

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**AÇIK OCAK İŞLETMELERİNDE OPTİMUM
NİHAİ SINIRIN BELİRLENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Müh. Murat ÖZKAN**

Anabilim Dalı : MADEN MÜHENDİSLİĞİ

Programı : MADEN MÜHENDİSLİĞİ

HAZİRAN 2006

**AÇIK OCAK İŞLETMELERİNDE OPTİMUM
NİHAİ SINIRIN BELİRLENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Müh. Murat ÖZKAN
505031005**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 8 Mayıs 2006
Tezin Savunulduğu Tarih : 14 Haziran 2006**

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Selamet G. ERÇELEBİ (İ.T.Ü.)

Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Erkin NASUF (İ.T.Ü.)

Doç. Dr. Ataç BAŞÇETİN (İ.Ü.)

HAZİRAN 2006

ÖNSÖZ

Tez çalışmalarım süresince her türlü imkanı sağlayan, mesleki bilgi ve birikimlerini, eleştiri ve yorumlarını esirgemeyen, her konuda çalışmama destek veren danışman hocam Sayın Doç. Dr. Selamet G. Erçelebi'ye;

Vulcan programı konusunda gösterdiği yardım ve anlayışlarından dolayı Sayın Maden Yük. Müh. Öykü Selimoğlu'na, Sayın Maden Müh. A. Gani Eşiyok'a ve Sayın Maden Müh. Eralp Polat'a;

Çalışmalarımın her aşamasında benden desteğini ve anlayışlarını esirgemeyen, her türlü imkanı sağlayan sevgili ailem ve de dostlarıma;

Teşekkür ederim...

Mayıs, 2006

Murat ÖZKAN

İÇİNDEKİLER

TABLO LİSTESİ	v
ŞEKİL LİSTESİ	vi
ÖZET	ix
SUMMARY	x
1.GİRİŞ	1
2. AÇIK OCAK İŞLETMELERİNDE NİHAİ SINIRI BELİRLEMEK İÇİN KULLANILAN YÖNTEMLER	3
2.1. Klasik Yöntemler	4
2.2. Hareketli Koniler Yöntemi.....	10
2.3. Lerchs-Grossmann Algoritması	17
2.4. Koenigsberg Dinamik Programlama Algoritması.....	21
2.5. Wright Dinamik Programlama Algoritması.....	23
2.6. Korobov Algoritması	24
2.7. Maksimum Akım Algoritması	27
3. LERCHS-GROSSMANN ALGORİTMASI	32
3.1. 2-Boyutlu Lerchs-Grossmann Algoritması	32
3.2. 3-Boyutlu Lerchs-Grossmann Algoritması	39
3.2.1. Bazı Önemli Terim ve Kavramların Tanımı	39
3.2.2. Ağaç Oluşumu İçin İki Yaklaşım.....	44
3.2.2.1. Rastgele Ağaç Yaklaşımı	44
3.2.2.2. Kök İle Doğrudan Bağlantılı Yaklaşım (2.Yaklaşım)	48
3.2.3. Ağaç Kesme İşlemi	52
4. ETİ-BOR A.Ş. KESTELEK SAHASININ TANITILMASI	55
4.1. Genel Özellikler ve Coğrafi Konum	55
4.2. Genel Jeoloji.....	56
4.3. Mineraloji.....	59
5. LERCHS-GROSSMANN ALGORİTMASI İLE ETİ-BOR KESTELEK AÇIK İŞLETMESİNİN NİHAİ SINIRININ BULUNMASI	64
5.1. Veri Tabanının Oluşturulması.....	64

5.2. Maden Yatağının Modellenmesi	64
5.3. Blok Modelleme.....	67
5.4. Lerchs-Grossmann Algoritmasının Kullanılması	70
5.5. Nihai Sınırlara Ulaşıldığında Dekapaj ve Cevher Miktarları.....	71
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	73
KAYNAKLAR	74
EKLER.....	76
ÖZGEÇMİŞ.....	109

TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 2.1. 3-Boyutlu Hareketli Koniler Algoritması Örneği İçin Adımlar.....	17
Tablo 3.1. Bağlantıların Sınıflandırılma Kriterleri.....	46
Tablo 5.1. Rezerv Hesapları	67
Tablo 5.2. Blok Modellemede Örnek Bir Cevher Bloğunun Özellikleri	69
Tablo 5.3. Blok Modellemede Örnek Bir Yan Kayaç Bloğunun Özellikleri.....	69
Tablo 5.4. Üretim Sonunda Dekapaj ve Cevher Miktarları (100\$/ton Cevher İçin). 71	
Tablo 5.5. Üretim Sonunda Dekapaj ve Cevher Miktarları (40\$/ton Cevher İçin)... 71	
Tablo A.1. Eti-Bor Kestelek İşletmesi Ocak Sondaj Koordinatları	92
Tablo A.2. Eti-Bor Kestelek İşletmesi Sondaj Analiz Tablosu.....	94
Tablo A.3. Lerchs-Grossmann Algoritması Analiz Sonuçları (100\$/ton Cevher İçin)	105
Tablo A.4. Lerchs-Grossmann Algoritması Analiz Sonuçları (40\$/ton Cevher İçin)	107

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1: Bir Maden Yatağı Üzerindeki Açık Ocağın Görünümü.....	5
Şekil 2.2: İdeal Bir Cevher Yatağı Boyunca Alınmış Düşey Bir Kesit.....	5
Şekil 2.3: Kesit Üzerindeki Açık Ocak Sınırlarının Temsili Gösterimi	6
Şekil 2.4: Açık Ocak Nihai Sınırını Belirlemek İçin Kullanılan Dilimler	7
Şekil 2.5: Cevher ve Pasa Dağılımını Gösteren Açık Ocak Nihai Sınırları	8
Şekil 2.6: Blok Model (Barnes, 1982).....	11
Şekil 2.7: Örnekte Kullanılan Koni	11
Şekil 2.8: Koninin İlk Kademedeki Durumu.....	12
Şekil 2.9: Koninin İkinci Kademedeki Durumu	12
Şekil 2.10: Koninin Üçüncü Kademedeki Durumu.....	13
Şekil 2.11: Koninin Dördüncü Kademedeki Durumu	13
Şekil 2.12: Kesitin Nihai Sınırları	13
Şekil 2.13: (3,5,4) Bloğu İçin Çıkarılması Gereken Minimum Koni.....	14
Şekil 2.14: Hareketli Koni Yöntemi Örneği İçin 5 Kesitteki Ekonomik Blok Değerleri.....	15
Şekil 2.15: İşlemler Tamamlandığında Ocak Topoğrafyasının Durumu.....	16
Şekil 2.16: Blok Modelin Başlangıçtaki Durumu	19
Şekil 2.17: Kümülatif Değerlerin Gösterimi	20
Şekil 2.18: Optimum Nihai Açık İşletme Sınırı	21
Şekil 2.19: b_{ijk} Bloğunun Arka Kısımında Kalan En Yakın 12 Blok.....	22
Şekil 2.20: Korobov Algoritmasının Bir Örneği	25
Şekil 2.20: Korobov Algoritmasının Bir Örneği (Devamı).....	26
Şekil 2.21: İki Basamaklı Ekonomik Model	27
Şekil 2.22: Blok Modelin Network Gösterimi.....	28
Şekil 2.23: Network'ün Optimum Çözümü	28
Şekil 2.24: Örnek İçin Optimum Açık İşletme Nihai Şekli.....	29
Şekil 2.25: Üç basamaklı Örnek Blok Model.....	29
Şekil 2.26: I. Adım İçin Optimum Çözüm	30
Şekil 2.27: II. Ve Son Adım İçin Optimum Çözüm	30
Şekil 2.28: İkinci Örnek İçin Optimum Açık İşletme Sınırı.....	31
Şekil 3.1: 2-Boyutlu Lerchs-Grossmann Algoritması Örneği İçin Kullanılacak Cevher Kütlelerinin Geometrisi (Sainsbury, 1970; Lerchs&Grossmann, 1965).....	33
Şekil 3.2: Başlangıç Durumunda Ekonomik Değerlere Sahip Blok Model	33
Şekil 3.3: Blok Değerleri Düzenlenmiş Model (Lerchs&Grossmann, 1965).....	33
Şekil 3.4: 6 No'lu Sütun İçin Kümülatif Değerin Hesaplanması	34
Şekil 3.5: Toplama İşlemlerinin Tamamlanmış Görünümü (Lerchs&Grossmann, 1965)	35
Şekil 3.6: Kümülatif Maksimum Değerin Belirlenmesi İşlemleri.....	35
Şekil 3.7: Toplama İşlemi Devam Ederken 7. Sütundaki Durum	36
Şekil 3.8: Okların Gösterimi İle Ocak Sınırlarının Belirginleşmeye Başlaması	36
Şekil 3.9: Ocak Sınırlarının Başlangıçtaki Blok Değerleri İle Görünümü	37
Şekil 3.10: Kesit Üzerinde Toplama İşlemlerinin Tamamlanmış Hali (Lerchs&Grossmann, 1965).....	37

