.767.659	-
11	1.033.104	1.700.245	-
12	1.033.104	1.645.697	-
13	1.033.104	1.601.211	-
14	1.033.104	1.564.696	-
15	1.033.104	1.534.566	-
16	1.033.104	1.509.596	-
17	1.033.104	1.488.828	-
18	1.033.104	1.471.503	-
19-34	1.033.104	-	-
Toplam	36.158.651	49.118.834	61.200.372

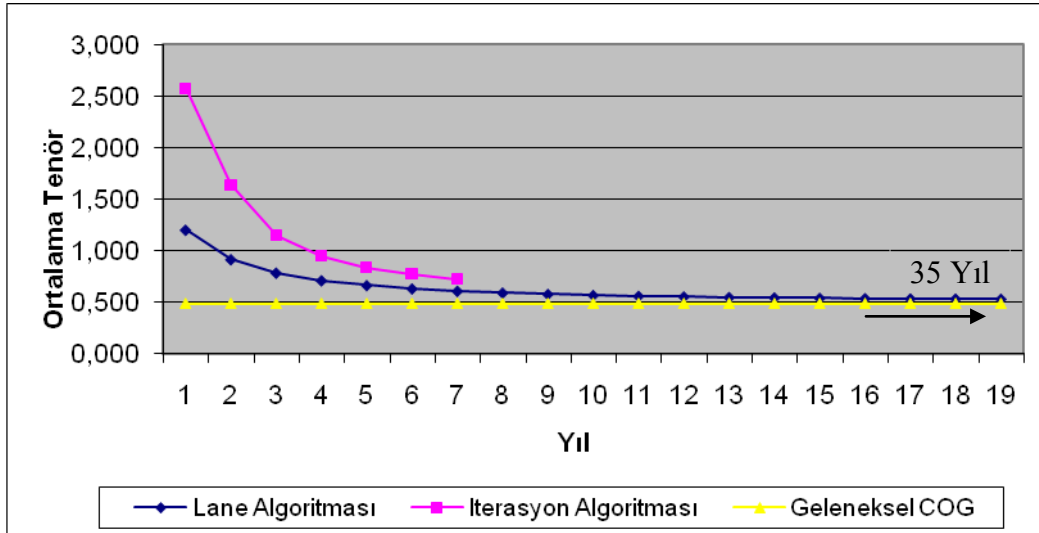


Şekil 5.40: Senaryo B-IV'ün COG'a göre oluşan Atık miktarlarının (W) yıllara göre dağılımları

Tablo 5.45: Senaryo B-IV'ün Ortalama Tenör sonuçları

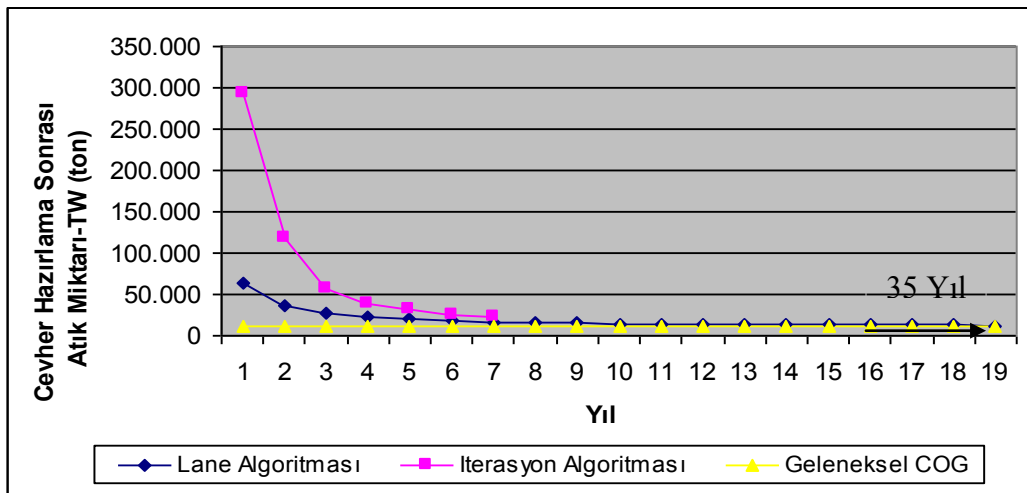
Yıl	Geleneksel COG	Lane Algoritması	İterasyon Algoritması
0	0,489	1,202	2,575
1	0,489	0,916	1,638
2	0,489	0,785	1,144
3	0,489	0,711	0,943
4	0,489	0,664	0,835
5	0,489	0,632	0,769
6	0,489	0,609	0,724
7	0,489	0,592	-
8	0,489	0,579	-
9	0,489	0,568	-
10	0,489	0,560	-
11	0,489	0,554	-
12	0,489	0,549	-
13	0,489	0,544	-
14	0,489	0,541	-
15	0,489	0,538	-
16	0,489	0,535	-
17	0,489	0,533	-
18	0,489	0,532	-
19-34	0,489	-	-
Ort.	0,489	0,639	1,233

Geleneksel COG algoritması işletme ömrü boyunca değişmeyen 0,489 ortalama tenör sahiptir. Buna karşın Lane Algoritması 2. işletme yılında 0,916 ortalama tenörle 1'in altına düşmektedir. İterasyon Algoritması ise işletme ömrünün son yılında 0,724 ortalama tenöre inerek genel ortalama tenörü 1,233 olarak belirlenmiştir (Tablo 5.45, Şekil 5.41).



Şekil 5.41: Senaryo B-IV'ün Ortalama Tenörlerin karşılaştırılması

Geçerli olan parametrelere göre cevher hazırlama sonrası atık miktarları hesaplanmış ve sonuç olarak Geleneksel COG'a göre toplam 370.396 ton, Lane'de 365.789 ton ve iterasyon'da 588.703 ton atık elde edilmektedir (Tablo 5.46, Şekil 5.42).

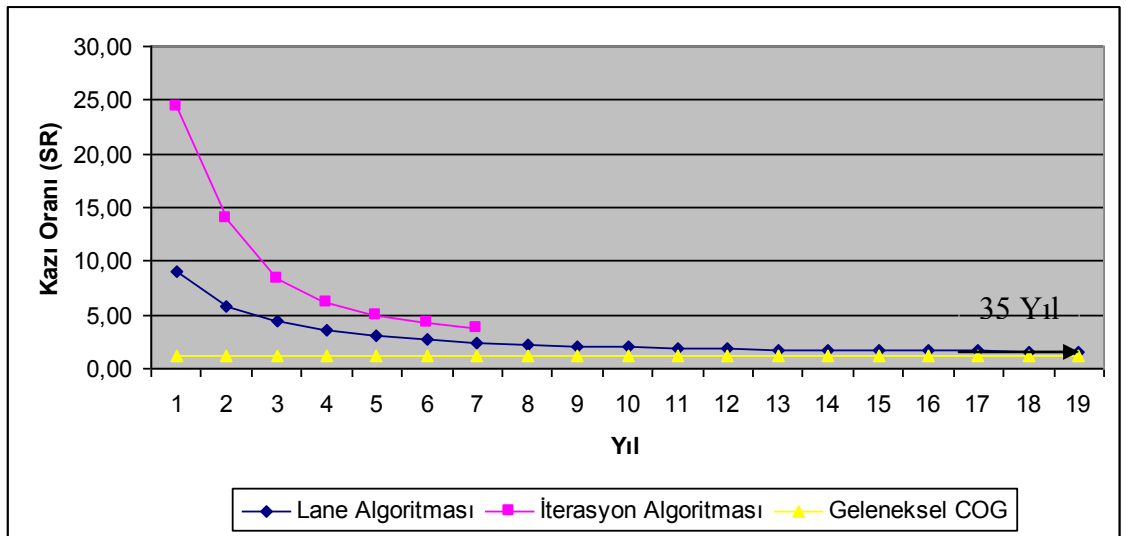


Şekil 5.42: Senaryo B-IV'ün Cevher Hazırlama Sonrası Atık (TW) miktarlarının karşılaştırılması

Tablo 5.46: Senaryo B-IV'ün
Cevher Hazırlama Sonrası Atık (TW) Sonuçları

Yıl	Geleneksel COG	Lane Algoritması	İterasyon Algoritması
0	10.583	63.825	292.969
1	10.583	37.049	118.481
2	10.583	27.243	57.858
3	10.583	22.358	39.315
4	10.583	19.500	30.827
5	10.583	17.657	26.102
6	10.583	16.389	23.151
7	10.583	15.475	-
8	10.583	14.795	-
9	10.583	14.275	-
10	10.583	13.870	-
11	10.583	13.550	-
12	10.583	13.294	-
13	10.583	13.086	-
14	10.583	12.917	-
15	10.583	12.779	-
16	10.583	12.665	-
17	10.583	12.570	-
18	10.583	12.491	-
19-34	10.583	-	-
Toplam	370.396	365.789	588.703

Senaryo B-IV'ün kazı oranlarına bakıldığında sadece iterasyon algoritmasının ilk yıl ki sonuçları 20'nin üstünde er almaktadır (Tablo 5.47, Şekil 5.43).



Şekil 5.43: Senaryo B-IV'ün Kazı Oranlarının (SR) karşılaştırılması

Tablo 5.47: Senaryo B-IV'ün Kazı Oranı (SR) Sonuçları

Yıl	Geleneksel COG	Lane Algoritması	İterasyon Algoritması
0	1,11	9,05	24,41
1	1,11	5,86	13,90
2	1,11	4,41	8,41
3	1,11	3,58	6,17
4	1,11	3,06	4,97
5	1,11	2,70	4,22
6	1,11	2,44	3,72
7	1,11	2,25	-
8	1,11	2,11	-
9	1,11	1,99	-
10	1,11	1,90	-
11	1,11	1,83	-
12	1,11	1,77	-
13	1,11	1,72	-
14	1,11	1,68	-
15	1,11	1,65	-
16	1,11	1,62	-
17	1,11	1,60	-
18	1,11	1,58	-
19-34	1,11	-	-
Ort.	1,11	2,78	9,40

- Senaryo B-V :

Daha önce yapılan işlem adımları bu kez 150 \$/oz bakır fiyatı ile reklamasyon maliyeti 10 \$/ton parametrelerinde denenmiştir. Geleneksel COG'in eşitlik 5.2'deki algoritmasına göre 27 yıl işletme ömrü boyunca \$32,7 milyon NPV ve \$136,3 milyon fayda olarak değerler elde edilmiştir. Yatırım ve fırsat maliyetini kullanan Lane algoritmasına dayalı sonuçlar \$19 milyon NPV, \$54 milyon profit ve 16 yıl işletme ömrü olarak çıkmıştır. Lane algoritmasında çıkan sonuçlar itere edilmiş ve optimizasyon faktörü negatif bir değer olan -33,92 olarak hesaplanmıştır. Bu veriler ışığında işletmenin zarar ettiği görülmüş ve daha önceki parametrelerde yapılan tablo ve grafikler bu parametrede oluşturulamamıştır.

- Senaryo B-VI :

Senaryo B-V'deki işlem adımları bu kez 90 \$/oz bakır fiyatı ile reklamasyon maliyeti 10 \$/ton parametrelerinde denenmiştir. Geleneksel COG'in eşitlik 5.2'deki algoritmasına göre 11 yıl işletme ömrü boyunca \$268 milyon NPV ve \$536,7 milyon

fayda olarak negatif değerler elde edilmiştir. Dolayısıyla daha önceki parametrelerde yapılan Lane ve İterasyon Algoritma işlemleri bu değerde yapılamamaktadır.

- Senaryo B-VII :

NN yaklaşımında reklamasyon maliyeti 20 \$/ton ile 230 \$/oz bakır fiyatının Senaryo B'ye göre iterasyon algoritmasında kullanılmasıdır. Daha önce yapılan işlem adımları aynı şekilde bu parametrede de yapılmıştır. Geleneksel COG'in eşitlik 5.2'deki algoritmasına göre 31 yıl işletme ömrü boyunca \$127 milyon NPV ve \$604 milyon fayda olarak değerler elde edilmiştir. Lane algoritmasına dayalı sonuçlar \$85 milyon NPV, \$325 milyon profit ve 21 yıl işletme ömrü olarak çıkmıştır. Lane algoritmasında çıkan sonuçlar itere edilmiş ve optimizasyon faktörü negatif bir değer olan -38,80 olarak hesaplanmıştır. Bu veriler ışığında işletmenin zarar ettiği görülmüş ve daha önceki parametrelerde yapılan tablo ve grafikler bu parametrede oluşturulamamıştır.

- Senaryo B-VIII :

150 \$/oz bakır fiyatı ile reklamasyon maliyeti 20 \$/ton parametreleri Senaryo B'ye göre denenmiştir. Geleneksel COG'in eşitlik 5.2'deki algoritmasına göre 20 yıl işletme ömrü boyunca \$192 milyon NPV ve \$609 milyon fayda olarak negatif değerler elde edilmiştir. Dolayısıyla daha önceki parametrelerde yapılan Lane ve İterasyon Algoritma işlemleri bu değerde yapılamamaktadır.

- Senaryo B-IX :

NN yaklaşımında son olarak 90 \$/oz bakır fiyatı ile reklamasyon maliyeti 20 \$/ton parametreleri Senaryo B'ye göre denenmiştir. Daha önceki parametrede olduğu gibi Geleneksel COG hesaplanmış ve 3 yıl işletme ömrü boyunca \$1,03 milyar NPV ve \$1,2 milyar fayda olarak negatif değerler elde edilmiştir.

- Senaryo B'nin Analizi :

NN yaklaşımında farklı reklamasyon maliyetleri ve farklı bakır fiyatlarına göre Senaryo B'nin üç algoritmadaki sonuçları incelenmiştir (Tablo 5.48.a, Tablo 5.48.b ve Tablo 5.48.c). Buna göre reklamasyon maliyeti 5 \$/ton- bakır fiyatı 230 \$/oz, reklamasyon maliyeti 5 \$/ton- bakır fiyatı 150 \$/oz ve reklamasyon maliyeti 10 \$/ton- bakır fiyatı

230 \$/oz olduğunda Geleneksel COG, K. Lane Algoritması ve İterasyon Algoritması'ndan sağlıklı sonuçlar elde edilmektedir.