Şekil 3.11: Optimum Nihai Açık Ocak Sınırları	37
Şekil 3.12: Nihai Ocak Sınırlarının Başlangıçtaki Blok Değerleri İle Gösterimi.....	38
Şekil 3.13: Blok Kısıtlamaları İçin 1-9 Ve 1-5 Modelleri	39
Şekil 3.14: 2-Boyutlu Model Oluşumu.....	40
Şekil 3.15: Bir Altgrafik Örneği	42
Şekil 3.16: Blok Temsili Değerleri (Şekil 3.14 İçin).....	42
Şekil 3.17: Bir Dal (Branch) Örneği.....	43
Şekil 3.18: 3-Boyutlu Lerchs-Grossmann Algoritması İçin Kullanılan Örnek	44
Şekil 3.19: Oluşturulan Ağca Kök Ekleme İşlemi	45
Şekil 3.20: Artı ve Eksi Bağlantıların Etiketlenmesi.....	45
Şekil 3.21: Etiketleme İşlemi Sonucu.....	47
Şekil 3.22: T1 Ağacının Oluşumu	47
Şekil 3.23: T1 Ağacının Etiketlenmesi	47
Şekil 3.24: Bütün Düğüm Noktalarının Kök İle Bağlantılı Olduğu Başlangıç Ağacı.....	48
Şekil 3.25: (x5,x1) Bağlantısının Seçilmesi	49
Şekil 3.26: Etiketleme İşlemi Sonucu.....	49
Şekil 3.27: (x5,x2) Bağlantısının Eklenmesi	50
Şekil 3.28: Elde Edilen Ağacın Etiketlenmesi.....	50
Şekil 3.29: (x6,x3) Bağlantısının Eklenmesi	51
Şekil 3.30: (x6,x4) Bağlantısının Eklenmesi	51
Şekil 3.31: 7.Adım İçin Alternatif Olan (x5,x3) Bağlantısının Eklenmesi	51
Şekil 3.32: (x6,x3) Bağlantısından Sonra Normalleştirilmiş Ağaç	52
Şekil 3.33: (x6,x3) Bağlantısının Eklenmesiyle Normalleştirilmiş Ağaç.....	52
Şekil 3.34: Ağaç Kesme İşlem İçin Kullanılan Örnek	53
Şekil 3.35: Başlangıç Ağacına Eklenen Bağlantılar	53
Şekil 3.36: 4 Tekrarlanmış İşlem Sonucunda Normalleştirilmiş Ağaç	53
Şekil 3.37: (x6,x2) Bağlantısının Eklenmesi	54
Şekil 3.38: (x5,x2) Yayının Kesilmesi ve (x0,x2) Yayının Eklenmesi	54
Şekil 4.1: Eti-Bor Kestelek İşletmeleri Sahası Ulaşım Durumu	56
Şekil 4.2: Kestelek Bölgesinin Neojen Kesiti	58
Şekil 4.3: Kestelek İşletme Sahasının ve Çevresinin Jeolojik Yapısı	60
Şekil 5.1: Sahada Yapılan Sondajların Üstten Görünümü	65
Şekil 5.2: Bazı Sondajların Yakın Planda Görünümü (SK-22, SK-35, SK-40)	66
Şekil 5.3: Ana Bloklar Ve Alt Blokların Temsili Gösterimi	68
Şekil A.1: Topoğrafyanın Mevcut Durumu ve Yapılmış Olan Sondajlar	77
Şekil A.2: Topoğrafya ve Cevher Yataklanmalarının Durumu	78
Şekil A.3: 23500N Kesitinde Topoğrafya ve Cevher Katmanlarının Görünümü	79
Şekil A.4: 23200N Kesitinde Blok Model Gösterimi.....	80
Şekil A.5: 23200N Kesitinde Blokların Yakından Görünümü	81
Şekil A.6: Üç Ana Damarın 3-Boyutlu Blok Görünümü	82
Şekil A.7: Ana Cevher Tabakalarının 23650N-23750N Kesitleri Arasındaki Bloklarının İzometrik Görünümü.....	83
Şekil A.8: Lerchs-Grossmann Algoritması İle Belirlenen Ocak Sınırları ve Basamaklar.....	84
Şekil A.9: Lerchs-Grossmann Algoritması İle Belirlenen Sınırların Yumuşak Hatlarla 3-Boyutlu Gösterimi.....	85
Şekil A.10: Cevher Tabakaları ve Ocağın Nihai İzometrik Görünümü (100\$/ton Cevher İçin).....	86
Şekil A.11: Cevher Tabakaları ve Ocağın Yandan Görünümü (100\$/ton Cevher İçin)	87

Şekil A.12: 40\$/ton Cevher Değeri İle Ocağın Nihai Durumu ve Cevher Tabakaları	88
Şekil A.13: 40\$/ton Cevher Değeri İle Ocağın Nihai Durumu	89
Şekil A.14: Lerchs-Grossmann Algoritması İle Elde Edilen Nihai Ocağın Topoğrafya İle Birleştirilmiş Halinin Üstten Görünümü	90
Şekil A.15: Lerchs-Grossmann Algoritması İle Elde Edilen Nihai Ocağın Topoğrafya İle Birleştirilmiş Halinin İzometrik Görünümü	91

AÇIK OCAK İŞLETMELERİNDE OPTİMUM NİHAİ SINIRIN BELİRLENMESİ

ÖZET

Açık ocak işletmelerinde, nihai sınır tespitinin yapılması ve ocağın en ekonomik koşullarda işletilmesi planlama işlemlerinin en önemli kısmını oluşturmaktadır. Ocağın nihai sınırlarının bulunmasıyla üretim aşamasında ve sonunda işletme sahasının geometrik durumu ve boyutları bilinmiş olur. Ayrıca ocağın ömrü sonundaki sınırların bilinmesiyle kurulacak tesisler ve dekapaj sahasının yeri daha sağlıklı belirlenmiş olacaktır. Böylece işletme sırasında hesapta olmayan ek masrafların karşımıza çıkması engellenmiş olur. Madencilik gibi ilk yatırım maliyeti yüksek olan bir sektörde, işletmenin gelecekte nelerle karşılaşacağını bilmesi büyük önem taşımaktadır.

Açık işletme nihai sınırlarını belirleyen birçok algoritma bulunmaktadır. Klasik yöntemler dışında en önemlileri; Lerchs-Grossmann Algoritması, Hareketli Koniler Yöntemi, Koenigsberg Algoritması, Wright Algoritması, Korobov Algoritması ve Network Akım Yöntemi olarak sayılabilir. Bunlar arasında Lerchs-Grossmann Algoritması uygulama kolaylığı ve optimuma yakın sonuç vermesi açısından yaygın olarak kullanılmaktadır. Madencilik yazılımları arasında yer alan ve bu tezde kullanılan Vulcan programı, açık ocak sınırlarını tespit etmek için Lerchs-Grossmann algoritmasını kullanabilmektedir.

Bu çalışmada açık işletmelerde nihai sınır tespitini belirleyen yöntemler genel olarak incelenmiştir. Özellikle Lerchs-Grossmann algoritması detaylı olarak ele alınmıştır. Daha sonra cevher damarlarının dalımı uygun olduğundan dolayı örnek saha olarak Eti-Bor Kestelek A.Ş. işletme sahası seçilmiştir. Bu sahadan elde edilen sondaj verileri ve topoğrafik veriler Vulcan programıyla değerlendirilmiştir. Cevher tabakaları ve topoğrafya blok modelleme yapılarak bloklara ayrılmıştır. Daha sonra bu bloklara cevher içeriğine göre değerler verilmiştir. Daha sonrasında ise Vulcan programının yardımıyla Lerchs-Grossmann algoritması kullanılarak bu ocağın nihai açık işletme sınırları belirlenmiştir. Cevher fiyatlarına göre ocağın sınırlarının değişimi ve ocağın nihai durumdayken bulunduğu derinlik belirlenmiştir. Ocak nihai durumdayken genel dekapaj oranı, rezerv miktarları ve ocak net değeri hesaplanmıştır.

DETERMINATION OF THE OPTIMUM ULTIMATE PIT LIMIT

SUMMARY

Pit limit determination is an important aspect in surface mining and the most important part of surface mine planning. By determining the optimum pit limit, it is possible to extract mineral economically, to draw the extent of the pit boundaries and geometric layout. In this fashion, facility planning and dump site planning can be done effectively, preventing later unwanted cost. It is important to plan surface mines for the life time because of high capital cost.

There are many algorithms for pit limit determination. Beside classical methods, Lerchs-Grossmann algorithm, moving cones, Koenigsberg algorithm, Wright algorithm, Korobov algorithm and network flow techniques can be listed. Among them Lerchs-Grossmann algorithm is the most common used because of easiness to program. Many mining design softwares, and particularly Vulcan which is used in this thesis, are integrated Lerchs-Grossmann algorithm.

In this study, the algorithms and methods to determine pit limit are examined and explained. Lerchs-Grossmann algorithm is explained in detail and applied to Eti-bor Kestelek A.Ş. surface mine. This mine is chosen because ore seams getting deeper and topography is getting higher. Ore, geology and topography are modeled and block model of the mine is constructed by the help of drill data obtained from the mine. Economical values are assigned to blocks according to ore content. Then Lerchs-Grossmann algorithm is applied and optimum pit limit is determined. The effects of the ore price change is analyzed and shown how it affects the pit limit. Overburden ratio, ore reserve and mine value calculated.

1.GİRİŞ

Ekonomik değeri olan bir maden yatağında retimde başlamadan önce verilmesi gereken en önemli karar maden yatağında uygulanacak işletme yntemidir. Bir maden yatağındaki cevherin en dşk maliyet diğer bir deyişle en yüksek gelire elde edilebilmesi için açık işletme veya yeraltı işletme yöntemlerinden en uygun olanının seçilmesi gereklidir. Yapılan hesaplamalar sonucunda açık işletme üretim yöntemi uygun görülmüşse bu aşamada açık ocak nihai sınır tespitinin yapılması ve en ekonomik şekilde saptanması planlama işleminin en önemli kısmını oluşturmaktadır.

Açık ocak nihai sınır tespitinin yapılması ile üretim aşamasında ve sonunda işletme sahasının geometrik durumu ve boyutları ayrıca kurulacak tesislerin ve dekapaj sahasının yerleri sağlıklı bir şekilde belirlenmiş olacaktır. Böylece işletmede hesapta olmayan ek masrafların karşımıza çıkması engellenmiş olur.

Açık işletmelerde nihai sınırın belirlenmesi için uygulanan birçok yöntem mevcuttur. Klasik yöntemler dışında, Lerchs-Grossmann Algoritması, Hareketli Koniler Yöntemi, Koenigsberg Algoritması, Wright Algoritması, Korobov Algoritması ve Network Akım Yöntemi gibi yöntemler açık işletme nihai sınırlarının bulunması konusunda bizlere yardımcı olmaktadır. Bu yöntemler içerisinde Lerchs-Grossman Algoritması en çok kullanılan yöntemlerden biridir.

Madencilik sektöründe 1960 yılında başlayan bilgisayar kullanımını günümüzde hızla artmaktadır. Bu hızlı artışın nedenlerinden biri de bilgisayarların yaygınlaşması, çok karmaşık işlemleri dahi hızlı bir şekilde zebilmeleri ve de kullanıcıya görsel olarak daha ayrıntılı hizmet edebilmesidir. İlk yatırım maliyeti yüksek olan ve yüksek risk taşıyan madencilik yatırımlarında her türlü konunun detaylı analizinin iyi bir şekilde yapılması gerekmektedir. Işletmenin zaman içerisinde alacağı şekil ve boyutlar ve ocağın son durumunda karşılaşılacak yapısal ve ekonomik parametreler önceden belirlenmelidir. Madencilik sektöründe kullanılan yazılımlarda, açık ocak sınırlarını belirlemek için kullanılan algoritmalar genellikle entegre olarak yer almakta ve sıkça kullanılmaktadır. Madencilik yazılımlarından biri olan Vulcan programının 6.0 versiyonunda da Lerchs-Grossmann Algoritması yer almakta ve kullanıcıya açık ocak sınırlarını belirleme imkanı vermektedir.

Bu tez çalışmasının amacı açık işletme ocaklarında sıklıkla ihtiyaç duyulan açık ocak nihai sınırını belirleme yöntemlerinin araştırılması ve örnek saha üzerinde uygulanması olup bu doğrultuda ilgili konular kapsamlı olarak ele alınmıştır.

Öncelikle açık ocak sınırlarını belirleyen algoritmalar incelenmiştir. Özellikle 2-boyutlu ve 3-boyutlu Lerchs-Grossman Algoritması detaylı olarak anlatılmış ve konunun daha iyi anlaşılması için örnekler verilmiştir. Daha sonrasında Vulcan paket programı ve buna entegre olarak yer alan Lerchs-Grossmann Modülü detaylı olarak incelenmiştir. Örnek saha olarak da, cevherin yatımı çalışmaya müsait olduğundan dolayı Eti-Bor A.Ş. Kestelek sahası seçilmiş, Vulcan paket programı ile gerekli çalışmalar yapılmış ve ocağın nihai sınırı belirlenmiştir.

Vulcan paket programı ile Eti-Bor A.Ş. Kestelek Ocağı çalışması yapılırken ilk önce sondajlardan elde edilen jeolojik ve kimyasal veriler ile veritabanı oluşturulmuştur. Ardından x,y,z koordinatlarının girilmesiyle topoğrafyanın ve mevcut sondajların topoğrafya üzerinde gösterimi yapılmıştır. Her 100m'de bir kesit alınarak bunların perspektif görüntüleri incelenmiş ve cevher tabakaları 3 boyutlu olarak modellenmiştir. Daha sonra blok modelleme yöntemi kullanılarak ocak bloklara ayrılmıştır. Her bloğa içerdiği cevher veya pasa miktarına göre ekonomik değerler atanmıştır. Daha sonra program üzerindeki Lerchs-Grossman Algoritması ile ocağın nihai sınırı tespit edilmiştir.

2. AÇIK OCAK İŞLETMELERİNDE NİHAİ SINIRI BELİRLEMEK İÇİN KULLANILAN YÖNTEMLER

Bir ocağın nihai sınırlarının belirlenmesi, açık ocak planlamasında ve tasarımında temel bir problemdir. Maden yatağının ekonomik olarak değerlendirilmesinde ve ocağın ömrünün kısa veya uzun olmasındaki karar aşamasında gerekli olan bilgiler, nihai sınırların belirlenmesi ile ortaya çıkar. Nihai ocak sınırlarının belirlenmesi ile ocağın teknik, ekonomik ve stabilite gibi kısıtlamalar açısından ömrü tamamlandığında ortaya çıkabilecek şekil ve boyutlar ayrıca madencilik sırasında üretilebilecek faydalı cevher ve atılması gereken pasa miktarları da bilinmiş olur.

Ocak sınırları bir ocağın ekonomik olup olmadığını belirlemekten daha çok normalde sınır çizgilerini belli eder. Bu tür ocak sınırları genelde Ekonomik Ocak Sınırları (Economic Pit Limits (EPL)), Nihai Ocak Sınırları (Ultimate Pit Limits (UPL)) veya Nihai Ocak Dizaynı (Ultimate Pit Design (UPL)) diye adlandırılır. Ocak sınırlarını belli etmek için genelde klasik yöntemler, bilgisayarlı yöntemler ve bilgisayar destekli klasik yöntemler kullanılır.

Ocak sınırlarını belirleme sorununu çözmek için birkaç matematiksel teknik önerilmiştir. Bunların çoğu önemli derecede hesaplama zorlukları içermektedir. Değiştirilmesi mümkün olmayan kısıtlayıcı problemler ise şunlardır;

- (i) Maden yatağında bulunan cevherin rezervi, tenörü ve satış fiyatları,
- (ii) Her yıl çıkarılması gereken cevher ve pasa miktarı
- (iii) Her yıl belirli blokların çıkarılacak olması
- (iv) Termin planını ortaya çıkaran ocağın ömrü
- (v) İşletilecek toplam rezervi tayin eden ve ocağa son şeklini veren nihai ocak sınırları

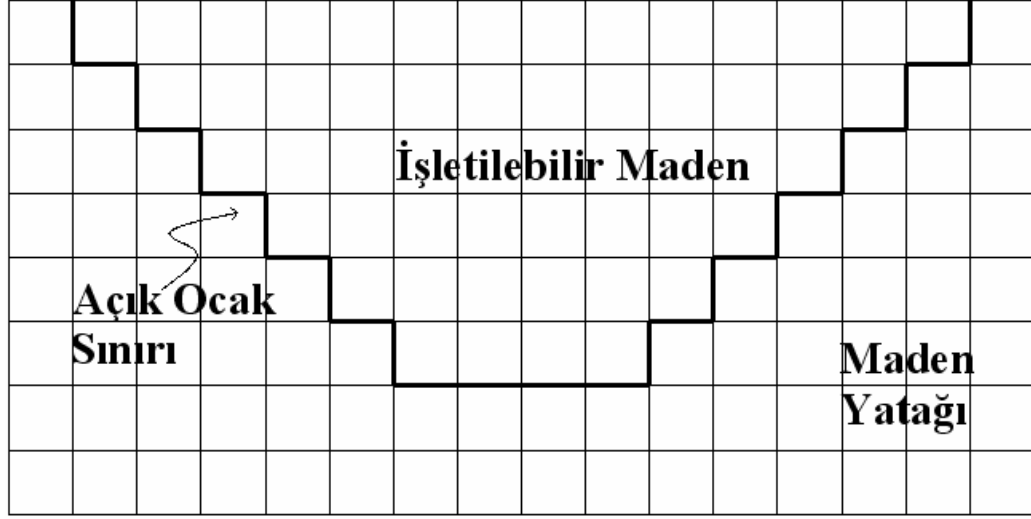
Açık ocak sınırlarını belirlemek için klasik, lineer programlama, dinamik programlama, grafiksel, heuristic ve parametirizasyon yöntemler gibi daha ayrıntılı metotlar kullanılır. Optimum ocak sınırlarını tanımlamada bu yaklaşımlar kendi başlarına sınırlıdır. Bu yaklaşımlar arasından matematiksel kanıtlara dayanan dört optimizasyon tekniği önemlidir. Bunlar tarihsel olarak sıralanırsa: grafik teorisi

[Lerchs-Grossmann, 1965], dinamik programlama [Lerchs-Grossmann, 1965], lineer programlama [Meyer, 1969] ve network akım tekniği [Johnson, 1968] şeklindedir. Heuristic algoritmalar [Lemieux, 1968; Marino ve Slama, 1972; Philips, 1972; Korobov, 1974] matematiksel açıdan eksik görölmektedir. Aşağıdaki bölümlerde açık ocak dizaynı, optimizasyonu ve sınırlamaları için kullanılan çeşitli algoritmalar tanımlanacaktır.

2.1. Klasik Yöntemler

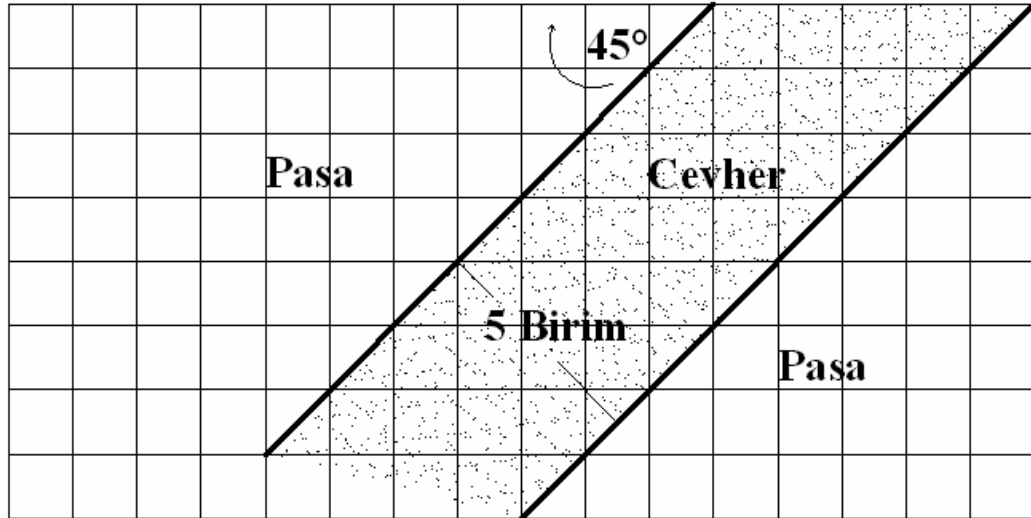
Açık ocak tasarımının klasik olarak yapılması temel olarak bir deneme-yanılma işlemi sonucu oluşur. Yöntem uygulanırken cevher oluşumunun şekli ve ocağın alacağı geometrik şekil üst üste konulur. Bu durumda ocak sınırları içerisinde kalan cevher işletilebilir olarak düşünülür. Öncelikle Şekil 2.1'deki gibi işletme sınırlarını içeren düşey bir kesit alınır. İşletmenin şekil ve boyutları ekonomik faktörlere ve üretim planlaması ile ilgili etkenlere bağlıdır. Diğer tüm etkenlerin sabit kaldığını varsayarsak mineral fiyatlarındaki artışla birlikte işletme boyutları artabilir. Tabii olarak aksi bir durum da söz konusu olacaktır. Bu yöntemde gerekli olanlar şu şekilde sıralanabilir;