Tablo 5.48.a: Senaryo B'nin Geleneksel COG sonuçları

	Senorya B'nin Geleneksel COG'e göre								
	Reklamasyon Maliyeti 5 \$/ton			Reklamasyon Maliyeti 10 \$/ton			Reklamasyon Maliyeti 20 \$/ton		
	Bakır Fiyatları			Bakır Fiyatları			Bakır Fiyatları		
	230 \$/oz	150 \$/oz	90 \$/oz	230 \$/oz	150 \$/oz	90 \$/oz	230 \$/oz	150 \$/oz	90 \$/oz
Ort. COG (oz/ton)	0,141	0,217	-	0,164	0,252	-	0,210	-	-
Toplam NPV (milyon \$)	320	109,5	-	264	32,7	-	127	-	-
Toplam Fayda (milyon \$)	1.810	504,9	-	1.411	136,3	-	604	-	-
Toplam İşletme Ömrü (Yıl)	37	30	-	35	27	-	31	-	-
Toplam W (milyon ton)	33,9	40,8	-	36,1	-	-	-	-	-
Ort. Tenör	0,478	0,521	-	0,489	-	-	-	-	-
Toplam TW (ton)	373.924	360.119	-	370.396	-	-	-	-	-

Tablo 5.48.b: Senaryo B'nin K. Lane Algoritması'ndaki sonuçları

	Senorya B'nin K. Lane Algoritması'na göre								
	Reklamasyon Maliyeti 5 \$/ton			Reklamasyon Maliyeti 10 \$/ton			Reklamasyon Maliyeti 20 \$/ton		
	Bakır Fiyatları			Bakır Fiyatları			Bakır Fiyatları		
	230 \$/oz	150 \$/oz	90 \$/oz	230 \$/oz	150 \$/oz	90 \$/oz	230 \$/oz	150 \$/oz	90 \$/oz
Ort. COG (oz/ton)	0,300	0,365	-	0,297	-	-	-	-	-
Toplam NPV (milyon \$)	572	177,7	-	357	-	-	-	-	-
Toplam Fayda (milyon \$)	1.220	367,7	-	935	-	-	-	-	-
Toplam İşletme Ömrü (Yıl)	17	14	-	19	-	-	-	-	-
Toplam W (milyon ton)	51,9	52,9	-	49	-	-	-	-	-
Ort. Tenör	0,685	0,755	-	0,639	-	-	-	-	-
Toplam TW (ton)	412.680	366.701	-	365.789	-	-	-	-	-

Sonuçlara bakıldığında Geleneksel COG'in işletme ömrü 30 yılın üzerindeyken K. Lane Algoritması'nda 20 ve İterasyon Algoritması'da 10 yılın altına inmiştir. Toplam NPV ve toplam fayda, bakır fiyatlarının düşmesiyle üç algoritmada da yaklaşık %60 'lara varan bir kayıba uğramaktadır.

Toplam çıkarılan atık (W) miktarları Geleneksel COG'de 34-41 milyon ton, K. Lane Algoritması'nda 49-53 milyon ton ve İterasyon Algoritması'nda da 61-64 milyon ton arası elde edilmiştir. Ayrıca cevher hazırlama sonrası atık (TW) miktarları sonuçlarına göre sağlıklı verilerin olduğu üç farklı parametrede K. Lane Algoritması'ndan İterasyon Algoritması ortalama 200.000 ton daha fazladır.

Tablo 5.48.c: Senaryo B'nin İterasyon Algoritması'ndaki sonuçları

	Senaryo B'nin İterasyon Algoritması'na göre								
	Reklamasyon Maliyeti 5 \$/ton			Reklamasyon Maliyeti 10 \$/ton			Reklamasyon Maliyeti 20 \$/ton		
	Bakır Fiyatları			Bakır Fiyatları			Bakır Fiyatları		
	230 \$/oz	150 \$/oz	90 \$/oz	230 \$/oz	150 \$/oz	90 \$/oz	230 \$/oz	150 \$/oz	90 \$/oz
Ort. COG (oz/ton)	0,465	0,488	-	0,431	-	-	-	-	-
Toplam NPV (milyon \$)	708	246	-	429	-	-	-	-	-
Toplam Fayda (milyon \$)	868	294,8	-	590	-	-	-	-	-
Toplam İşletme Ömrü (Yıl)	5	4	-	7	-	-	-	-	-
Toplam W (milyon ton)	63	63,9	-	61	-	-	-	-	-
Ort. Tenör	1,604	1,932	-	1,233	-	-	-	-	-
Toplam TW (ton)	684.489	708.119	-	588.703	-	-	-	-	-

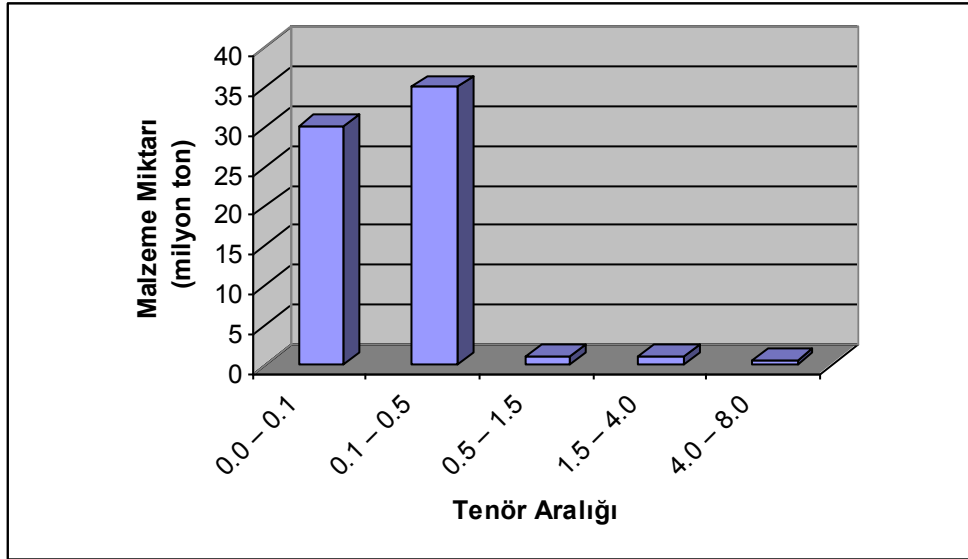
5.2.2. Uzaklığın Tersini Yaklaşımına Göre COG Hesaplamaları

Bu çalışmada NN yaklaşımında olduğu gibi geliştirilen yeni algoritma ve içerisindeki optimizasyon faktörü (iteratif algoritma), geleneksel COG ve Lane algoritması ile kıyaslanarak test edilmiştir. Hesaplamalarda kullanılan dizayn parametreleri aynı kalmış ve Tablo 5.4'te verilmiştir.

Bu bölümde ise uzaklığın tersi (inverse distance-ID) yaklaşımıyla bulunan tenör-tonaj dağılımına göre Senaryo C ve Senaryo D için excelde yapılan COG değerleri Tablo 5.49 ve Şekil 5.44'de verilmiştir. Uzaklığın tersi yaklaşımında bulunan bu değerlerle Senaryo A ve Senaryo B'deki gibi benzer şekilde uygulanmıştır. Ancak en yakın komşu yaklaşımındaki COG ve NPV üzerindeki etkileri aynı oranda olduğu görüldüğü için, yalnızca 230 \$/oz bakır fiyatı ile 5 \$/ton reklamasyon maliyeti Senaryo C ve Senaryo D'de gösterilmiştir.

Tablo 5.49: ID yaklaşımına göre hesaplamada kullanılan ortalama tenör ve tonajları

Tenör Aralığı	Ort. Tenör	Ton (000)
0 0,5	0,0500	65018,5
0,5 1	0,6300	772,625
1 1,5	1,2900	255,125
1,5 2	1,8100	232
2 2,5	2,2300	383,25
2,5 3	2,6600	238,875
3 3,5	3,2800	84,5
3,5 4	3,8500	180,25
4 4,5	4,2400	249,25
4,5 5	4,8500	176,0625
5 5,5	5,0600	30,5
5,5 6	5,8400	0
6 7,5	7,0200	42,0625
7,5 8	7,6200	47,375
Toplam		67710,375



Şekil 5.44: ID yaklaşımına göre yatağın tenör-tonaj dağılımı

5.2.2.1. Senaryo C'ye Göre COG Hesaplamaları

Senaryo A'da olduğu gibi uzaklığın tersi (inverse distance-ID) yaklaşımıyla bulunan tenör-tonaj dağılımındaki verilerin ve Tablo 5.4'teki maden dizaynı parametrelerinin eşitlik 4.9'a göre iterasyon algoritması için kullanılmasıdır. ID yaklaşımıyla bulunan bu değerlerdeki ortalama tenöre göre bakır fiyatı 230 \$/oz olduğunda excelde yapılan COG hesaplamalarından elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir. Geleneksel COG formülüne

göre Tablo 5.50’de hesaplanarak \$353 milyon NPV ve \$2.103 milyon fayda elde edilmiştir.

Tablo 5.50: Senaryo C’nin Geleneksel COG Sonuçları

Yıl	Toplam (atık+ cevher)	Toplam üretim, t	Toplam konsantre, t	Toplam rafineri, t	Fayda, \$	Yıllık NPV, \$	Optimum COG (oz/ton)
1	67.710.375	1.744.864	930.000	402.493	53.922.487	53.922.487	0,119
2	65.965.511	1.744.864	930.000	402.493	53.922.487	45.697.023	0,119
3	64.220.647	1.744.864	930.000	402.493	53.922.487	38.726.290	0,119
4	62.475.782	1.744.864	930.000	402.493	53.922.487	32.818.890	0,119
5	60.730.918	1.744.864	930.000	402.493	53.922.487	27.812.619	0,119
6	58.986.054	1.744.864	930.000	402.493	53.922.487	23.570.016	0,119
7	57.241.190	1.744.864	930.000	402.493	53.922.487	19.974.590	0,119
8	55.496.325	1.744.864	930.000	402.493	53.922.487	16.927.618	0,119
9	53.751.461	1.744.864	930.000	402.493	53.922.487	14.345.439	0,119
10	52.006.597	1.744.864	930.000	402.493	53.922.487	12.157.152	0,119
11	50.261.733	1.744.864	930.000	402.493	53.922.487	10.302.671	0,119
12	48.516.868	1.744.864	930.000	402.493	53.922.487	8.731.077	0,119
13	46.772.004	1.744.864	930.000	402.493	53.922.487	7.399.218	0,119
14	45.027.140	1.744.864	930.000	402.493	53.922.487	6.270.524	0,119
15	43.282.276	1.744.864	930.000	402.493	53.922.487	5.314.003	0,119
16	41.537.411	1.744.864	930.000	402.493	53.922.487	4.503.393	0,119
17	39.792.547	1.744.864	930.000	402.493	53.922.487	3.816.434	0,119
18	38.047.683	1.744.864	930.000	402.493	53.922.487	3.234.266	0,119
19	36.302.819	1.744.864	930.000	402.493	53.922.487	2.740.904	0,119
20	34.557.955	1.744.864	930.000	402.493	53.922.487	2.322.800	0,119
21	32.813.090	1.744.864	930.000	402.493	53.922.487	1.968.474	0,119
22	31.068.226	1.744.864	930.000	402.493	53.922.487	1.668.199	0,119
23	29.323.362	1.744.864	930.000	402.493	53.922.487	1.413.728	0,119
24	27.578.498	1.744.864	930.000	402.493	53.922.487	1.198.074	0,119
25	25.833.633	1.744.864	930.000	402.493	53.922.487	1.015.317	0,119
26	24.088.769	1.744.864	930.000	402.493	53.922.487	860.438	0,119
27	22.343.905	1.744.864	930.000	402.493	53.922.487	729.185	0,119
28	20.599.041	1.744.864	930.000	402.493	53.922.487	617.953	0,119
29	18.854.176	1.744.864	930.000	402.493	53.922.487	523.689	0,119
30	17.109.312	1.744.864	930.000	402.493	53.922.487	443.804	0,119
31	15.364.448	1.744.864	930.000	402.493	53.922.487	376.106	0,119
32	13.619.584	1.744.864	930.000	402.493	53.922.487	318.733	0,119
33	11.874.719	1.744.864	930.000	402.493	53.922.487	270.113	0,119
34	10.129.855	1.744.864	930.000	402.493	53.922.487	228.909	0,119
35	8.384.991	1.744.864	930.000	402.493	53.922.487	193.991	0,119
36	6.640.127	1.744.864	930.000	402.493	53.922.487	164.399	0,119
37	4.895.263	1.744.864	930.000	402.493	53.922.487	139.321	0,119
38	3.150.398	1.744.864	930.000	402.493	53.922.487	118.069	0,119
39	1.405.534	1.744.864	930.000	402.493	53.922.487	100.058	0,119
Toplam		68.049.705			2.102.976.985	352.935.978	

Tablo 5.51 yatırım ve fırsat maliyetini kullanan Lane algoritmasına dayalı sonuçları göstermektedir. Burada uygulanan $g_u(i)=c+m+f+Fi / (P-s)*y$ algoritmasıyla optimizasyon faktörü (σ) olmadan COG hesaplanmış ve yıllara göre değer almıştır. Bu değerlerin sonucu olarak \$724 milyon NPV, \$1.455 milyon fayda ve 17 yıl işletme ömrü elde edilmiştir (Tablo 5.51).