- (i) Cevher sınırlarını açıkça gösteren düşey kesitler, cevherdeki tenör dağılımı, dekapaj oranları
- (ii) Madde (i)'de belirtilen detayları içeren ve her seviyeyi gösteren uygun cevher ve atık taslakları
- (iii) Çeşitli kayaç tipleri için kabul edilebilir maksimum ocak şev açısı
- (iv) Ocağın dip kısmında yer alması için önerilen minimum genişlik
- (v) Dekapaj oranı ile cevher tenörünün değişimini gösteren ilgili dekapaj oranı-tenör eğrisi



Şekil 2.1: Bir Maden Yatağı Üzerindeki Açık Ocağın Görünümü

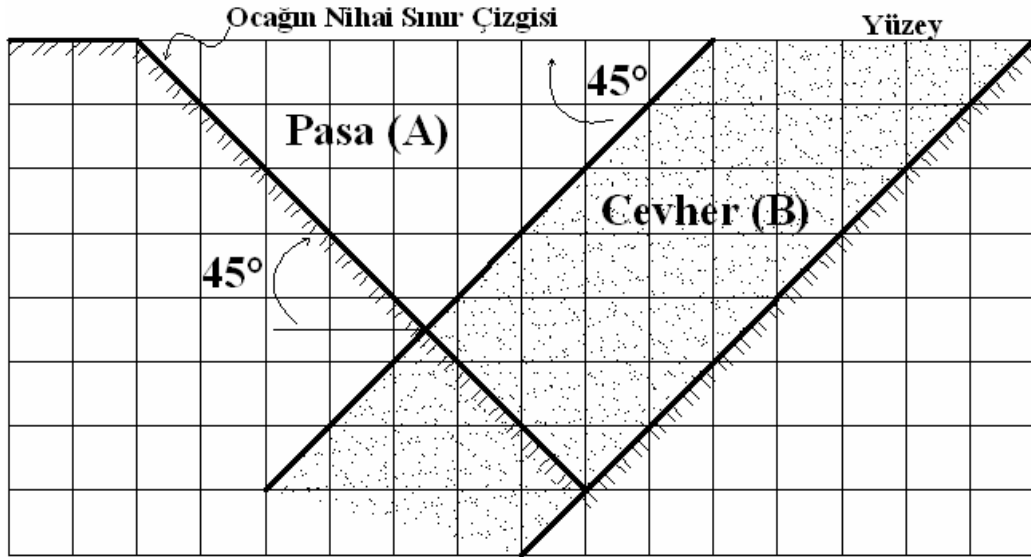
Şekil 2.2’de yüzeyde mostra vermiş olan ve 45° eğimi bulunan cevher boyunca alınmış ideal bir kesit görülmektedir. Bu kesitte cevheri alt ve üst pasadan ayıran sınırlar belirgindir. Bu cevherin oldukça derinlere uzandığı varsayılırsa bu çok derindeki cevher yeraltı işletim yöntemleriyle alınır. Ancak yeraltı işletim yöntemlerine geçmeden önce açık ocak işletmesinin ne kadar devam edeceği yani ne kadar derine ineceği bilinmelidir.



Şekil 2.2: İdeal Bir Cevher Yatağı Boyunca Alınmış Düşey Bir Kesit

Açık ocak işletmesinin nihai sınırı Şekil 2.3'de basit olarak gösterilmektedir. Cevherin eğimi gibi solda kalan ocak basamaklarının şev açısı da 45°dir. Görüldüğü gibi B bölümündeki cevheri üretebilmek için A bölümünün tamamının çıkarılması gerekmektedir. Açık ocak işletmesinin nihai sınır tespiti de Şekil 2.4'de görülen dilimlerin teker teker incelenmesi sonucu yapılacaktır.

Bu örnekte dilimlerin genişliği 1,25 birim (b) olarak alınmıştır. Kesitin kalınlığı ise (sayfa içine doğru) 1 birim (b) olarak alınmıştır. Birinci dilimden başlanarak Pasa (V_w (Volumes of Waste)) ve Cevher (V_o (Volumes Of Ore)) hacimleri hesaplanmıştır. Sonrasında ise bu kesitte incelenen dilime ait olarak Anlık Dekapaj Oranı (ISR(Instantaneous Stripping Ratio)) bulunmuştur.



Şekil 2.3: Kesit Üzerindeki Açık Ocak Sınırlarının Temsili Gösterimi

Hacimler şu şekildedir;

Dilim-1:

$$V_{w1} = 9.40 b^3$$

$$V_{o1} = 6.25 b^3$$

Anlık Dekapaj Oranı (ISR(Instantaneous Stripping Ratio)),

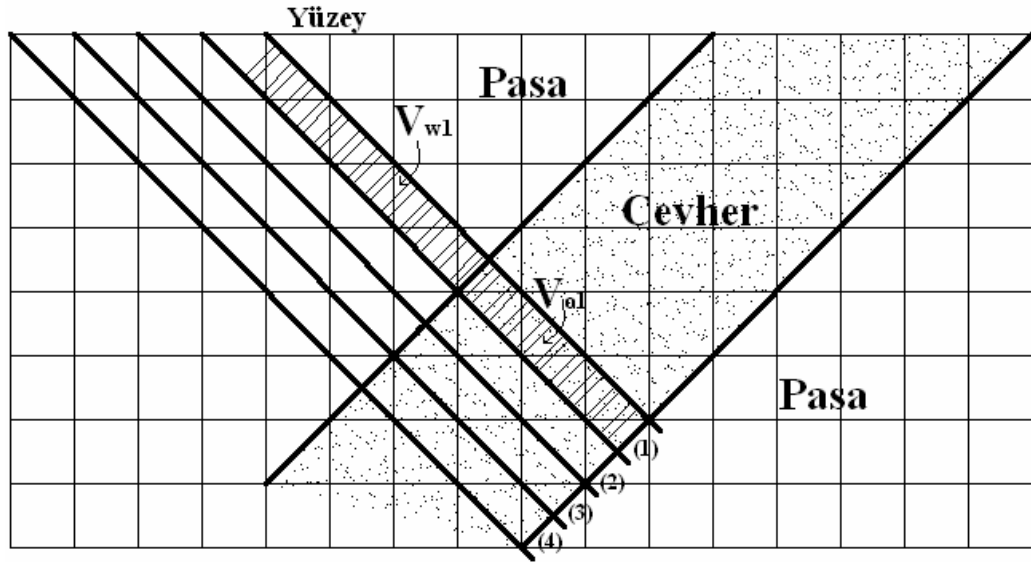
$$ISR_1 = \frac{V_{w1}}{V_{o1}} \text{ olarak tanımlanır.}$$

Buradan

$$ISR_1 = 1.50$$

Cevherin 1 birim hacminin satışından elde edilen gelirin tüm masraflar çıktıktan sonra 1.90\$ olduğunu ve dekapaj (kazı-uzaklaştırma) maliyetinin birim hacim başına 1\$ olduğunu varsayarsak, Dilim-1 için net kar (net value);

$$NV_1 = 6.25 \times 1.90\$ - 9.4 \times 1\$ = 2.48\$$$



Şekil 2.4: Açık Ocak Nihai Sınırmı Belirlemek İçin Kullanılan Dilimler

Bu işlemler 2., 3. ve 4. dilimler için de tekrarlanırsa aşağıdaki sonuçlar elde edilir.

Dilim-2:

$$V_{w2} = 10.50 b^3$$

$$V_{o2} = 6.25 b^3$$

$$ISR_2 = 1.68$$

$$NV_2 = 6.25 \times 1.90\$ - 10.5 \times 1\$ = 1.38\$$$

Dilim-3:

$$V_{w3} = 11.80 b^3$$

$$V_{o3} = 6.25 b^3$$

$$ISR_3 = 1.89$$

$$NV_3 = 6.25 \times 1.90\$ - 11.8 \times 1\$ = 0.075\$ \approx 0\$$$

Dilim-4:

$$V_{w4} = 13.10 b^3$$

$$V_{o4} = 6.25 b^3$$

$$ISR_4 = 2.10$$

$$NV_4 = 6.25 \times 1.90\$ - 13.1 \times 1\$ = -1.23\$$$

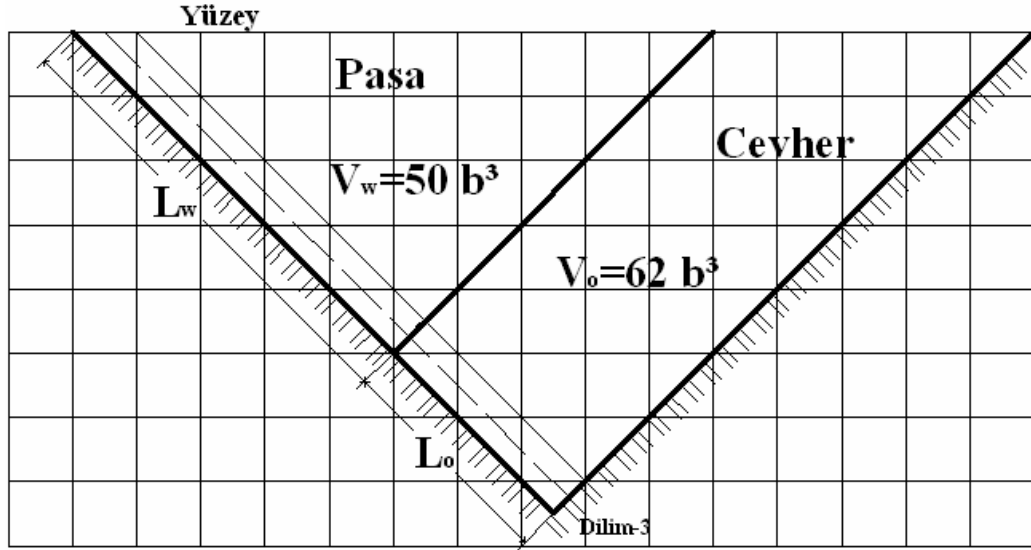
Görüldüğü gibi cevherin net değeri cevher derinlere indikçe (+)dan (-)ye değişmektedir. Dilim-3 için bu değer yaklaşık 0'dır. Cevherin üretim masrafları, cevherden elde edilen gelirle eşit olduğu zaman açık işletmede gelinen noktaya "Başa-baş Noktası (Breakeven)" veya Sınır Dekapaj Noktası denilir. Bu noktada açık işletme nihai sınırına ulaşacaktır. İşletmede uygulanacak olan Sınır Dekapaj Oranı (The Breakeven Stripping Ratio) Dilim-3'e bağlı olarak aşağıdaki gibidir.

$$SR_3 = 1.9$$

Bir birim cevherin net değeri 1.90\$ olduğuna göre ve 1 birim dekapajın maliyeti 1\$ olduğuna göre 1 birim cevherin kazanılması için 1.9 birim dekapaj kaldırılmalıdır (Şekil 2.5).

Bu kesit için Genel Dekapaj Oranı (OSR(Overall Stripping Ratio)) şu şekilde hesaplanır (Denklem 2.1);

$$OSR = \frac{DekapajHacmi}{CevherHacmi} = \frac{A}{B} \quad (2.1)$$



Şekil 2.5: Cevher ve Pasa Dağılımını Gösteren Açık Ocağın Nihai Sınırları

Bu durumda

$$\text{Dekapaj Hacmi} = A = 50 b^3$$

$$\text{Cevher Hacmi} = B = 62 b^3$$

Buna göre

$$\text{OSR} \approx 0.8$$

Bu oran açık işletme nihai sınırı için belirlenen Anlık Dekapaj Oranı (ISR) ile karşılaştırılır.

$$\text{ISR (nihai sınır)} = 1.9$$

Genel Dekapaj Oranı (OSR), nihai sınır için belirlenen Anlık Dekapaj Oranı'ndan (ISR) her zaman daha düşük olmalıdır.

Örnekte verilen kesit için (varsayılan birim kalınlığı dikkate alınarak) net değer (NV) hesaplanacak olursa;

$$\text{NV} = \text{Cevher Hacmi} \times \text{Cevherin Net Değeri} - \text{Dekapaj Hacmi} \times \text{Dekapaj Maliyeti}$$

$$\text{NV} = B \times 1.90\$ - A \times 1\$ = 62 \times 1.90\$ - 50 \times 1\$ = 68\$$$

İşletmenin nihai sınırındaki dilimin net değeri 0 olduğu halde kesitin bütününe göz önünde bulundurduğumuzda bu değer pozitif olduğunu görürüz.

Bu örnekte bütün miktarlar, maliyetler ve gelirler hacme bağlı olarak ifade edilmiştir. Cevher ve dekapajın her ikisi için de dilim kalınlığı ve genişliği aynı olduğundan bu açık işletmede nihai sınır, kazılacak olan dilim genişliğinin ortasından ölçülen dekapaj uzunluğunun cevher uzunluğunun 1,9 katına eşit olduğu durumdur.

Genellikle maliyetler ve giderler birim üretimin bir fonksiyonu olarak ifade edilirler (\$/ton).

Çözmüş olduğumuz örnekte cevherin ve pasanın yoğunluğu aynı varsayıldığından, dekapaj oranını bulmak için uzunlukların oranı kullanılmıştır. Ancak cevher ve pasa farklı yoğunluklara sahipse hesaplamalarda bu ayrıntı da kullanılmalıdır. Bu tip değişiklikler olsa bile açık işletme nihai sınırlarını belirlemede temel aşamalar neredeyse aynıdır:

- a) Bir kazı dilimi seçilir.

- b) İermiş olduğu değer ile maliyetler karşılaştırılır.
- c) Eğer net değer pozitif ise açık ocak işletmesi genişletilebilir. Eğer negatif ise işletme küçültülmelidir.
- d) İncelenen kazı diliminin net getirisi 0 olduğu zaman açık işletme nihai sınırı bulunmuş olur.

Ocağın dizaynında genel dekapaj oranı, anlık dekapaj oranı ve sınır dekapaj oranları hesaba katılır. Bu oranlar çıkarılan madenin cevher veya pasa olarak ayırt etmemizde kolaylık sağlar. Tenör ve dekapaj oranı değişimini gösteren dekapaj eğrileri, normalde klasik yöntemlerle ocak sınırı tespiti yapılırken ocak sınırları içerisindeki muhtemel tenör değerlerini içermesi için bir önkoşul olarak oluşturulurlar [Pana and Davey, 1973].

Bu deneme-yanılma metodu ocağın geliştirilmesinde temel becerileri geliştirme açısından iyi olsa bile zaman kaybı açısından sıkıntılar oluşurmaktadır.

2.2. Hareketli Koniler Yöntemi

Hareketli koniler algoritması açık ocak sınırlarını optimize etmekte kullanılan algoritmalardan biridir [Pana, 1965; Williams, 1970; Lemieux, 1968]. 2 boyutlu hareketli koniler algoritması aşağıda verilmiş olan optimizasyon kriterlerini kullanır. Bu kriterler açık ocak dizaynının tanımlanmasındaki problemlerden ortaya çıkmıştır ve şyledir:

- (i) Ocağın toplam değerini maksimize etmek
- (ii) Satılabilir ürünün ton başına değerini maksimize etmek
- (iii) Ocağın ömrünü maksimize etmek
- (iv) Ocak içerisindeki metal içeriğini maksimize etmek [Wright, 1990]

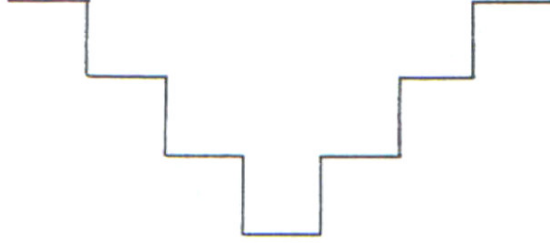
Ocağın toplam ekonomik değerinin maksimizasyonu diğerlerinden daha genel bir kriterdir. Bu algoritma kabul edilebilir bir şev açısı ile bir bloğun kazısından önce onun üzerindeki bütün blokların çıkarılması gerektiğini söyler.

Hareketli koniler yönteminin açıklanması için Barnes (1982) tarafından sunulan 2 boyutlu örnek ele alınacaktır. şekil 2.6'da blok değerleri verilen örnek bir kesit gözükmektedir.

	1	2	3	4	5	6	7
1	-1	-1	-1	-1	-1	+1	-1
2		-2	-2	+4	-2	-2	
3			+7	+1	-3		

Şekil 2.6: Blok Model (Barnes, 1982)

Bloklar eşit boyuttadır ve şev açısı 45° dir. Bunun anlamı şevin oluşumunda her bloğun üzerinde bir blok bulunmasıdır. Şekil 2.7’de bu yöntem için kullanılacak koni görülmektedir. Ocak sınırlarının belirlenmesi için aşağıdaki adımlar uygulanacaktır:



Şekil 2.7: Örnekte Kullanılan Koni

Adım 1: Koni, kesitteki blokların en üst sırasında soldan sağa doğru gezdirilir. Eğer pozitif bir blok varsa o bloktan çıkarma işlemi başlatılır.

Adım 2: İlk sıra geçildikten sonra koninin uç kısmı bir sıra aşağı alınarak tekrar soldan sağa doğru bir şekilde pozitif bir bloğa rastlanıncaya kadar gezdirilir. Eğer bu pozitif değerli blok alınırken üzerindeki bloklarla beraber toplam değeri pozitif oluyorsa veya sıfıra eşit oluyorsa bu blok da çıkartılır. Eğer sonuç negatif ise o bloklar kalır ve koni aynı sıradaki diğer pozitif bloğu buluncaya kadar gezdirilir. Bu şekilde işlemler devam ettirilir.

Adım 3: Kesit üzerinde bu koninin soldan sağa ve yukarıdan aşağıya olan işlemleri çıkarılacak hiçbir blok kalmayıncaya kadar devam ettirilir.

Adım 4: Söz konusu kesitteki kazanç değerleri blokların değerlerinin toplamıyla elde edilir.

Adım 5: Genel dekapaj oranı pozitif (+) ve negatif (-) blokların sayılarından belirlenir.

Yukarıda bahsedilen kuralları Şekil 2.6'daki kesit üzerinde uygularsak:

Kesit üzerinde dört pozitif blok bulunmaktadır. En üst sıraya baktığımızda 1.sıra 6.sütündeki bloğun kazı için uygun olduğu görülür. Bu blok üzerinde başka bir blok olmadığı için koninin değeri bloğun değerine eşittir yani 1'dir. Koninin değeri pozitif olduğuna göre bu blok çıkarılabilir (Şekil 2.8)

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

Şekil 2.8: Koninin İlk Kademedeki Durumu

Bir sonraki aşamada 2.sıra 4.kolondaki blok pozitif değerlidir. Bu konumdaki koninin değeri ise;

$$-1 - 1 - 1 + 4 = +1$$

bulunur.