Tablo 5.51: Senaryo C'nin Lane algoritması ile COG politikası

Yıl	Toplam (atk+ cevher)	Toplam üretim, t	Toplam konsantre, t	Toplam rafineri, t	Fayda, \$	Yıllık NPV, \$	Optimum COG (oz/ton)
1	67.710.375	16.567.789	930.000	1.569.787	264.829.917	264.829.917	0,487
2	51.142.586	7.876.316	930.000	885.466	141.192.566	119.654.717	0,440
3	43.266.269	5.455.097	930.000	694.747	106.730.907	76.652.476	0,399
4	37.811.173	4.327.681	930.000	605.940	90.684.189	55.193.197	0,365
5	33.483.492	3.682.675	930.000	555.134	81.503.713	42.038.709	0,336
6	29.800.817	3.269.692	930.000	522.603	75.625.643	33.056.665	0,311
7	26.531.125	2.985.922	930.000	500.250	71.586.699	26.517.971	0,290
8	23.545.203	2.781.356	930.000	484.137	68.675.073	21.558.824	0,272
9	20.763.847	2.628.733	930.000	472.115	66.502.763	17.692.273	0,257
10	18.135.114	2.511.921	930.000	462.914	64.840.159	14.618.607	0,244
11	15.623.193	2.420.760	930.000	455.733	63.542.644	12.140.741	0,234
12	13.202.433	2.348.530	930.000	450.043	62.514.579	10.122.301	0,225
13	10.853.903	2.290.609	930.000	445.481	61.690.180	8.465.097	0,217
14	8.563.294	2.243.714	930.000	441.787	61.022.718	7.096.194	0,210
15	6.319.580	2.205.450	930.000	438.773	60.478.101	5.960.052	0,205
16	4.114.130	2.174.030	930.000	436.298	60.030.895	5.013.543	0,200
17	1.940.099	2.148.096	839.950	392.207	53.084.034	3.757.092	0,196
Toplam		67.918.371			1.454.534.779	724.368.376	

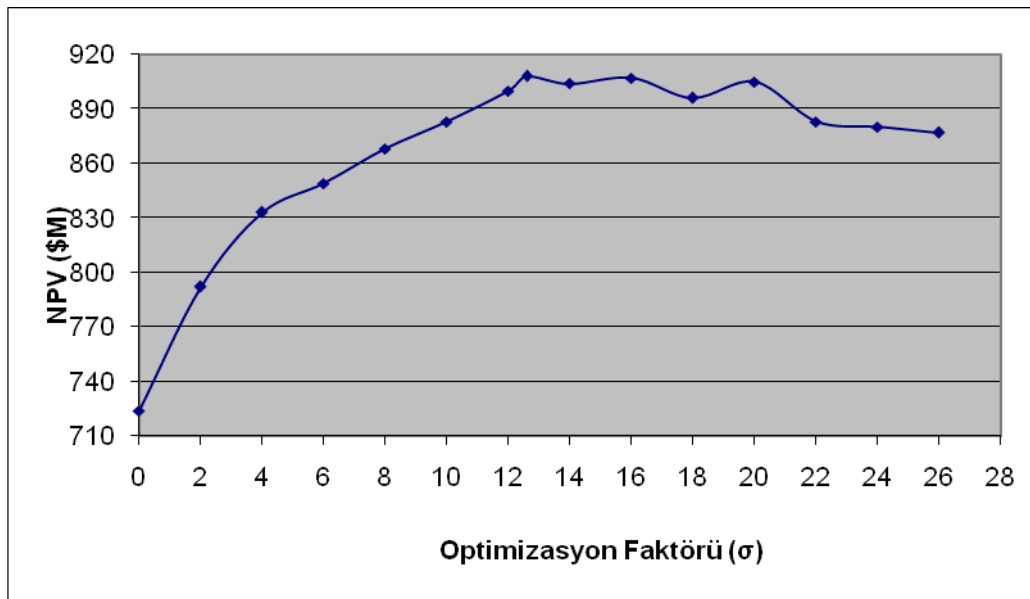
Tablo 5.51'in iterasyonu ile optimizasyon faktörü kullanılarak belirlenen bu optimum yaklaşım \$908 milyon NPV ve \$1.105 milyon fayda ve 5 yıl işletme ömrü vermektedir (Tablo 5.52).

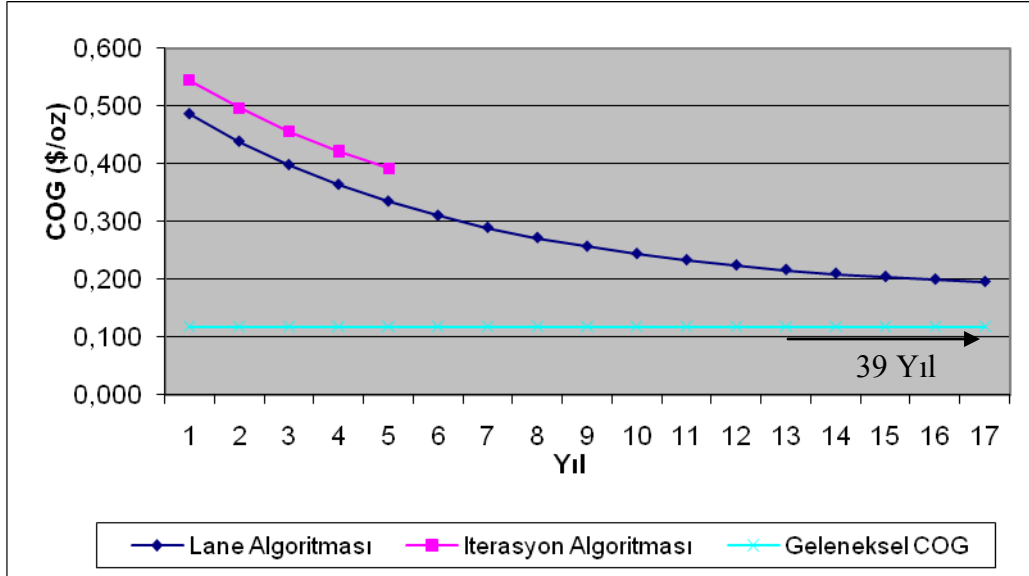
İterasyon Algoritması'nda uygulanan $g_u(i)=c+m+f+Fi+\sigma / (P-s)*y$ formülü ile COG yaklaşımı kullanılarak optimizasyon faktörü (σ) bulunmuştur. Buradaki optimizasyon faktörü yıllara göre değişmemekle beraber maksimum NPV için 12,60 olarak hesaplanmıştır (Şekil 5.45).

Tablo 5.52: Optimizasyon faktörü (σ) kullanılarak Senaryo C'nin COG politikası

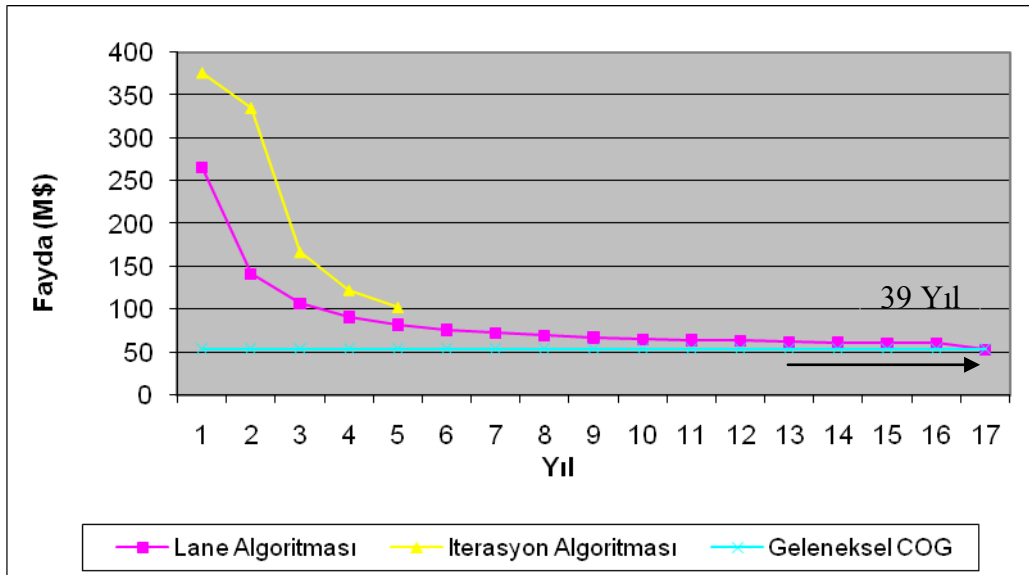
Yıl	Toplam (atık+ cevher)	Toplam üretim, t	Toplam konsantre, t	Toplam rafineri, t	Fayda, \$	Yıllık NPV, \$	Optimum COG (oz/ton)
1	67.710.375	24.621.857	930.000	2.187.977	375.739.671	375.739.671	0,545
2	43.088.518	21.527.089	930.000	1.959.813	335.274.923	284.131.291	0,497
3	21.561.429	9.703.082	930.000	1.029.360	167.193.258	120.075.594	0,457
4	11.858.346	6.630.601	930.000	787.341	123.462.077	75.142.831	0,422
5	5.227.745	5.227.748	929.999	676.838	103.494.945	53.381.541	0,393
Toplam	67.710.378	67.710.378	930.000	930.000	1.105.164.873	908.470.929	

Geleneksel COG'de toplam NPV \$353 milyon, Lane algoritmasıyla toplam NPV \$724,3 milyona ve iterasyon algoritmasıyla da toplam NPV \$908,4 milyona maksimize edilmiştir. Geleneksel COG hesaplamalarında toplam 39 yıl işletme ömrü boyunca ekonomik sınır tenör sabit kalarak 0,119 oz/ton, Lane algoritmasıyla işletme ömrü 17 yıla düşerken COG 0,487 oz/ton'a kadar yükselmiştir. En yüksek NPV iterasyon algoritmasıyla Excel programında hesaplanması sonucu COG 0,545 oz/ton ile 0,393 oz/ton arasında değişmiş, işletme ömrü 5 yıla inmiştir (Şekil 5.46.a). İterasyon algoritmasında ilk yıl fayda \$375,7 milyon'dan 5 yıl sonra \$103,4 milyon'a, Lane algoritmasında ilk yıl \$264,8 milyon'dan \$53 milyon'a azalmış ve Geleneksel COG'da \$53,9 milyon olarak sabit kalmıştır(Şekil 5.46.b).

Şekil 5.45: Senaryo C'nin farklı optimizasyon faktörleri (σ) ve toplam NPV değerlerinin analizi



Şekil 5.46.a: Senaryo C'nin COG dağılımları

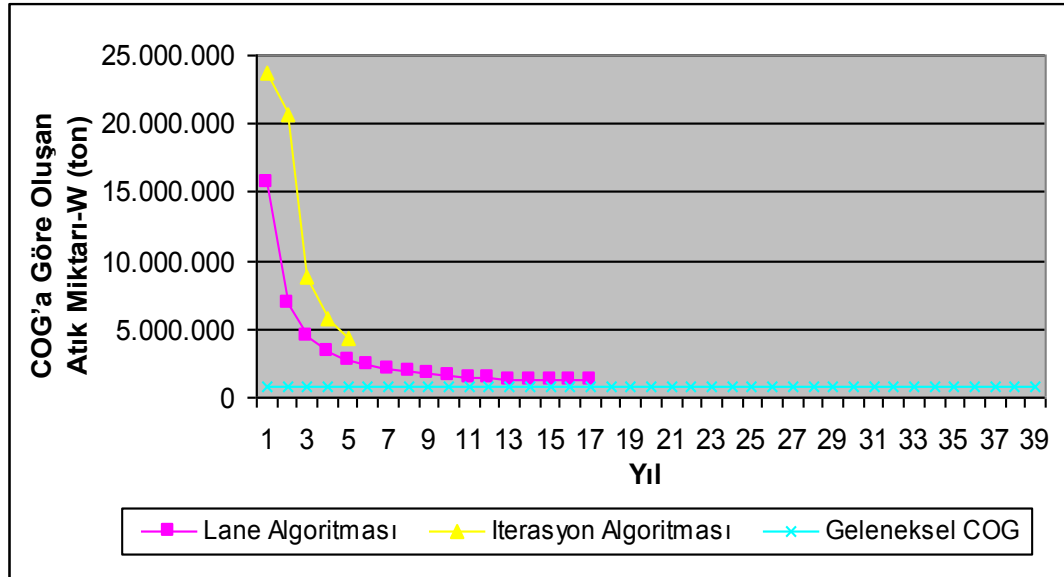


Şekil 5.46.b. Senaryo C'nin Fayda dağılımları

Tez çalışması kapsamında, üretim sırasında doğrudan atık (COG'in altı) sahasına gönderilen malzeme miktarında hesaplanmıştır. Buna göre Lane algoritmasında toplam üretilen malzeme miktarının 52,1 milyon ton'u, İterasyon algoritmasında üretilen malzemenin 63 milyon ton'u ve Geleneksel COG'in toplamdaki malzemenin 31,7 milyon ton'u atık olarak elde edilmektedir. Yaklaşık 12 milyon ton atık malzemenin Lane göre İterasyon Algoritmasında fazla olduğu görülmektedir (Tablo 5.53, Şekil 5.47).

Tablo 5.53: Senaryo C'nin COG'a göre oluşan Atık miktarlarının (W) sonuçları

Yıl	Geleneksel COG	Lane Algoritması	İterasyon Algoritması
0	814.864	15.637.789	23.691.857
1	814.864	6.946.316	20.597.089
2	814.864	4.525.097	8.773.082
3	814.864	3.397.681	5.700.601
4	814.864	2.752.675	4.297.749
5	814.864	2.339.692	-
6	814.864	2.055.922	-
7	814.864	1.851.356	-
8	814.864	1.698.733	-
9	814.864	1.581.921	-
10	814.864	1.490.760	-
11	814.864	1.418.530	-
12	814.864	1.360.609	-
13	814.864	1.313.714	-
14	814.864	1.275.450	-
15	814.864	1.244.030	-
16	814.864	1.308.146	-
17-38	814.864	-	-
Toplam	31.779.705	52.198.422	63.060.379



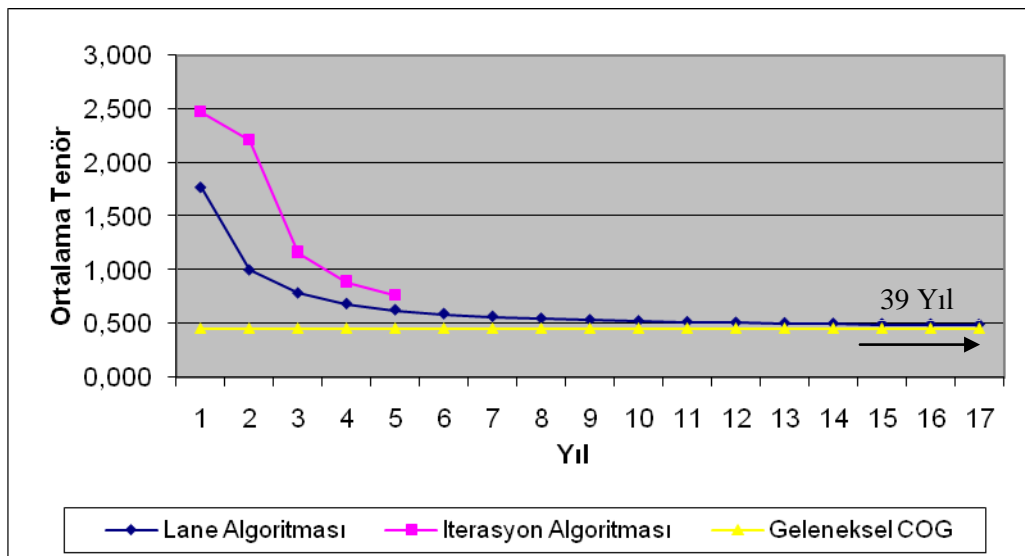
Şekil 5.47: Senaryo C'nin COG'a göre oluşan Atık miktarlarının (W) yıllara göre dağılımları

Geleneksel COG hesaplamalarında işletme ömrü boyunca değişmeyen 0,456 ortalama tenör vardır. Buna karşın Lane Algoritması ilk yıl 1,777 ortalama tenörle başlarken, son

yıllara doğru Geleneksel COG ortalama tenörüne yaklaşmıştır. İterasyon Algoritması ise, en yüksek kazanca ulaşabilmek için 5 yıllık işletme ömrü boyunca diğer algoritmalara göre ortalama tenörünü yüksek tutmuştur (Tablo 5.54, Şekil 5.48).