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

Şekil 2.9: Koninin İkinci Kademedeki Durumu

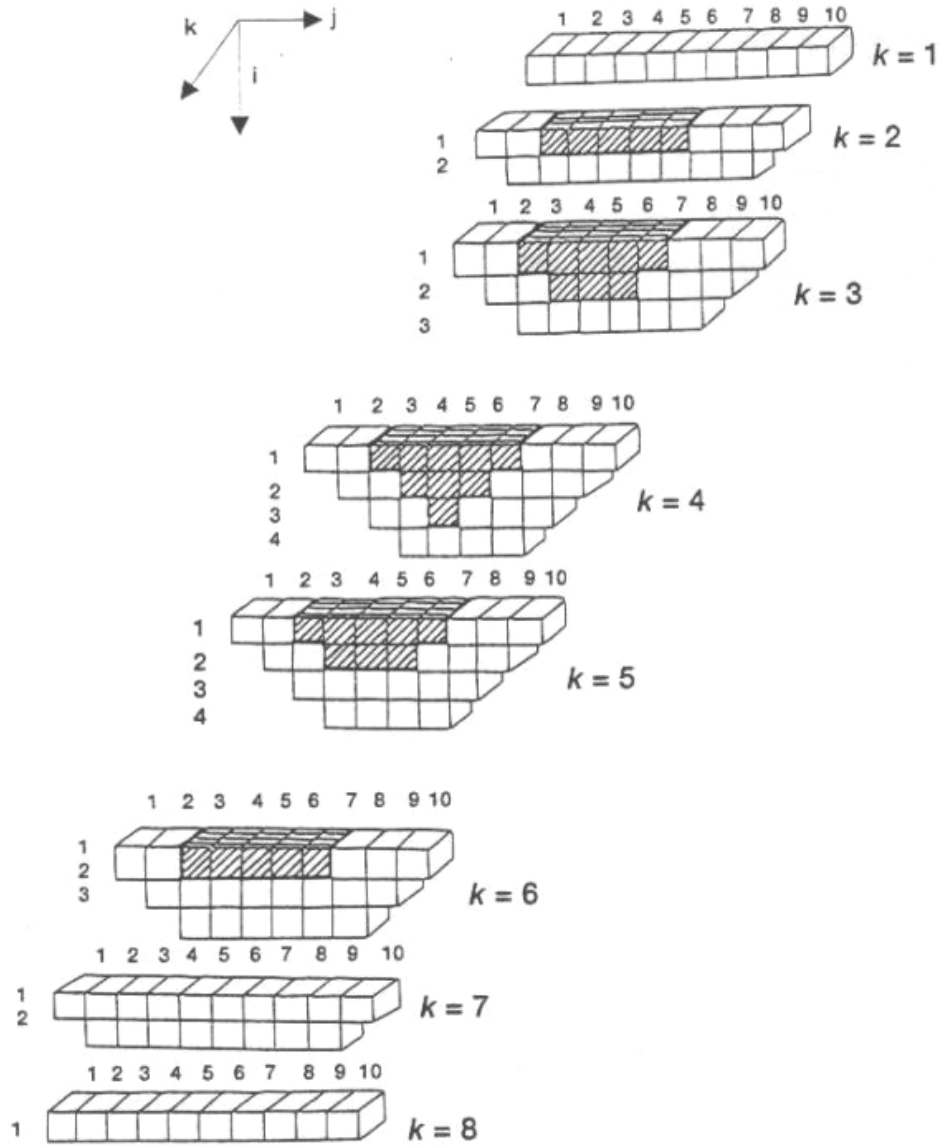
Bu değer pozitif olduğundan dolayı bu blok çıkarılır (Şekil 2.9). Bir alt sıraya geldiğimizde 3.sıra 3.kolonda bulunan blok üzerinde yer alan koninin değeri;

$$-1 - 1 - 2 - 2 + 7 = +1$$

bulunur.

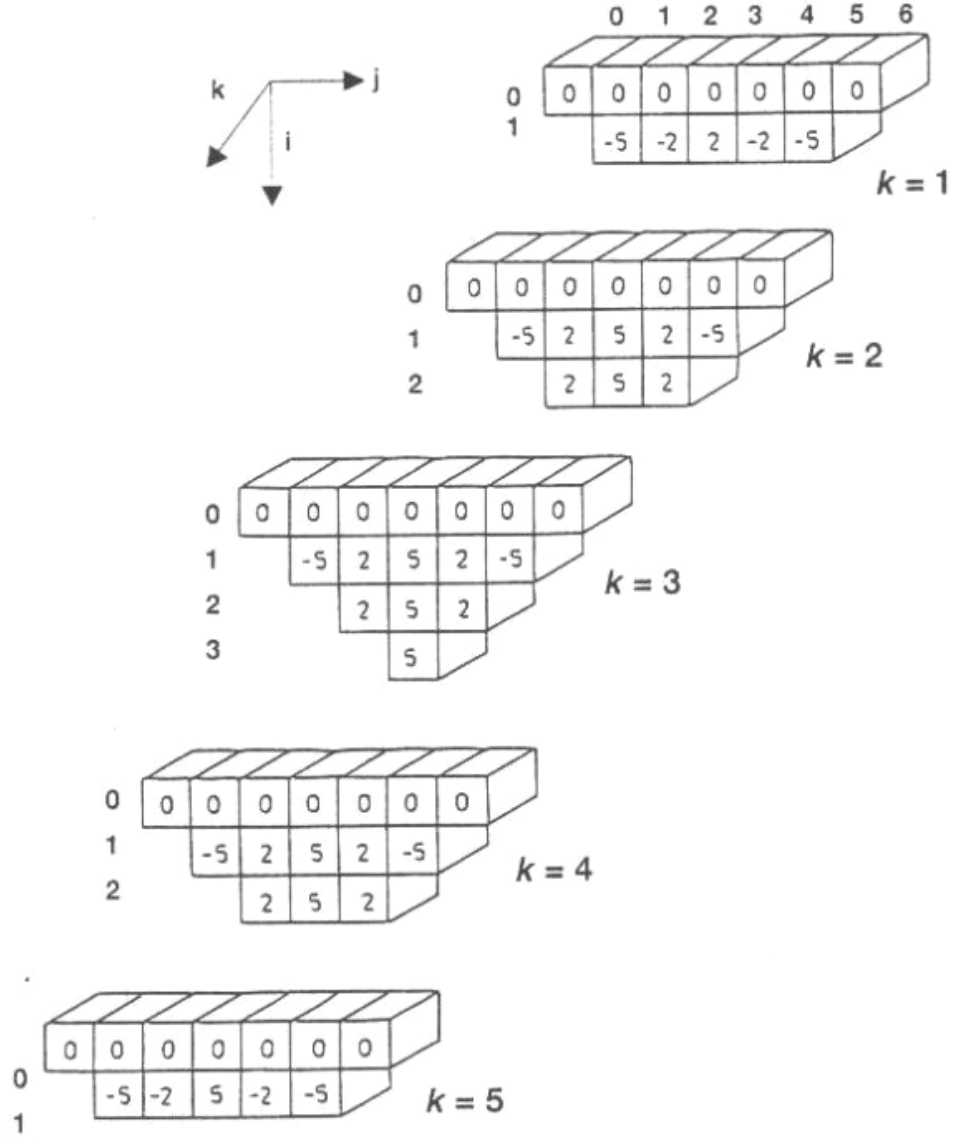
$$SR(\text{Dekapaj Oranı}) = \frac{7}{3}$$

Bilindiği gibi 2-Boyutlu yöntemlerin 3-Boyutlu hale getirilmesinde ocak sınırlarının düzeltilmesine ihtiyaç vardır. Ancak 3-Boyutlu hareketli koniler yöntemi, ocak sınırlarını düzeltmeye gerek duyulmadan uygulanabilmektedir [Wright, 1990]. Şekil 2.13'de $i=3$, $j=5$ ve $k=4$ bloğunun çıkarılması için, bütün yönlerden 1:1 şev açısı sınırlamasıyla elde edilen ve çıkarılması gereken minimum koni boyutları gözükmektedir.



Şekil 2.13: (3,5,4) Bloğu İçin Çıkarılması Gereken Minimum Koni

Ocak sınırlarını belirlemek için kullanılan 3-Boyutlu hareketli koniler yöntemindeki uygulamalar, 2-Boyutlu yöntemdeki ile aynıdır. Bu uygulama bir örnek ile anlatılabilir [Wright, 1990]. Şekil 2.14'deki model üzerinde blok değerleri gösterilmektedir. Bu örnekte 3-Boyutlu hareketli koni yöntemi kullanılarak bütün yönlerden 1:1 maksimum şev açısı sınırlamasıyla bir ocak oluşturulması istenmektedir.

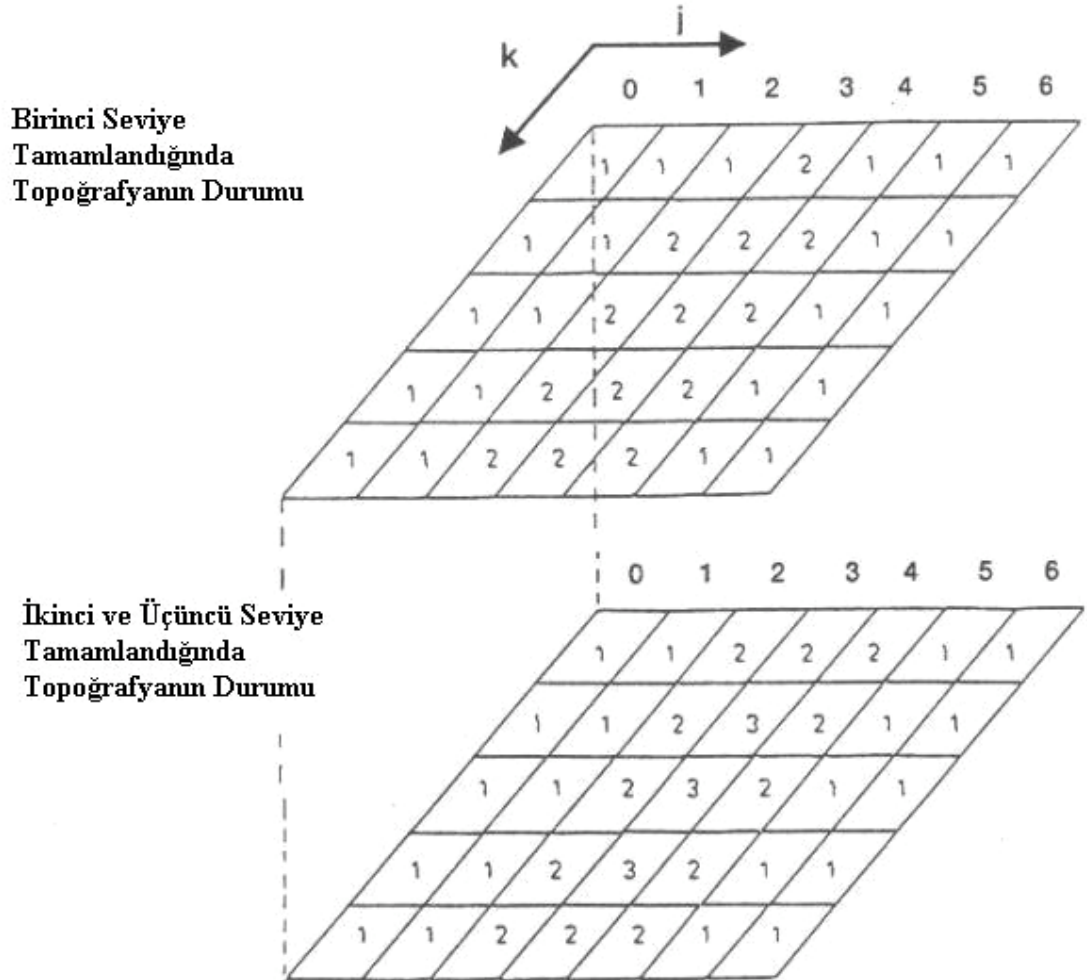


Şekil 2.14: Hareketli Koni Yöntemi Örneği İçin 5 Kesitteki Ekonomik Blok Değerleri

Yöntem kuzey-batı yönünden başlanarak uygulanacaktır ve batıdan doğuya doğru devam edecektir. Bir alt sıradaki bloklara geçmeden önce üst sıradaki pozitif değerli

bütün bloklar incelenir. Şekil 2.15’de ilk seviye ve ikinci seviyedeki pozitif bloklar çıkarıldığında elde edilen ocağın topoğrafya örneklemeleri gösterilmektedir.

İncelenen pozitif değerli blokların düzeni Tablo 2.1’de gösterilmiştir. Ayrıca bu tabloda algoritmanın diğer adımları da gözükmemektedir. Şekil 2.15’deki bloklar üzerinde yer alan sayılar, pozitif değerli koniler çıkarıldıktan sonra kalan blokların “i” değerleridir. (1,3,5), (2,4,4) ve (3,3,3) bloklarının üzerinde kalan koniler ile oluşan topoğrafya ve ocak incelenmiştir.



Şekil 2.15: İşlemler Tamamlandığında Ocak Topoğrafyasının Durumu

Üçüncü seviyede yer alan pozitif blokların koni değeri (Blok-(3,3,3)) negatiftir. Bu yüzden (3,3,3) bloğunun oluşturduğu koni alınmadan kalır. Sonuç olarak 2. seviyenin tamamlanması ile 3. seviyenin tamamlanması arasında bir fark yoktur ve aynı topoğrafya şeklini verir.

Tablo 2.1. 3-Boyutlu Hareketli Koniler Algoritması Örneği İçin Adımlar

İnceleme Sırası	Pozitif Bloklar			Blok Değeri	Koni Değeri	Ocak Değeri
	i	j	k			
1	1	3	1	2	2	2
2	1	2	2	2	2	4
3	1	3	2	5	5	9
4	1	4	2	2	2	11
5	1	2	3	2	2	13
6	1	3	3	5	5	18
7	1	4	3	2	2	20
8	1	2	4	2	2	22
9	1	3	4	5	5	27
10	1	4	4	2	2	29
11	1	3	5	5	5	34
12	2	2	2	2	-15	34
13	2	3	2	5	1	35
14	2	4	2	2	-13	35
15	2	2	3	3	-13	35
16	2	3	3	5	5	40
17	2	4	3	2	-13	40
18	2	2	4	2	-15	40
19	2	3	4	5	1	41
20	2	4	4	2	-13	41
21	3	3	3	5	-33	41

2.3. Lerchs-Grossmann Algoritması

Lerchs ve Grossmann [1965] bir açık ocağın optimum sınırlarını tayin etmek için grafik teorisini ve dinamik programlamayı kullanmıştır. Lerchs-Grossmann algoritmasının amacı çıkarılan cevherin toplam değeri ile cevher çıkarma ve pasa çıkarma gibi maliyetler arasındaki farkı maksimize etmek ve buna göre nihai açık ocak sınırlarını tasarlamaktır. Diğer bir deyişle karı maksimize etmektir.

Lerchs-Grossmann algoritmasında kullanılan kabuller şunlardır:

- (i) Verilen her noktada cevherin cinsi, değeri ve çıkarma maliyeti bilinir
- (ii) Ocağın geometrisindeki sınırlamalar bilinir (yüzey sınırları ve maksimum kabul edilebilir şev açıları)
- (iii) Amaç toplam kazancı maksimize etmektir.

Lerchs-Grossmann 2 boyutlu ocak tasarımı yapmak için dinamik programlama tekniğini ve 3 boyutlu ocak tasarımları için de grafik tekniğini kullanmıştır.

Lerchs-Grossmann'ın 2 boyutlu dinamik programlama algoritması Şekil 2.16, 2.17, ve 2.1'de gösterilmiştir. 2 boyutlu ocak dizaynında grid sistemindeki birimler u_1 ve u_2 olarak belirtilmiştir. Bu durumda ocağın eğimi aşağıdaki gibi olur (Denklem 2.2).

$$\frac{u_1}{u_2} = \tan \alpha \quad (2.2)$$

Her birim dikdörtgen (i,j) için, bloğun ekonomik değeri m_{ij} (EBV(Economic Block Value)) aşağıda tanımlandığı gibidir (Denklem 2.3).

$$EBV = I - DC - IC \quad (2.3)$$

I (Income): bloğun çıkarılabilir ve satılabilir kısmının değeri

DC (Direct Costs): delme, patlatma, yükleme ve nakliyat gibi madencilik maliyetleri

IC (Indirect Costs): her blok için ayrı ayrı hesaplanamayan maliyetler (örneğin makinelerin zamana bağlı amortisman maliyetleri)

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	-2 \$	-2 \$	-4 \$	-2 \$	-2 \$	-1 \$	-2 \$	-3 \$	-4 \$	-4 \$	-3 \$	
	-5 \$	-4 \$	-6 \$	-3 \$	-2 \$	-2 \$	-3 \$	-2 \$	-4 \$	-5 \$	-5 \$	
	-6 \$	-5 \$	-7 \$	+6 \$	+13 \$	-2 \$	-5 \$	-4 \$	-7 \$	-4 \$	-6 \$	
	-6 \$	-6 \$	-8 \$	-8 \$	+17 \$	+8 \$	+5 \$	-6 \$	-8 \$	-9 \$	-7 \$	
	-7 \$	-7 \$	-8 \$	-8 \$	+6 \$	+21 \$	+5 \$	-8 \$	-8 \$	-9 \$	-7 \$	
	-7 \$	-9 \$	-9 \$	-8 \$	-5 \$	+22 \$	-8 \$	-8 \$	-8 \$	-9 \$	-8 \$	
	-8 \$	-9 \$	-9 \$	-9 \$	-8 \$	+10 \$	-9 \$	-9 \$	-9 \$	-9 \$	-9 \$	

Şekil 2.16: Blok Modelin Başlangıçtaki Durumu

Şekil 2.16’de düşey bir kesit üzerinde her bloğun ekonomik değerleri (m_{ij}) ile birlikte verilmiş olan bir blok model görülmektedir. Buna ek olarak kesit üzerine yerleştirilmiş olan en üst sıra havayı temsil eder ve blok değerleri sıfır olarak gözüktür. Bu sıra bir başlangıç sırası ve toplam sonuçların yazıldığı bir sıra olarak kullanılır. Şekil 2.17’de ise blokların yukarıdan aşağıya doğru kümülatif toplamaları görülmektedir ve şu formülden oluşur (Denklem 2.4):

$$M_{ij} = \sum_{k=1}^i m_{kj} \quad (2.4)$$

M_{ij} , tek bir (i,j) sütununun çıkarılmasıyla elde edilen değeri göstermektedir.

Şekil 2.18’de ise sol üst köşedeki 1. sütundan başlanarak, her sütunda bir geçici değer olan P_{ij} hesaplanır (Denklem 2.5).

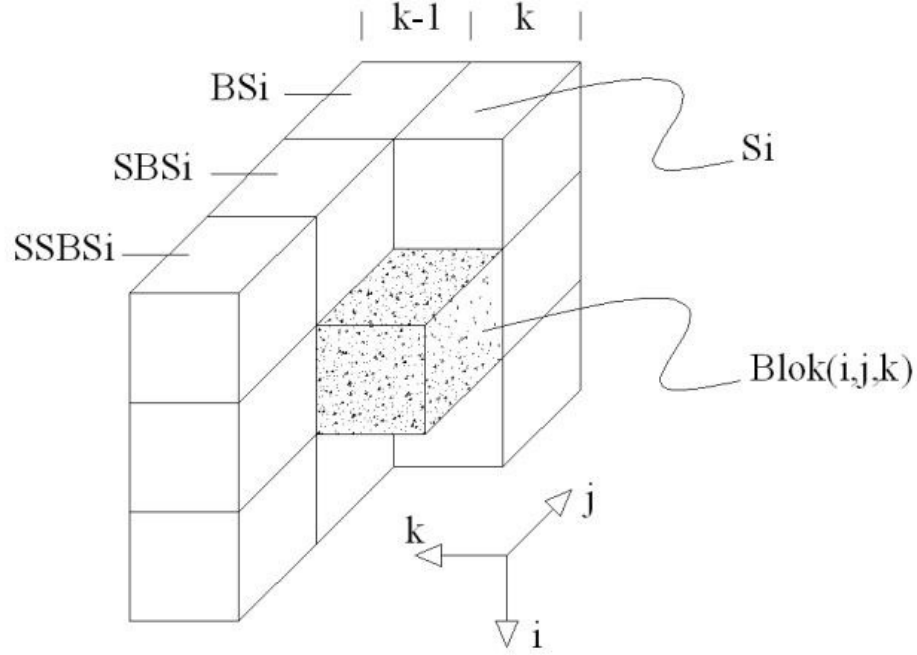
$$P_{ij} = M_{ij} + \max_k \begin{cases} P_{i-1,j-1} \\ P_{i,j-1} \\ P_{i+1,j-1} \end{cases} \quad (2.5)$$

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	-2 \$	-2 \$	-4 \$	-2 \$	-2 \$	-1 \$	-2 \$	-3 \$	-4 \$	-4 \$	-3 \$	
	-7 \$	-6 \$	-10 \$	-5 \$	-4 \$	-3 \$	-5 \$	-5 \$	-8 \$	-9 \$	-8 \$	
	-13 \$	-11 \$	-17 \$	1 \$	9 \$	-5 \$	-10 \$	-9 \$	-15 \$	-13 \$	-14 \$	
	-19 \$	-17 \$	-25 \$	-7 \$	26 \$	3 \$	-5 \$	-15 \$	-23 \$	-22 \$	-21 \$	
	-26 \$	-24 \$	-33 \$	-15 \$	32 \$	24 \$	0 \$	-23 \$	-31 \$	-31 \$	-28 \$	
	-33 \$	-33 \$	-42 \$	-23 \$	27 \$	46 \$	-8 \$	-31 \$	-39 \$	-40 \$	-36 \$	
	-41 \$	-42 \$	-51 \$	-32 \$	19 \$	56 \$	-17 \$	-40 \$	-48 \$	-49 \$	-45 \$	

Şekil 2.17: Kümülatif Değerlerin Gösterimi

En sağdan başlanarak (i,j) sütunlarından (i+k, j-1) sütunlarına doğru maksimum değerler yönünde oklar çizilir.