Tablo 5.54: Senaryo C'nin Ortalama Tenör sonuçları

Yıl	Geleneksel COG	Lane Algoritması	İterasyon Algoritması
0	0,456	1,777	2,476
1	0,456	1,002	2,218
2	0,456	0,786	1,165
3	0,456	0,686	0,891
4	0,456	0,628	0,766
5	0,456	0,592	-
6	0,456	0,566	-
7	0,456	0,548	-
8	0,456	0,534	-
9	0,456	0,524	-
10	0,456	0,516	-
11	0,456	0,509	-
12	0,456	0,504	-
13	0,456	0,500	-
14	0,456	0,497	-
15	0,456	0,494	-
16	0,456	0,492	-
17-38	0,456	-	-
Ort.	0,456	0,656	1,503

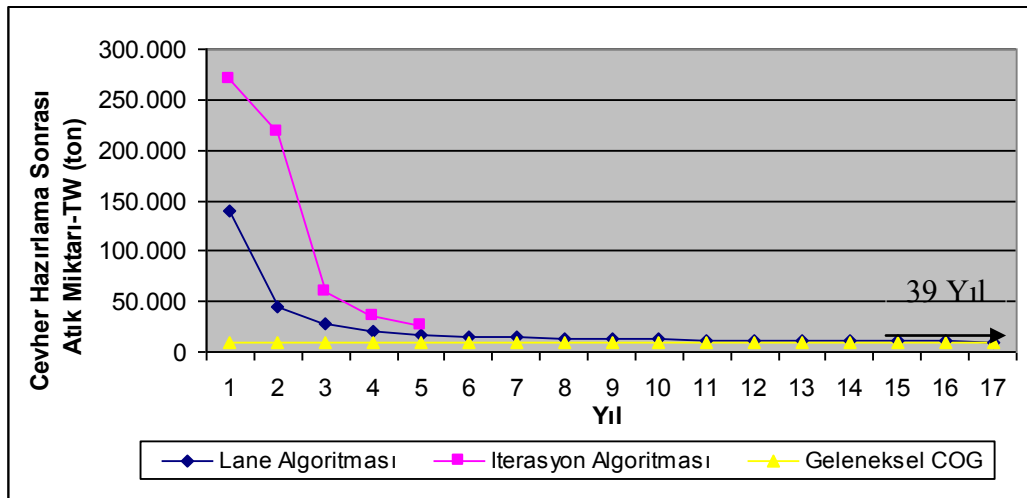


Şekil 5.48: Senaryo C'nin Ortalama Tenörlerin karşılaştırılması

Bu çalışmada her üç yaklaşıma göre de cevher hazırlama sonrası atık miktarları (TW) hesaplanmıştır. Buna göre Geleneksel COG'de toplam 357.556 ton, Lane Algoritması'nda 393.791 ton ve İterasyon Algoritması'nda 609.265 ton cevher hazırlama sonrası atık oluşmaktadır (Tablo 5.55, Şekil 5.49). Senaryo C'nin kazı oranları Tablo 5.56 ve Şekil 5.50'de gösterilmiştir.

Tablo 5.55: Senaryo C'nin Cevher Hazırlama Sonrası Atık (TW) Sonuçları

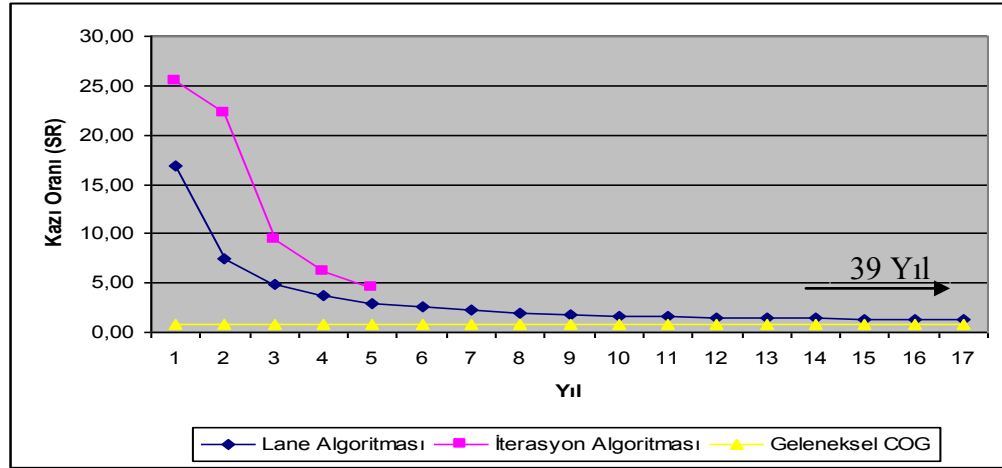
Yıl	Geleneksel COG	Lane Algoritması	İterasyon Algoritması
0	9.168	139.458	270.925
1	9.168	44.372	217.367
2	9.168	27.316	59.965
3	9.168	20.779	35.082
4	9.168	17.440	25.926
5	9.168	15.456	-
6	9.168	14.162	-
7	9.168	13.265	-
8	9.168	12.614	-
9	9.168	12.127	-
10	9.168	11.754	-
11	9.168	11.462	-
12	9.168	11.231	-
13	9.168	11.046	-
14	9.168	10.895	-
15	9.168	10.773	-
16	9.168	9.639	-
17-38	9.168	-	-
Toplam	357.556	393.791	609.265



Şekil 5.49: Senaryo C'nin Cevher Hazırlama Sonrası Atık (TW) miktarlarının karşılaştırılması

Tablo 5.56: Senaryo C'nin Kazı Oranı (SR) Sonuçları

Yıl	Geleneksel COG	Lane Algoritması	İterasyon Algoritması
0	0,88	16,81	25,48
1	0,88	7,47	22,15
2	0,88	4,87	9,43
3	0,88	3,65	6,13
4	0,88	2,96	4,62
5	0,88	2,52	-
6	0,88	2,21	-
7	0,88	1,99	-
8	0,88	1,83	-
9	0,88	1,70	-
10	0,88	1,60	-
11	0,88	1,53	-
12	0,88	1,46	-
13	0,88	1,41	-
14	0,88	1,37	-
15	0,88	1,34	-
16	0,88	1,31	-
17-38	0,88	-	-
Ort.	0,88	3,30	13,56



Şekil 5.50: Senaryo C'nin Kazı Oranlarının (SR) karşılaştırılması

5.2.2.2. Senaryo D'ye Göre COG Hesaplamaları

Tezin bu bölümünde uzaklığın tersi (inverse distance-ID) yaklaşımıyla bulunan tenör-tonaj dağılımındaki verilerle birlikte, reklamasyon maliyeti 5 \$/ton ve 230 \$/oz bakır fiyatının eşitlik 4.10'a göre iterasyon algoritması için kullanılmasıdır. Eşitlik 5.1'e, diğer formüllerde olduğu gibi reklamasyon maliyeti ilave edildiğinde yeni bir algoritma

elde edilmiştir (Eşitlik 5.2). Tablo 5.57’de bu formüle göre Geleneksel COG hesaplanmış ve sonuçta \$302 milyon NPV ve \$1.7 milyar fayda olarak değerler elde edilmiştir.

Tablo 5.57: Senaryo D’nin Geleneksel COG Sonuçları

Yıl	Toplam (atık+ cevher)	Toplam üretim, t	Toplam konsantre, t	Toplam rafineri, t	Fayda, \$	Yıllık NPV, \$	Optimum COG (oz/ton)
1	67.710.375	1.847.561	930.000	410.582	46.146.397	46.146.397	0,141
2	65.862.814	1.847.561	930.000	410.582	46.146.397	39.107.116	0,141
3	64.015.252	1.847.561	930.000	410.582	46.146.397	33.141.624	0,141
4	62.167.691	1.847.561	930.000	410.582	46.146.397	28.086.122	0,141
5	60.320.129	1.847.561	930.000	410.582	46.146.397	23.801.798	0,141
6	58.472.568	1.847.561	930.000	410.582	46.146.397	20.171.016	0,141
7	56.625.007	1.847.561	930.000	410.582	46.146.397	17.094.081	0,141
8	54.777.445	1.847.561	930.000	410.582	46.146.397	14.486.509	0,141
9	52.929.884	1.847.561	930.000	410.582	46.146.397	12.276.703	0,141
10	51.082.323	1.847.561	930.000	410.582	46.146.397	10.403.985	0,141
11	49.234.761	1.847.561	930.000	410.582	46.146.397	8.816.937	0,141
12	47.387.200	1.847.561	930.000	410.582	46.146.397	7.471.980	0,141
13	45.539.638	1.847.561	930.000	410.582	46.146.397	6.332.187	0,141
14	43.692.077	1.847.561	930.000	410.582	46.146.397	5.366.260	0,141
15	41.844.516	1.847.561	930.000	410.582	46.146.397	4.547.678	0,141
16	39.996.954	1.847.561	930.000	410.582	46.146.397	3.853.964	0,141
17	38.149.393	1.847.561	930.000	410.582	46.146.397	3.266.071	0,141
18	36.301.832	1.847.561	930.000	410.582	46.146.397	2.767.857	0,141
19	34.454.270	1.847.561	930.000	410.582	46.146.397	2.345.642	0,141
20	32.606.709	1.847.561	930.000	410.582	46.146.397	1.987.832	0,141
21	30.759.147	1.847.561	930.000	410.582	46.146.397	1.684.603	0,141
22	28.911.586	1.847.561	930.000	410.582	46.146.397	1.427.630	0,141
23	27.064.025	1.847.561	930.000	410.582	46.146.397	1.209.856	0,141
24	25.216.463	1.847.561	930.000	410.582	46.146.397	1.025.302	0,141
25	23.368.902	1.847.561	930.000	410.582	46.146.397	868.900	0,141
26	21.521.340	1.847.561	930.000	410.582	46.146.397	736.356	0,141
27	19.673.779	1.847.561	930.000	410.582	46.146.397	624.030	0,141
28	17.826.218	1.847.561	930.000	410.582	46.146.397	528.839	0,141
29	15.978.656	1.847.561	930.000	410.582	46.146.397	448.169	0,141
30	14.131.095	1.847.561	930.000	410.582	46.146.397	379.804	0,141
31	12.283.534	1.847.561	930.000	410.582	46.146.397	321.868	0,141
32	10.435.972	1.847.561	930.000	410.582	46.146.397	272.769	0,141
33	8.588.411	1.847.561	930.000	410.582	46.146.397	231.160	0,141
34	6.740.849	1.847.561	930.000	410.582	46.146.397	195.899	0,141
35	4.893.288	1.847.561	930.000	410.582	46.146.397	166.016	0,141
36	3.045.727	1.847.561	930.000	410.582	46.146.397	140.691	0,141
37	1.198.165	1.847.561	603.116	266.426	46.146.397	119.230	0,141
Toplam		68.359.771			1.707.416.705	301.852.883	

Tablo 5.58'de Lane algoritmasına dayalı uygulanan $g_u(i)=c+m+r+f+Fi / (P-s)^y$ formülü ile optimizasyon faktörü (σ) olmadan COG hesaplanmıştır. Bu hesaplamalara göre \$477.5 milyon NPV, \$1.1 milyar fayda ve 20 yıl işletme ömrü sonuçları elde edilmiştir (Tablo 5.58). Tablo 5.58 ile optimizasyon faktörü kullanılarak yaklaşık \$622,5 milyon NPV ve \$767,4 milyon fayda ve 5 yıl işletme ömrü elde edilmektedir (Tablo 5.59).

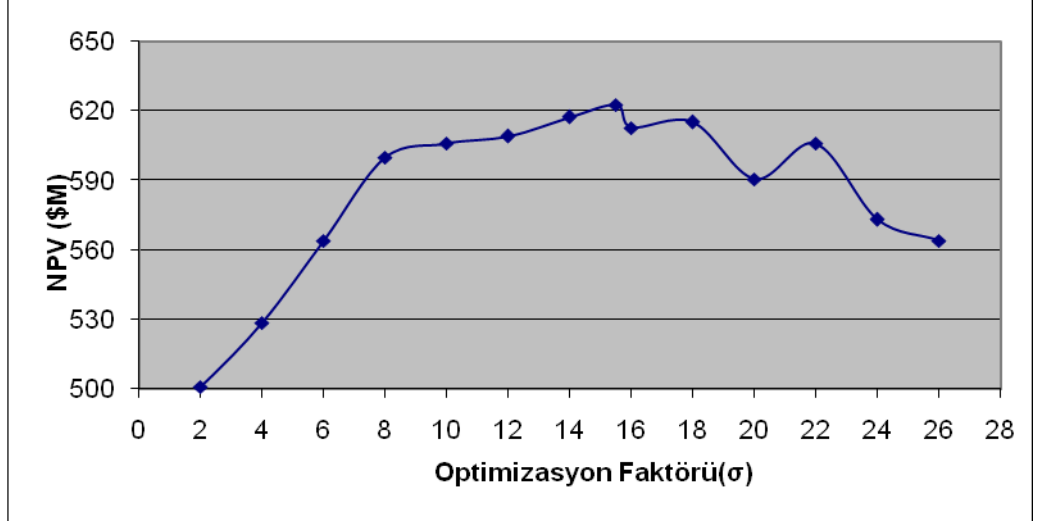
Tablo 5.58: Senaryo D'nin Lane Algoritması COG politikası

Yıl	Toplam (atık+ cevher)	Toplam üretim, t	Toplam konsantre, t	Toplam rafineri, t	Fayda, \$	Yıllık NPV, \$	Optimum COG (oz/ton)
1	67.710.375	10.916.465	930.000	1.124.938	129.881.231	129.881.231	0,465
2	56.793.910	6.733.517	930.000	795.448	91.259.311	77.338.399	0,424
3	50.060.393	5.082.947	930.000	665.433	76.019.297	54.595.875	0,389
4	44.977.446	4.208.660	930.000	596.565	67.946.849	41.354.550	0,360
5	40.768.786	3.673.228	930.000	554.389	63.003.109	32.496.303	0,335
6	37.095.558	3.315.742	930.000	526.230	59.702.376	26.096.459	0,314
7	33.779.816	3.063.108	930.000	506.330	57.369.761	21.251.569	0,296
8	30.716.707	2.877.320	930.000	491.696	55.654.350	17.471.294	0,281
9	27.839.387	2.736.653	930.000	480.616	54.355.545	14.460.649	0,268
10	25.102.734	2.627.783	930.000	472.040	53.350.321	12.028.154	0,257
11	22.474.951	2.542.079	930.000	465.289	52.559.004	10.042.158	0,248
12	19.932.872	2.473.707	930.000	459.903	51.927.717	8.408.086	0,240
13	17.459.165	2.418.580	930.000	455.561	51.418.718	7.055.652	0,233
14	15.040.584	2.373.750	930.000	452.030	51.004.793	5.931.232	0,228
15	12.666.834	2.337.039	930.000	449.138	50.665.836	4.993.064	0,223
16	10.329.795	2.306.806	930.000	446.757	50.386.685	4.208.096	0,219
17	8.022.989	2.281.790	930.000	444.786	50.155.710	3.549.836	0,216
18	5.741.199	2.261.011	930.000	443.149	49.963.853	2.996.828	0,213
19	3.480.188	2.243.696	930.000	441.785	49.803.978	2.531.558	0,210
20	1.236.492	2.229.228	515.846	244.414	18.765.107	808.338	0,208
Toplam		68.703.111			1.185.193.550	477.499.330	

Tablo 5.59: Optimizasyon faktörü (σ) kullanılarak Senaryo D'nin COG politikası

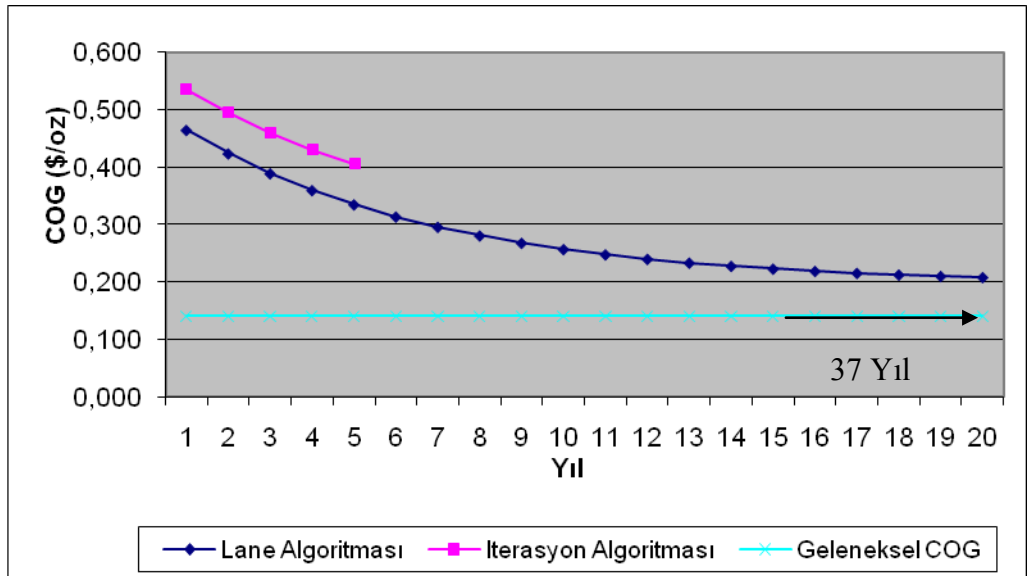
Yıl	Toplam (atık+ cevher)	Toplam üretim, t	Toplam konsantre, t	Toplam rafineri, t	Fayda, \$	Yıllık NPV, \$	Optimum COG (oz/ton)
1	67.710.375	24.363.920	930.000	2.170.887	250.989.747	250.989.747	0,536
2	43.346.455	20.178.751	930.000	1.853.772	215.228.520	182.397.051	0,495
3	23.167.704	10.203.549	930.000	1.068.781	123.298.745	88.551.239	0,460
4	12.964.155	7.200.764	930.000	832.253	95.573.483	58.168.973	0,431
5	5.763.392	5.763.392	930.000	719.031	82.301.968	42.450.439	0,406
Toplam		67.710.375			622.557.449	767.392.464	

Tablo 5.59’da uygulanan eşitlik 4.10 denklemiyle yıllara göre değişmeyen optimizasyon faktörü (σ) bulunmuştur. Buradaki optimizasyon faktörü maksimum NPV için 15,50 olarak hesaplanmıştır (Şekil 5.51).



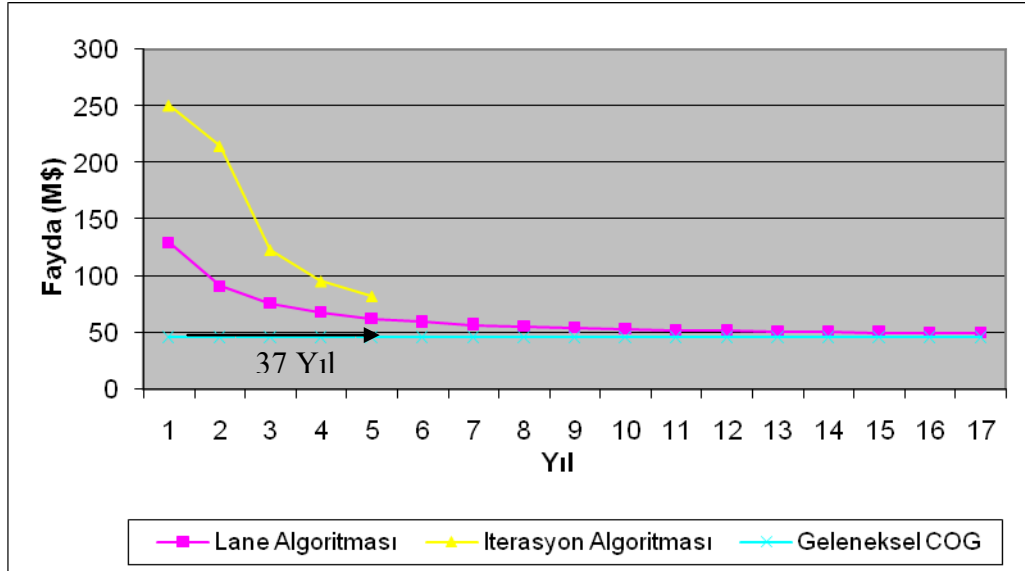
Şekil 5.51: Senaryo D’nin farklı optimizasyon faktörleri (σ) ve toplam NPV değerlerinin analizi

Geleneksel COG hesaplamalarında toplam 37 yıl işletme ömrü boyunca ekonomik sınır tenör sabit kalarak 0,141 oz/ton, Lane algoritmasıyla işletme ömrü 20 yıla düşerken COG 0,465 oz/ton’a kadar yükselmiştir. En yüksek NPV iterasyon algoritmasıyla Excel programında hesaplanması sonucu COG 0,536 oz/ton ile 0,406 oz/ton arasında değişmiş, işletme ömrü 5 yıla inmiştir (Şekil 5.52.a).



Şekil 5.52.a: Senaryo D’nin COG dağılımları

İterasyon algoritmasında ilk yıl fayda \$250,9 milyon'dan 5 yıl sonra \$82,3 milyon'a, Lane algoritmasında ilk yıl \$129,8 milyon'dan \$18,7 milyon'a azalmış ve Geleneksel COG'da \$46,1 milyon olarak sabit kalmıştır (Şekil 5.52.b).



Şekil 5.52.b: Senaryo D'nin Fayda dağılımları

Geleneksel COG'de toplam NPV \$302 milyon, Lane algoritmasıyla toplam NPV \$477,4 milyona ve iterasyon algoritmasıyla da toplam NPV \$767,3 milyona maksimize edilmiştir.

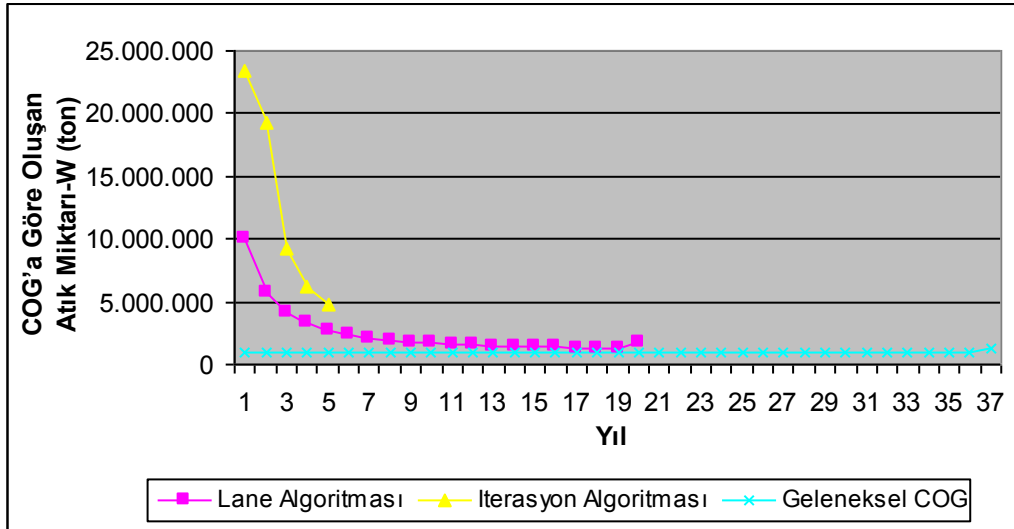
Lane algoritmasında toplam üretilen malzeme miktarının 50.517.265 ton'u, İterasyon algoritmasında üretilen malzemenin 63.060.375 ton'u ve Geleneksel COG'in toplamdaki malzemenin 33.949.771 ton'u atık olarak elde edilmektedir (Tablo 5.60, Şekil 5.53).

Üç algoritmaya göre ortalama tenörler incelendiğinde, Geleneksel COG hesaplamalarında işletme ömrü boyunca 0,465 ortalama tenör vardır. Buna karşın Lane Algoritmasının genel ortalama tenörü 0,606'dır. İterasyon Algoritması ise işletme ömrünün son yılında 0,814 ortalama tenöre inerek genel ortalama tenörü 1,504 olarak kalmıştır (Tablo 5.61, Şekil 5.54). Daha sonraki bölümde cevher hazırlama sonrası atık miktarları hesaplanmış ve sonuç olarak Geleneksel COG'a göre toplam 352.992 ton,

Lane'de 349.259 ton ve iterasyon'da 594.293 ton cevher hazırlama sonrası atık miktarları elde edilmektedir (Tablo 5.62, Şekil 5.55).

Tablo 5.60: Senaryo D'nin COG'a göre oluşan Atık miktarlarının (W) sonuçları

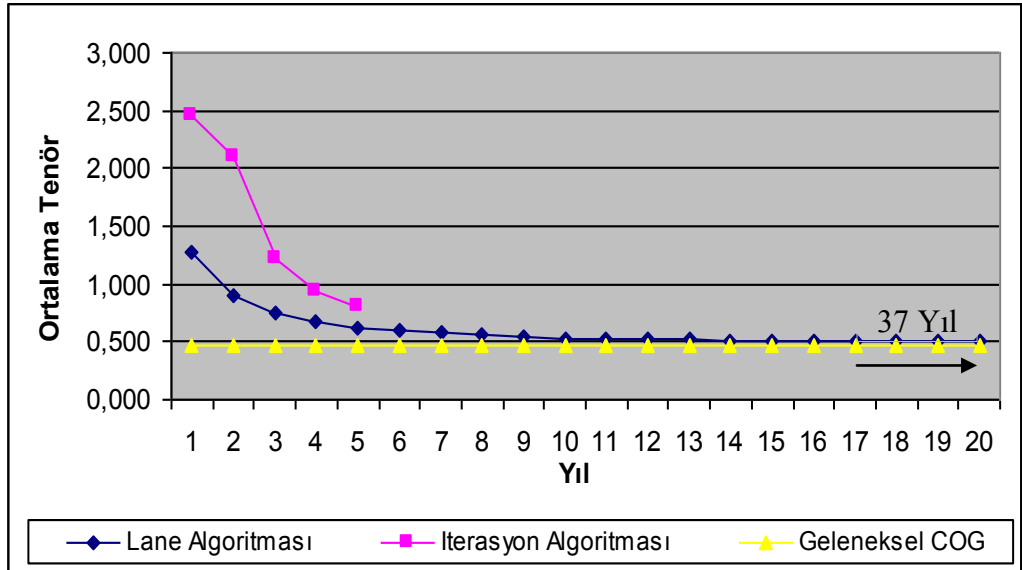
Yıl	Geleneksel COG	Lane Algoritması	İterasyon Algoritması
0	917.561	9.986.465	23.433.920
1	917.561	5.803.517	19.248.751
2	917.561	4.152.947	9.273.549
3	917.561	3.278.660	6.270.764
4	917.561	2.743.228	4.833.392
5	917.561	2.385.742	-
6	917.561	2.133.108	-
7	917.561	1.947.320	-
8	917.561	1.806.653	-
9	917.561	1.697.783	-
10	917.561	1.612.079	-
11	917.561	1.543.707	-
12	917.561	1.488.580	-
13	917.561	1.443.750	-
14	917.561	1.407.039	-
15	917.561	1.376.806	-
16	917.561	1.351.790	-
17	917.561	1.331.011	-
18	917.561	1.313.696	-
19	917.561	1.713.382	-
20-36	917.561	-	-
Toplam	33.949.771	50.517.265	63.060.375



Şekil 5.53: Senaryo D'nin COG'a göre oluşan Atık miktarlarının (W) yıllara göre dağılımları

Tablo 5.61: Senaryo D'nin
Ortalama Tenör sonuçları

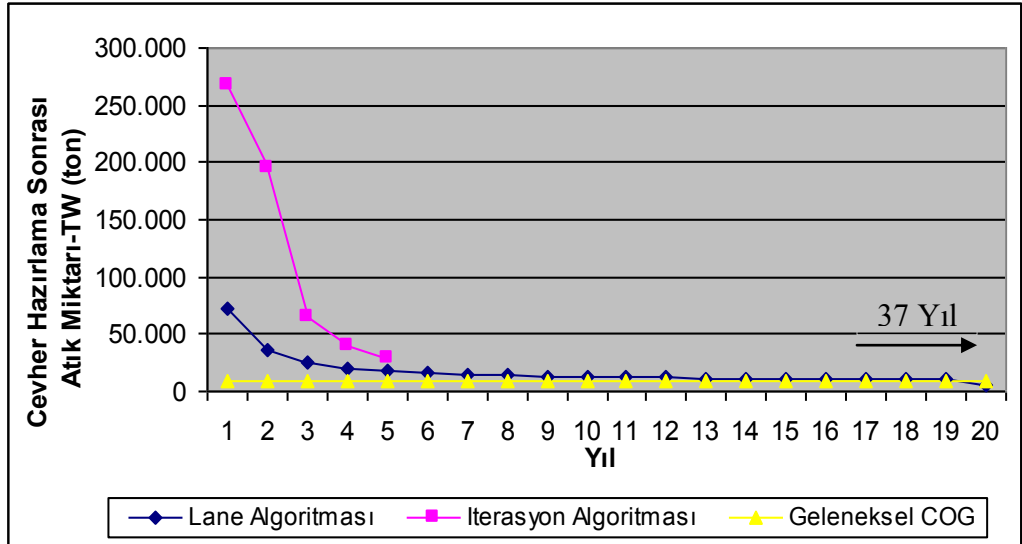
Yıl	Geleneksel COG	Lane Algoritması	İterasyon Algoritması
0	0,465	1,273	2,457
1	0,465	0,900	2,098
2	0,465	0,753	1,210
3	0,465	0,675	0,942
4	0,465	0,627	0,814
5	0,465	0,596	-
6	0,465	0,573	-
7	0,465	0,557	-
8	0,465	0,544	-
9	0,465	0,534	-
10	0,465	0,527	-
11	0,465	0,521	-
12	0,465	0,516	-
13	0,465	0,512	-
14	0,465	0,508	-
15	0,465	0,506	-
16	0,465	0,503	-
17	0,465	0,502	-
18	0,465	0,500	-
19	0,465	0,499	-
20-36	0,465	-	-
Ort.	0,465	0,606	1,504



Şekil 5.54: Senaryo D'nin Ortalama Tenörlerin karşılaştırılması

Tablo 5.62: Senaryo D'nin
Cevher Hazırlama Sonrası Atık (TW) Sonuçları

Yıl	Geleneksel COG	Lane Algoritması	İterasyon Algoritması
0	9.540	71.618	266.709
1	9.540	35.809	194.481
2	9.540	25.059	64.646
3	9.540	20.141	39.199
4	9.540	17.394	29.259
5	9.540	15.672	-
6	9.540	14.509	-
7	9.540	13.682	-
8	9.540	13.073	-
9	9.540	12.610	-
10	9.540	12.252	-
11	9.540	11.970	-
12	9.540	11.745	-
13	9.540	11.564	-
14	9.540	11.416	-
15	9.540	11.295	-
16	9.540	11.196	-
17	9.540	11.114	-
18	9.540	11.046	-
19	9.540	6.095	-
20-36	9.540	-	-
Toplam	352.992	349.259	594.293

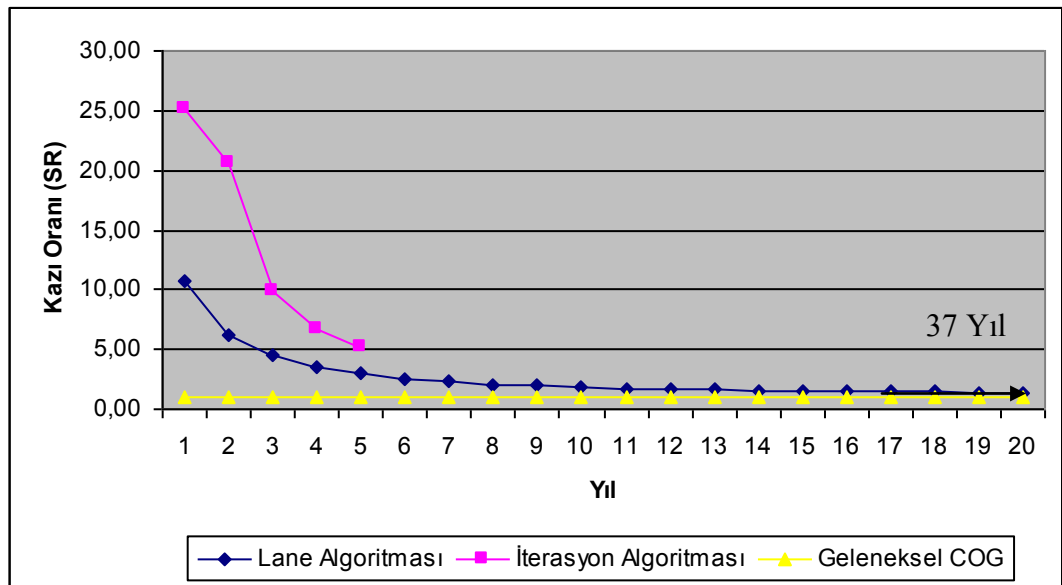


Şekil 5.55: Senaryo D'nin Cevher Hazırlama Sonrası Atık (TW) miktarlarının karşılaştırılması

Son olarak Senaryo D'nin kazı oranları Tablo 5.63 ve Şekil 5.56 'da gösterilmektedir.

Tablo 5.63: Senaryo D'nin
Kazı Oranı (SR) Sonuçları

Yıl	Geleneksel COG	Lane Algoritması	İterasyon Algoritması
0	0,99	10,74	25,20
1	0,99	6,24	20,70
2	0,99	4,47	9,97
3	0,99	3,53	6,74
4	0,99	2,95	5,20
5	0,99	2,57	-
6	0,99	2,29	-
7	0,99	2,09	-
8	0,99	1,94	-
9	0,99	1,83	-
10	0,99	1,73	-
11	0,99	1,66	-
12	0,99	1,60	-
13	0,99	1,55	-
14	0,99	1,51	-
15	0,99	1,48	-
16	0,99	1,45	-
17	0,99	1,43	-
18	0,99	1,41	-
19	0,99	1,40	-
20-36	0,99	-	-
Toplam	0,99	2,69	13,56



Şekil 5.56: Senaryo D'nin Kazı Oranlarının (SR) karşılaştırılması

5.3. EKONOMİK SINIR TENÖR HESAPLAMALARININ TEKNİK OLARAK İNCELENMESİ

Bu çalışmada yapılan ekonomik hesaplamalar ve değerlendirmeler, çevresel etkileri dikkate alan yeni ekonomik sınır tenör formülünün maden işletmelerinde uygulanabilirliğini inceleme olanağını sağlamıştır. Ayrıca farklı senaryolarda bulunan yıllık üretim miktarları, ekskavatör ve kamyon hesaplamalarında kullanılarak işletmenin teknik olarak araştırılmasına fırsat tanımaktadır. Aşağıdaki yapılan hesaplamalar, ETİ Bakır-Cengiz İnş.'tan alınan ekskavatör ve kamyon bilgileri ışığında elde edilmiştir.

Kazıcı ve Yükleyici Makine Hesabı

a. Kepçe kapasitesi	2,5 m ³
b. Kepçe periyodu	75 sn
c. Saatteki çalışması	3600sn/saat
d. Günlük çalışma süresi	16 saat/gün
e. Yıllık çalışma günü	300 gün/yıl
f. Randıman	0,90
g. Ekskavatör yıllık iş miktarı $\{(a*c*d*e*f)/b\}$	518.400 m ³ /yıl
h. Yıllık kazılacak dekapaj (l*m)m ³ /yıl
i. Ekskavatör ihtiyacı (h/g) adet
j. Yedek ekskavatör çarpanı	0,1
k. Ekskavatör ihtiyacı $\{i+(i*j)\}$	~...
l. Yerinde dekapaj hacmi m ³ /yıl
m. Kabarma katsayısı	1,1

Kamyon Hesabı (Ortalama Gidiş-Geliş 3km %8 meyilli yol)

a. Kamyon kapasitesi	14 m ³
b. Toplam kamyon sefer süresi	20 dakika
c. Kamyon sefer sayısı	3 sefer/saat
d. Günlük çalışma süresi	16 saat/gün
e. Yıllık çalışma günü	300 gün/yıl
f. Randıman	0,95
g. Kamyon yıllık iş miktarı $\{=(a*c*d*e*f)\}$	~...

1 Ekskavatör için kamyon sayısı $\{= \text{Ekskavatör yıllık iş miktarı} / \text{Kamyon yıllık iş miktarı}\}$
 $= 518.400 \text{ m}^3/\text{yıl} / 191.520 \text{ m}^3/\text{yıl}$
 $= \sim 3 \text{ adet}$

Senaryo A-I'in Geleneksel COG'a göre ilk yıl ki dekapaj miktarı 1.744.864 ton/yıl olup, ortalama çıkan malzemenin yoğunluğu 3,5 ton/m³ ve kabarma faktörü 1,1 alındığında

548.385,827 m³/yıl olur. Lane ve iterasyon algoritmalarının ilk yıl ki dekapaj miktarları aynı şekilde hesaplanarak sırasıyla 7.323.433,227 m³/yıl ile 7.863.843,735 m³/yıl olmaktadır. Bu veriler doğrultusunda işletmenin Geleneksel COG'de ~1 adet, Lane algoritması'nda ~16 adet ve iterasyon algoritması'nda ~17 adet ekskavatör ihtiyacı vardır. Kamyon gereksinimi ise, Geleneksel COG'de ~3 adet, Lane algoritması'nda ~48 adet ve iterasyon algoritması'nda ~51 adet olarak bulunmuştur.

Senaryo A-II'in Geleneksel COG'de ~2 adet, Lane algoritması'nda ~14 adet ve iterasyon algoritması'nda ~15 adet ekskavatör ihtiyacı vardır. Kamyon gereksinimi ise, Geleneksel COG'de ~6 adet, Lane algoritması'nda ~42 adet ve iterasyon algoritması'nda ~45 adet olarak bulunmuştur.

Senaryo A-III'ün Geleneksel COG'de ~2 adet, Lane algoritması'nda ~16 adet ve iterasyon algoritması'nda ~16 adet ekskavatör ihtiyacı vardır. Kamyon gereksinimi ise, Geleneksel COG'de ~6 adet, Lane algoritması'nda ~48 adet ve iterasyon algoritması'nda ~48 adet olarak bulunmuştur.

Senaryo B-I'in Geleneksel COG'de ~2 adet, Lane algoritması'nda ~9 adet ve iterasyon algoritması'nda ~16 adet ekskavatör ihtiyacı vardır. Kamyon gereksinimi ise, Geleneksel COG'de ~6 adet, Lane algoritması'nda ~27 adet ve iterasyon algoritması'nda ~48 adet olarak bulunmuştur.

Diğer senaryolarda da ilk yılki dekapaj oranları birbirine yakın olduğundan benzer ekskavatör ve kamyon sayılarına ihtiyaç duyulduğu hesaplanmıştır. Bütün bu sonuçlardan iterasyon algoritmasının işletme ömrünün en kısa, NPV'sinin en fazla olması sebebiyle, ortaya çıkan ~16 adet ekskavatör ve buna bağlı olarak ~48 adet kamyonun teknik açıdan diğer algoritmalara göre avantajlı olduğu görülmüştür.

6. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışmada, özellikle maden planlama ve dizayn aşamasında önemli bir etken olarak maden mühendislerinin karşısına çıkan maksimum Net Bugünkü Değeri (NPV) elde etmeye yönelik ekonomik sınır tenörü politikası incelenmiştir.

Ekonomik sınır tenörü (COG) tanımlaması oldukça açık ve kesin olmasına rağmen, bir yatağın değerlendirilmesinde kullanılacak olan COG politikasının seçimi için aynı kesinlik söz konusu değildir. Üretim sırasında, basit olarak hesaplanmış Geleneksel COG tenörlerinin kullanılması, yatağın değerlendirilmesinde çoğunlukla optimum olmayan sonuçlara yol açmaktadır. NPV maksimize eden bir yöntem ile yatağın değerlendirilmesi madenin ömrünün sonunda, maden firmasının amaçlarını tatmin eden bir sonuç verecektir. Bir üretim ile sağlanan Net Bugünkü Değer, birbiri ile ilişkili çok sayıda değişkene bağlıdır. Bu değişkenlere, üretim ve cevher hazırlama kapasiteleri, kazı sırası ve ekonomik sınır tenörleri örnek olarak verilebilir. Bu birbirine bağlı değişkenler, bir projenin Net Bugünkü Değerinin tanımlanmasında kompleks bir şekilde birbirini etkilemektedir. Kazı sırası; üretim oranlarına, yatağın tenör dağılımı ve ekonomik sınır tenörlerine bağlıdır. Ekonomik sınır tenörleri, kazı sırası ve üretim sisteminin kapasiteleri bilinmeksizin belirlenemeyebilir. Kapasitelerin belirlenmesi, doğrudan ekonomik sınır tenörleri ve kazı sırası ile ilişkilidir. Maden planlaması, projenin yaşamı süresince bu değişken değerlerinin tanımlanması aşamalarından oluşmaktadır. Maden planlamasının en büyük zorluğu, planlanmış kazı sırası, COG ve yatağın tenör dağılımı ile mükemmel bir uyum içinde olan üretim sistemi kapasitesinin tanımlanmasıdır. Verilen bir kapasite değerler kümesi, üretim sisteminin bu kapasitesi ile ilişkili ekonomik maliyetler, ocağın kazı sırası ve fiyatlar için projenin Net Bugünkü Değerini maksimize eden tek bir ekonomik sınır tenör politikası vardır.

Tez kapsamında öncelikle bu kompleks problemin çözüme yönelik olarak geliştirilmiş olan literatürde ve pratik uygulamalarda yaygın olarak kullanılan önemli yöntemler incelenmiştir. Daha sonra bu yöntemlere alternatif olabilecek yeni algoritma üretilmeye

çalışılmıştır. Sonuçta iki farklı tenör-tonaj dağılımında Eşitlik 4.9 ve Eşitlik 4.10'a göre hesaplanarak önemli bulgular elde edilmiştir. Bunlardan ilki yakın komşu yaklaşımı (NN)'ni içeren Senaryo A ve Senaryo B'deki algoritmalar ile COG optimizasyonudur. Bu çalışmadan alınan önemli sonuçlar şunlardır:

Bu gerçek saha çalışmasında 4.9 denklemi kullanılarak üç farklı bakır fiyatı ile hesaplanan iterasyon algoritmasındaki optimizasyon faktörünün NPV üzerindeki etkisi %12 gibi önemli bir değer artışıdır. Ayrıca optimizasyon faktörünün, bakır fiyatı 90\$/oz olarak alındığında sifira yaklaştığı görülmektedir. Böylece bu değerler içinden bakır fiyatının eşik değeri 90\$/oz alınmalıdır. Aynı yaklaşımda 4.10 denklemi kullanılarak üç farklı reklamasyon maliyeti ve bakır fiyatı ile hesaplanan iterasyon algoritması sonuçlarında; COG'in reklamasyon maliyeti ile doğru, bakır fiyatı ile ters orantılı olması NPV ve diğer parametrelerde farklılıklara neden olduğunu göstermektedir. Reklamasyon maliyeti 5 \$/ton alındığında optimizasyon faktörünün NPV üzerindeki etkisi, 230 \$/oz bakır fiyatı %23,68 ve 150 \$/oz bakır fiyatı %38,43'tür. 90 \$/oz bakır fiyatında ise işletme zarar etmektedir. Reklamasyon maliyeti 10 \$/ton alındığında optimizasyon faktörünün NPV üzerindeki etkisi, 230 \$/oz bakır fiyatı iken %20'dir. 150 \$/oz ve 90 \$/oz bakır fiyatlarında işletme zarar etmektedir. Ayrıca reklamasyon maliyeti 20 \$/ton alınırse değerlendirilen bakır fiyatlarının hepsinde zarar ettiği görülmektedir.

İkinci önemli bulgu ise uzaklığın tersi yaklaşımı (ID)'ndan elde edilen veriler ile COG optimizasyonunun hesaplanmasıdır. Bu çalışmada da 4.9 denklemi ile 4.10 denklemi kullanılarak bu kez Senaryo C ve Senaryo D algoritmaları uygulanmış, Senaryo A ve Senaryo B'deki sonuçlara yakın neticeler alınmıştır. Ancak uzaklığın tersi yaklaşımındaki genel tenör ortalamasının, en yakın komşu yaklaşımındaki genel tenör ortalamasına göre düşük olması nedeniyle, alınan NPV ve fayda sonuçları daha az çıkmıştır.

Tez kapsamında, literatürde en çok kullanılan Geleneksel COG politikası ve Lane algoritması ile de kıyaslamalar yapılmıştır. Yukarıda açıklandığı gibi en yüksek NPV değerini elde etmeye yönelik optimum COG politikasında önemli bir gelişme sağlanmıştır. Gerçek saha çalışma sonuçları bunu açıkça göstermektedir.

Bu nedenle, burada sunulan ekonomik sınır tenörü optimizasyon algoritması ekonomik sınır tenörü politikasını geliştiren, maliyet tahmini ve risk analizlerinde simülasyon kullanımı gibi nihai algoritmanın uygulanması için pratik bir araçtır. Ayrıca bu yaklaşım maden planlama aşamasında çeşitli ekonomik ve tenör/tonaj alternatiflerinin değerlendirilmesi için büyük bir esneklik sağlamaktadır.

KAYNAKLAR

- AKÇIN H., 2002, 'GPS-Nivelman Ölçüleri ve Kriging Yöntemiyle Yerel Jeoit Belirleme Üzerine Deneysel Uygulama', *Yıldız Teknik Üniversitesi Dergisi*, 2002/4
- ANNELS, A. E., 1991, 'Mineral Deposit Evaluation-A Partial Approach', *Chapman and Hall, London*, pp. 114-117.
- ASAD, M. W. A., 2005, 'Cutoff Grade Optimization Algorithm for open Pit Mining Operations with Consideration of Dynamic Metal Price and Cost Escalation during Mine Life', *Application of Computers and Operations Research in the Mineral Industry*, pp. 273-277 (APCOM 2005), TUSCON, USA, 30 March-1 April.
- ATAEI, M. and OSANLOO, M., 2004, 'Using a Combination of Genetic Algorithm and the Grid Search Method to Determine Optimum Cutoff Grades of Multiple Metal Deposits', *International Journal of Surface Mining, Reclamation and Environment*, Vol. 18, No. 1, pp. 60-78.
- ATAEI, M. and OSANLOO, M., 2003a, 'Methods For Calculation Of Optimal Cutoff Grades In Complex Ore Deposits', *Journal of Mining Science*, Vol. 39, No. 5, pp 507-499.
- ATAEI, M. and OSANLOO, M., 2003b, 'Using equivalent grade factors to find the optimum cut-off grades of multiple metal deposits', *Minerals Engineering*, 16(2003) 771-776.
- BARID, B.K., and SATCHWELL, P.C., 2001, 'Application of Economic Parameters and Cutoffs during and after Pit Optimization', *Mining Engineering*, pp33-40.
- BASCETIN, A. and NIETO, A., 2007, 'Determination of Optimal Cut-off Grade Policy to Optimize NPV Using a New Approach With Optimization Factor', *The Journal of The Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, Vol. 107, Feb. 2007, pp. 1-8.
- BÖLTE, A. and THONEMANN, U.W., 1996, 'Optimizing simulated annealing schedules with genetic programming', *European Journal Of Operational Research*, 92(1996)402-416.
- DAGDELEN, K., 1992, 'Cutoff grade optimization', *23rd APCOM Symposium*, SME, Littleton, Colorado, USA, pp. 157-165.

- DENBY, B. and SCHOFIELD, D., 1994, 'Open Pit Design and Scheduling by Use of Genetic Algorithm', *The Institution of Mining and Metallurgy*, Section A, Vol 103, Sf A17-20 .
- ERGİN, H., KIRMANLI, C. ve ERDOĞAN, T., 1998, 'Yeni Bilgisayar Teknikleri ile Kaliteye Bağlı Olarak Sınıflandırılmış Kömür Rezervlerin Belirlenmesi', *Madencilik*, Vol. 37, No. 4.
- ETİ BAKIR-CENGİZ İNŞ., 2007, 'Küre Bakır İşletme Raporu', sayfa 5-50.
- GOOGLE internet sitesi, <http://www.unr.edu/mines/mine-eng/presentations/Costa/Costa.PPT>, <http://www.emnrd.state.nm.us>, <http://www.mii.org/recl.php>, [Ziyaret tarihi: 10 Mart 2009].
- GRIFFIN, P., 1997, "Practical Computer Modeling and Planning of Mineral Reserves", *Mine Planning and Equipment Selection*, s. 675-679.
- HUSTRULID, W., and KUTCHA, M., 1995, 'Open Pit Mine Planning and Design', vol.1, A.A. Balkema, Rotterdam, Vrookfield, pp.512-544.
- KELLY, J. D. Jr., and DAVIS, L., 1991, 'Hybridizing the Genetic Algorithm and the K Nearest Neighbors Classification Algorithm', *In ICGA 1991*, pp. 377-383.
- LANE, K. F., 1964, 'Choosing the Optimum Cutoff Grade', *Colorado School of Mines Quarterly*, Vol. 59, pp. 811-824.
- LANE, K. F., 1988, 'The Economic Definition of Ore-Cutoff Grades in Theory and Practice', *Mining Journal Books Limited*, London, pp 147.
- LASDON, L. S., WARREN, A. D., JAIN A. and RATNER M., 1978, 'Design and testing of a generalized reduced gradient code for nonlinear programming', *ACM Trans. Math. Software* 4 34-50.
- LIIMATAINEN, J., 1998, 'Valuation Model and Equivalence Factors for Base Metal Ores', *In: Singhal J. (Ed.), Proceeding of Mine Planning and Equipment Selection*, A.A. Balkema, Rotterdam, Vrookfield, pp.317-322.
- NIETO A. and BASCETIN A., 2006 , 'Mining Cutoff Grade Strategy to Optimize NPV Based on Multiyear GRG İterative Factor', *2006 Institute of Metarials, Minerals and Mining, Section A Mining Technology*, Vol. 115 No. 2 pp. 59-64.
- PERİLLO, G. M. E. and MARONE E., 1986, 'Applications of Maximum Entropy and Optimal Number of Class Interval Concepts: Two Examples', *Mathematical Geology*, [Volume 18, Number 5 / July, 1986](#), pp 465-476.
- RASHIDINEJAD F., OSANLOO M., REZAI B., 2008, 'An environmental oriented model for optimum cut-off grades in open pit mining projects to minimize acid mine drainage', *Int. J. Environ. Sci. Tech.*, 5(2), 183-194.

- RENDU, J. ve MARHIESON, G., 1990; "Statistical and Geostatistical Methods", *Surface Mining 2nd Edition-Kennedy, B.A. (editor), SME, Colorado*, s. 301-348.
- SHTUB, A., LEBLANC, L.J., and CAI, Z., 1996, 'Scheduling programs with repetitive projects: A comparison of a simulated annealing, a genetic and a pair-wise swap algorithm', *European Journal Of Operational Research*, 88(1996) 124-138.
- TAYLOR, H. K., 1972, 'General Background Theory of Cutoff Grades', *Institution of Mining and Metallurgy Transactions*, A160-179.
- TERCAN, A. E., 2007, 'Jeoistatistiksel Rezerv Hesabı ve Surpac Uygulaması', *T.K.İ. Raporu, Hacettepe Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü*, Ankara, syf 44-47
- TÜYSÜZ N. ve YAYLALI G.,2005, 'Jeoistatistik kavramlar ve bilgisayarlı uygulamaları', *KTÜ Jeoloji Müh. Bölümü*, sayfa 5-7.
- WHEELER, A.J. and RODRIGUES, R.L., 2002, 'Cutoff-grade analysis at Fazenda Brasileiro: mine planning for declining gold prices', *The Institution of Mining and Metallurgy*, Section A, Volume 111, Number 1, April 2002 , pp. 35-46.
- WHITTLE, J., and WHARTON, C., 1995a, 'Optimizing Cutoff Grades', *Mining Magazine*, pp 287-289.
- WHITTLE, J., and WHARTON, C., 1995b, 'Optimizing Cutoffs over time', *25th International Symposium Application of Computers and Mathematics in the Mineral Industries*, Australia, pp. 261-265.
- YANG, K.K., TAY, L.C., and SUM, C.C., 1995, 'A comparison of stochastic scheduling rules for maximizing project net present value', *European Journal Of Operational Research*, 85(1995) 327-339.
- ZHANG, S., 1998, 'Multimetal Recoverable Reserve Estimation and its Impact on the Cove Ultimate Pit Design', *Mining Engineering*, pp.73-77

EKLER

EK-1 : Collar Tablosu

EK-2 : Survey Tablosu

EK-3 : Geology Tablosu

EK-4 : Sample Tablosu

EK-1

hole_id	max_depth	x	y	z
DHA001	104,10	558.303,00	630.663,00	1.201,00
DHA002	87,00	558.358,00	630.640,00	1.172,63
DHA003	105,00	558.411,00	630.631,00	1.165,24
DHA004	134,95	558.232,00	630.535,00	1.185,55
DHA005	90,00	558.137,00	630.580,00	1.145,60
DHB003	145,00	558.353,00	630.862,00	1.242,14
DHS001	87,00	558.152,00	630.630,00	1.169,59
DHS002	156,00	558.385,00	630.741,00	1.220,50
DHS003	193,00	558.388,00	630.942,00	1.250,47
DHS004	195,25	558.458,00	630.850,00	1.195,00
DHS005	118,00	558.287,00	630.620,00	1.199,00
DHS006	105,40	558.372,00	630.536,00	1.172,00
DHS007	153,40	558.290,00	630.820,00	1.252,00
DHS008	130,60	558.433,00	630.573,00	1.160,50
DHS009	261,00	558.422,00	630.733,00	1.199,00
DHS010	181,75	558.399,00	630.842,00	1.220,00
DHS017	136,20	558.316,00	630.915,00	1.266,00
DHS019	193,30	558.388,00	630.796,00	1.221,00
DHS021	163,15	558.446,00	630.615,00	1.166,00
DHS028	247,50	558.432,00	630.776,00	1.194,97
DHS030	42,15	558.350,00	630.737,00	1.209,00
DHS30A	88,75	558.378,00	630.709,00	1.213,00
DHS031	278,60	558.410,00	630.684,00	1.196,00
DHS034	96,10	558.450,00	630.714,00	1.182,45
DHS035	253,90	558.483,00	630.769,00	1.171,60
BYS03B	119,50	558.478,30	630.727,50	926,00
BYS02C	132,00	558.487,80	630.747,00	926,00
BYS04D	120,00	558.477,50	630.702,90	926,00
DHBS01	181,00	558.390,00	630.586,00	1.164,38
DHBS02	158,50	558.353,00	630.619,00	1.193,80
DHBS03	116,00	558.315,00	630.618,00	1.195,41
DHBS08	100,00	558.362,00	630.704,00	1.210,56
DHBB01	119,30	558.395,00	630.546,00	1.163,68
DHBB02	200,00	558.430,00	630.508,00	1.166,50
DHBB03	201,00	558.315,00	630.512,00	1.191,00
MJTK03	301,00	558.330,00	631.070,00	1.287,00

EK-2

azimuth	depth	dip	hole_id
0	104,10	-90,00	DHA001
0	87,00	-90,00	DHA002
0	105,00	-90,00	DHA003
0	134,95	-90,00	DHA004
0	90,00	-90,00	DHA005
0	145,00	-90,00	DHB003
0	87,00	-90,00	DHS001
0	156,00	-90,00	DHS002
0	193,00	-90,00	DHS003
0	195,25	-90,00	DHS004
0	118,00	-90,00	DHS005
0	105,40	-90,00	DHS006
0	153,40	-90,00	DHS007
0	130,60	-90,00	DHS008
0	261,00	-90,00	DHS009
0	181,75	-90,00	DHS010
0	136,20	-90,00	DHS017
0	193,30	-90,00	DHS019
0	163,15	-90,00	DHS021
0	247,50	-90,00	DHS028
0	42,15	-90,00	DHS030
0	88,75	-90,00	DHS30A
0	278,60	-90,00	DHS031
0	96,10	-90,00	DHS034
0	253,90	-90,00	DHS035
0	119,50	-90,00	BYS03B
0	132,00	-90,00	BYS02C
0	120,00	-90,00	BYS04D
0	181,00	-90,00	DHBS01
0	158,50	-90,00	DHBS02
0	116,00	-90,00	DHBS03
0	100,00	-90,00	DHBS08
0	119,30	-90,00	DHBB01
0	200,00	-90,00	DHBB02
0	201,00	-90,00	DHBB03
0	301,00	-90,00	MJTK03

EK-3

depth_from	depth_to	hole_id	lithology
0,00	20,15	DHA001	11
20,15	47,25	DHA001	17
47,25	61,00	DHA001	12
61,00	71,00	DHA001	13
71,00	104,10	DHA001	12
0,00	47,20	DHA002	11
47,20	76,00	DHA002	13
76,00	87,00	DHA002	17
0,00	13,00	DHA003	11
13,00	69,00	DHA003	12
69,00	83,00	DHA003	14
83,00	85,00	DHA003	12
85,00	92,00	DHA003	14
92,00	105,00	DHA003	12
0,00	75,10	DHA004	12
75,10	78,15	DHA004	17
78,15	90,05	DHA004	12
90,05	123,95	DHA004	15
123,95	134,95	DHA004	12
0,00	13,50	DHA005	11
13,50	29,50	DHA005	13
29,50	75,00	DHA005	12
75,00	80,00	DHA005	15
80,00	90,00	DHA005	12
0,00	96,25	DHB003	11
96,25	134,55	DHB003	13
134,55	145,00	DHB003	17
0,00	30,00	DHS001	12
30,00	33,00	DHS001	15
33,00	46,00	DHS001	12
46,00	87,00	DHS001	17
0,00	107,40	DHS002	12
107,40	122,50	DHS002	13
122,50	156,00	DHS002	12
0,00	157,45	DHS003	17
157,45	193,00	DHS003	12
0,00	23	DHS004	11
23,00	195,25	DHS004	12
0,00	6	DHS005	11
6,00	118	DHS005	12
0,00	90	DHS006	12
90,00	93,2	DHS006	17
93,20	105,4	DHS006	12
0,00	7,65	DHS007	12
7,65	52,45	DHS007	15
52,45	56,85	DHS007	18
56,85	57,85	DHS007	14
57,85	66,15	DHS007	18
66,15	102,5	DHS007	15
102,50	109,15	DHS007	19

EK-3 devamı,

depth_from	depth_to	hole_id	lithology
109,15	153,4	DHS007	15
0,00	51,1	DHS008	12
51,10	63,3	DHS008	14
63,30	81,6	DHS008	21
81,60	114,65	DHS008	14
114,65	130,6	DHS008	22
0,00	45,35	DHS009	12
45,35	166,45	DHS009	17
166,45	178,65	DHS009	12
178,65	190,85	DHS009	17
190,85	256,7	DHS009	13
256,70	261	DHS009	12
0,00	17,5	DHS010	12
17,50	36,15	DHS010	14
36,15	45,3	DHS010	12
45,30	57	DHS010	14
57,00	71,95	DHS010	12
71,95	96,35	DHS010	13
96,35	142,1	DHS010	14
142,10	145,15	DHS010	12
145,15	177,2	DHS010	14
177,20	181,75	DHS010	12
0,00	11,3	DHS017	16
11,30	52,05	DHS017	17
52,05	136,2	DHS017	12
0,00	11	DHS019	11
11,00	57	DHS019	16
57,00	60,95	DHS019	12
60,95	83,15	DHS019	14
83,15	139,05	DHS019	13
139,05	163,6	DHS019	17
163,60	175,75	DHS019	13
175,75	193,3	DHS019	17
0,00	26	DHS021	11
26,00	96,35	DHS021	12
96,35	150,25	DHS021	17
150,25	163,15	DHS021	12
0,00	25,85	DHS028	11
25,85	215,95	DHS028	17
215,95	241	DHS028	13
241,00	243,2	DHS028	17
243,20	247,5	DHS028	12
0,00	42,15	DHS030	16
0,00	17,35	DHS30A	12
17,35	71,2	DHS30A	17
71,20	84,05	DHS30A	13
84,05	88,75	DHS30A	17
0,00	20	DHS031	11
20,00	37	DHS031	12
37,00	77,45	DHS031	17

EK-3 devamı,

depth_from	depth_to	hole_id	lithology
77,45	133,25	DHS031	12
133,25	180,7	DHS031	17
180,70	245,3	DHS031	12
245,30	278,6	DHS031	18
0,00	20,25	DHS034	11
20,25	60	DHS034	12
60,00	80	DHS034	17
80,00	96,1	DHS034	12
0,00	20,15	DHS035	11
20,15	138,7	DHS035	12
138,70	253,9	DHS035	17
0,00	40	BYS03B	11
40,00	49	BYS03B	13
49,00	65,5	BYS03B	12
65,50	75	BYS03B	13
75,00	91,5	BYS03B	17
91,50	102,9	BYS03B	13
102,90	119,5	BYS03B	12
0,00	132	BYS02C	23
0,00	120	BYS04D	12
0,00	115	DHBS01	11
115,00	145	DHBS01	13
145,00	181	DHBS01	12
0,00	97	DHBS02	11
97,00	117,5	DHBS02	13
117,50	158,5	DHBS02	12
0,00	74	DHBS03	11
74,00	83,5	DHBS03	13
83,50	116	DHBS03	12
0,00	71	DHBS08	11
71,00	83,5	DHBS08	13
83,50	100	DHBS08	12
0,00	5	DHBB01	24
5,00	19	DHBB01	25
19,00	90,3	DHBB01	26
90,30	119,3	DHBB01	27
0,00	27	DHBB02	27
27,00	33	DHBB02	26
33,00	169	DHBB02	27
169,00	200	DHBB02	28
0,00	103	DHBB03	27
103,00	105	DHBB03	13
105,00	119	DHBB03	27
119,00	201	DHBB03	28
0,00	3	MJTK03	29
3,00	107	MJTK03	31
107,00	301	MJTK03	27

EK-4

depth_from	depth_to	Cu	hole_id	sample_id
0,00	20,15	0,00	DHA001	SDHA1001
20,15	47,25	0,00	DHA001	SDHA1002
47,25	61,00	0,00	DHA001	SDHA1003
61,00	71,00	3,66	DHA001	SDHA1004
71,00	104,10	0,00	DHA001	SDHA1005
0,00	47,20	0,00	DHA002	SDHA2001
47,20	76,00	1,35	DHA002	SDHA2002
76,00	87,00	0,00	DHA002	SDHA2003
0,00	13,00	0,00	DHA003	SDHA3001
13,00	69,00	0,00	DHA003	SDHA3002
69,00	83,00	2,34	DHA003	SDHA3003
83,00	85,00	0,00	DHA003	SDHA3004
85,00	92,00	3,05	DHA003	SDHA3005
92,00	105,00	0,00	DHA003	SDHA3006
0,00	75,10	0,00	DHA004	SDHA4001
75,10	78,15	0,00	DHA004	SDHA4002
78,15	90,05	0,00	DHA004	SDHA4003
90,05	123,95	0,00	DHA004	SDHA4004
123,95	134,95	0,00	DHA004	SDHA4005
0,00	13,50	0,00	DHA005	SDHA5001
13,50	29,50	2,76	DHA005	SDHA5002
29,50	75,00	0,00	DHA005	SDHA5003
75,00	80,00	0,00	DHA005	SDHA5004
80,00	90,00	0,00	DHA005	SDHA5005
0,00	96,25	0,00	DHB003	SDHB3001
96,25	134,55	0,51	DHB003	SDHB3002
134,55	145,00	0,00	DHB003	SDHB3003
0,00	30,00	0,00	DHS001	SDHS1001
30,00	33,00	0,00	DHS001	SDHS1002
33,00	46,00	0,00	DHS001	SDHS1003
46,00	87,00	0,00	DHS001	SDHS1004
0,00	107,40	0,00	DHS002	SDHS2001
107,40	122,50	4,17	DHS002	SDHS2002
122,50	156,00	0,00	DHS002	SDHS2003
0,00	157,45	0,00	DHS003	SDHS3001
157,45	193,00	0,00	DHS003	SDHS3002
0,00	23	0	DHS004	SDHS4001
23,00	195,25	0	DHS004	SDHS4002
0,00	6	0	DHS005	SDHS5001
6,00	118	0	DHS005	SDHS5002
0,00	90	0	DHS006	SDHS6001
90,00	93,2	0	DHS006	SDHS6002
93,20	105,4	0	DHS006	SDHS6003
0,00	7,65	0	DHS007	SDHS7001
7,65	52,45	0	DHS007	SDHS7002
52,45	56,85	0	DHS007	SDHS7003
56,85	57,85	0,34	DHS007	SDHS7004
57,85	66,15	0	DHS007	SDHS7005
66,15	102,5	0	DHS007	SDHS7006
102,50	109,15	0	DHS007	SDHS7007

EK-4 devamı,

depth_from	depth_to	Cu	hole_id	sample_id
109,15	153,4	0	DHS007	SDHS7008
0,00	51,1	0	DHS008	SDHS8001
51,10	63,3	2,76	DHS008	SDHS8002
63,30	81,6	0	DHS008	SDHS8003
81,60	114,65	2,76	DHS008	SDHS8004
114,65	130,6	0	DHS008	SDHS8005
0,00	45,35	0	DHS009	SDHS9001
45,35	166,45	0	DHS009	SDHS9002
166,45	178,65	0	DHS009	SDHS9003
178,65	190,85	0	DHS009	SDHS9004
190,85	256,7	4,98	DHS009	SDHS9005
256,70	261	0	DHS009	SDHS9006
0,00	17,5	0	DHS010	SDS10001
17,50	36,15	3,11	DHS010	SDS10002
36,15	45,3	0	DHS010	SDS10003
45,30	57	0,54	DHS010	SDS10004
57,00	71,95	0	DHS010	SDS10005
71,95	96,35	7,62	DHS010	SDS10006
96,35	142,1	0,72	DHS010	SDS10007
142,10	145,15	0	DHS010	SDS10008
145,15	177,2	0,59	DHS010	SDS10009
177,20	181,75	0	DHS010	SDS10010
0,00	11,3	0	DHS017	SDS17001
11,30	52,05	0	DHS017	SDS17002
52,05	136,2	0	DHS017	SDS17003
0,00	11	0	DHS019	SDS19001
11,00	57	0	DHS019	SDS19002
57,00	60,95	0	DHS019	SDS19003
60,95	83,15	2,76	DHS019	SDS19004
83,15	139,05	4,28	DHS019	SDS19005
139,05	163,6	0	DHS019	SDS19006
163,60	175,75	2,57	DHS019	SDS19007
175,75	193,3	0	DHS019	SDS19008
0,00	26	0	DHS021	SDS21001
26,00	96,35	0	DHS021	SDS21002
96,35	150,25	0	DHS021	SDS21003
150,25	163,15	0	DHS021	SDS21004
0,00	25,85	0	DHS028	SDS28001
25,85	215,95	0	DHS028	SDS28002
215,95	241	2,07	DHS028	SDS28003
241,00	243,2	0	DHS028	SDS28004
243,20	247,5	0	DHS028	SDS28005
0,00	42,15	0	DHS030	SDS30001
0,00	17,35	0	DHS30A	SDS30A01
17,35	71,2	0	DHS30A	SDS30A02
71,20	84,05	2,76	DHS30A	SDS30A03
84,05	88,75	0	DHS30A	SDS30A04
0,00	20	0	DHS031	SDS31001
20,00	37	0	DHS031	SDS31002
37,00	77,45	0	DHS031	SDS31003

EK-4 devamı,

depth_from	depth_to	Cu	hole_id	sample_id
77,45	133,25	0	DHS031	SDS31004
133,25	180,7	0	DHS031	SDS31005
180,70	245,3	0	DHS031	SDS31006
20,25	60	0	DHS034	SDS34002
60,00	80	0	DHS034	SDS34003
80,00	96,1	0	DHS034	SDS34004
0,00	20,15	0	DHS035	SDS35001
20,15	138,7	0	DHS035	SDS35002
138,70	253,9	0	DHS035	SDS35003
0,00	40	0	BYS03B	SBYS3B01
40,00	49	5,14	BYS03B	SBYS3B02
49,00	65,5	0	BYS03B	SBYS3B03
65,50	75	5,14	BYS03B	SBYS3B04
75,00	91,5	0	BYS03B	SBYS3B05
91,50	102,9	5,14	BYS03B	SBYS3B06
102,90	119,5	0	BYS03B	SBYS3B07
0,00	132	0	BYS02C	SBYS2C01
0,00	120	0	BYS04D	SBYS4D01
0,00	115	0	DHBS01	SDHBS101
115,00	145	3,26	DHBS01	SDHBS102
145,00	181	0	DHBS01	SDHBS103
0,00	97	0	DHBS02	SDHBS201
97,00	117,5	1,26	DHBS02	SDHBS202
117,50	158,5	0	DHBS02	SDHBS203
0,00	74	0	DHBS03	SDHBS301
74,00	83,5	1,74	DHBS03	SDHBS302
83,50	116	0	DHBS03	SDHBS303
0,00	71	0	DHBS08	SDHBS801
71,00	83,5	0,06	DHBS08	SDHBS802
83,50	100	0	DHBS08	SDHBS803
0,00	5	0	DHBB01	SDHBB101
5,00	19	0	DHBB01	SDHBB102
19,00	90,3	0	DHBB01	SDHBB103
90,30	119,3	0	DHBB01	SDHBB104
0,00	27	0	DHBB02	SDHBB201
27,00	33	0	DHBB02	SDHBB202
33,00	169	0	DHBB02	SDHBB203
169,00	200	0	DHBB02	SDHBB204
0,00	103	0	DHBB03	SDHBB301
103,00	105	2,76	DHBB03	SDHBB302
105,00	119	0	DHBB03	SDHBB303
119,00	201	0	DHBB03	SDHBB304
0,00	3	0	MJTK03	SMJTK301
3,00	107	0	MJTK03	SMJTK302
107,00	301	0	MJTK03	SMJTK303

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Serkan TÜYLÜ

Doğum Yeri : İSTANBUL

Doğum Yılı : 1983

Medeni Hali : Bekar

Eğitim ve Akademik Durumu :

Lisans : 2001-2006 İstanbul Üniversitesi, Mühendislik Fak. Maden Müh. Böl.

Yabancı Dil : İngilizce

GSM No : 05428088283

E-mail : ser_tuylu@hotmail.com