P_{ij} , 1'den j'ye kadar olan kolonların, (i, j) elementleri içeren uygun ocak sınırları için mümkün olan maksimum katkısını ifade eder. Şayet (i, j) elementi optimum ocak çizgilerinin bir parçası ise o zaman (i, j) elementinin solunda kalan bu çizgi, (i, j) elementinden başlayan okları takip ederek bulunabilir. Bütün uygun ocak sınırları kesitin ilk sırasında en azından bir element bulundurmalıdır. Eğer ilk sıradaki P'nin maksimum değeri pozitif ise optimum sınır çizgileri o elementten sola doğru okların takip edilmesiyle elde edilir. Eğer ilk sıradaki bütün elementler negatif ise pozitif kazancı olan herhangi bir çizgi yoktur. Şekil 2.18'de örnek ocağın değeri, ilk sırada yer alan en yüksek değer yani +13'tür.



Şekil 2.19: $b_{i,j,k}$ Bloğunun Arka Kısımında Kalan En Yakın 12 Blok

Şekil 2.19’da $b_{i,j,k}$ bloğunun arka kısmında kendisine en yakın olan 12 komşu blok gözükmemektedir. Arka kısmındaki bu komşu bloklarla birlikte, ocak değeri P_{ijk} , (i,j,k) bloğunda komşu bloklar arasında maksimum ocak değerini sağlayan blok ve b_{ijk} bloğu için blok sütun değerinin toplamıdır. Bu değer aşağıda görülmektedir (Denklem 2.6).

$$P_{ijk} = M_{ijk} + \max \left\{ \begin{array}{l} P_{Si,j-1,k} - P_{SBS(Si),j-1,k-1} \\ + P_{BSi,j-1,k-1} - P_{S(BSi),j,k-1} \\ + P_{SBSi,j,k-1} - P_{S(SBSi),j+1,k-1} + P_{SSBSi,j+1,k-1} \end{array} \right. \quad (2.6)$$

Burada P_{ijk} , analiz edilen son blok olan b_{ijk} bloğuyla ocağın optimum değeridir. Bu b_{ijk} bloğundaki optimum değerdir. M_{ijk} ise b_{ijk} bloğu için toplam sütun değeridir. Bu değer 2 boyutlu kesitlerde bulunan M_{ijk} ile aynı şekilde hesaplanır. $PSi,j-1,k$ değeri $(j-1,k)$ sütunundaki en yakın komşu bloklardan birinin ocak değeridir. $PSBS(Si),j-1,k-1$ değeri $(j-1,k-1)$ sütunundaki optimum komşu bloğun –ki bu değer $PSi,j-1,k$ değerinin hesaplanması sırasında elde edilmiştir- ocak değeridir. $PBSi,j-1,k-1$, değeri ise $(j-1,k-1)$ kolonundaki bloğun ocak değeridir.

Negatif terimler düzeltmelerdir. Eşitlikte bulunan düzeltmeler $k-1$ kesitinde bulunan bloklar için elde edilmiş olan ocak net değerini belirtmektedir. $k-1$ kesitinde yapılan

düzeltilmeler k-2 kesitindeki düzeltmeleri gerektirmekte ve k-2 kesitindeki düzeltmeler de k-3 kesitindeki düzeltmeleri gerektirmektedir. Düzeltme işlemleri k=1 oluncaya kadar devam etmektedir.

P_{ijk} değeri bütün sütun ve sıralar için hesaplanır ve b_{ijk} bloğu için bulunur. P_{0jk} değerinden başlayarak geriye doğru gidilir. Belirtilmiş olan komşu bloklar takip edilerek optimum işletme sınırı elde edilir. Bu işlem bitiminde elde edilen P_{0jk} değeri ocağın optimum net değeridir.

Bu algoritmanın bir sorunu birbiriyle uyumsuz şev açıları üretmesidir. Shenggui ve Starfield [1985] Koenigsberg algoritmasının bazı durumlarda optimum sınırları bulamayacağını kanıtlamıştır.

2.5. Wright Dinamik Programlama Algoritması

Koenigsberg algoritmasında yapılan düzeltmeler sırasında karşılaşılan problemleri ortadan kaldırmak için yeni bir algoritma geliştirilmiştir. Bütün blokları içeren ve bu bloklar üzerinde oluşturulan hareketli koniler şeklindeki üç boyutlu artırımlar kullanılmaktadır. Blokların ocak net değerinin hesaplanması için algoritmada eni bir eşitlik oluşturulmuştur. Bununla beraber, bu algoritmada 2 boyutlu dinamik programlama algoritmasına sadık kalınmıştır. Her bir blok için ocak net değeri (P_{ijk}), bloğun kendisi ile üzerindeki konide yer alan bloklardan ve blok ile uyum sağlayan komşu bloklardan en iyi net değere sahip olanı ile hesaplanmaktadır.

P_{ijk} hesaplamaları sırasında bir bloğa ait olan net değer, hesaplama birden fazla katılmamalıdır. Bu yüzden hem C_{ijk} hareketli konisi içinde hem de komşu açık ocak sınırlarının net değeri olan $P_{i-1,j\pm 1,k}$, $P_{i,j\pm 1,k}$ ve $P_{i+1,j\pm 1,k}$ içinde kalan bütün m_{ijk} blok net değerleri P_{ijk} değerinden çıkarılmalıdır.

Bu işlemi gerçekleştiren eşitlik aşağıda verilmektedir (Denklem 2.7).

$$P_{ijk} = C_{ijk} + \max \begin{cases} IP_{i-1} - IM_{i-1} \\ IP_i - IM_i \\ IP_{i+1} - IM_{i+1} \end{cases} \quad (2.7)$$

P_{ijk} : b_{ijk} bloğu için optimum ocak net değeri

C_{ijk} : b_{ijk} bloğu üzerindeki minimum hareketli koni değeri

IP_L : $b_{L,j-1,k}$ bloğu üzerindeki $P_{L,j-1,k}$ değerine eşit olan değer ($L=i-1, i, i+1$ için)

IM_L : $b_{L,j-1,k}$ bloğu üzerindeki ocak sınır ile $b_{i,j-1,k}$ üzerindeki koninin kesişim bölgesindeki yer alan blokların net değerlerinin toplamı ($L=i-1, i, i+1$ için)

$L=i+1$ olduğu zaman $P_{i+1,j\pm 1,k} \cap C_{ijk} = C_{ijk}$ olur. bu durumda eşitlik aşağıdaki hale gelmektedir (Denklem 2.8).

$$P_{ijk} = C_{ijk} + \max \begin{cases} IP_{i-1} - IM_{i-1} \\ IP_i - IM_i \\ IP_{i+1} - C_{ijk} \end{cases} \quad (2.8)$$

2.6. Korobov Algoritması

Korobov algoritması, pozitif blokların bulunduğu bir üretim konisinde koni içerisinde bulunan pozitif blokların negatif veya sıfır değerlikli bloklara atanmasını sağlayan koni tabanlı bir algoritmadır (Dowd ve Onur, 1993).

Üretim konisi, cevher yatağı modeli içinde bulunan bütün pozitif değerlikli blokları taramakta ve pozitif bloklardan negatif bloklara hiç pozitif değerlikli blok kalmayınca kadar atama yapmaktadır. Atama işlemi tamamlanır ve koni pozitif değerlikli kalırsa bu koni optimum çözüm setinin bir üyesi olarak kabul edilir.

Boş olmayan bir üretim konisi çözüm setine eklendiği zaman algoritma blok modelden çıkarılmamış olan bloklara atanmış olan orijinal blok değerleri ile tekrar baştan başlar. Eğer üretim konisi boş ise, pozitif bloklar çözüme eklenir ve algoritma bir sonraki katta tekrar çalışmaya başlar.

Algoritma iki boyutlu basit bir kesit örneği üzerinde açıklanabilir. İşlem kolaylığı olması için şev açıları bütün yönlerde 45° sabit kabul edilir. Blok model kesiti Şekil 2.20'de verilmiştir. Bloklar içindeki rakamlardan üstte olanı blok numarasını ve alttaki de blok değerini ifade eder.

Algoritmaya başlandığında ilk sıradaki 1, 5, 6, 9, 10 ve 11 numaralı bloklar 1. sıradan alınır ve elde edilen değer çözüme eklenir. Daha sonra 2. kattaki bloklar çözüme eklenir. Bu aşamada üretim konisinin değeri +6 olarak kabul bulunur (Şekil 2.20 1.Adım). 2. kattaki 12, 17, 18 ve 19 numaralı bloklar kendi üretim konileri içindeki negatif değerlikli koni içindeki bloklara atama yaparak 0 değerine ulaşırlar. Bu işlem bütün pozitif bloklar bitene kadar devam etmektedir. Şekil 2.20'de 11.Adım'da koni değeri olana kadar pozitif bloklardan değer ataması yapılmış ve

kalan blokların yerleri ve değerleri izlenmektedir. Korobov algoritması da her zaman optimum çözümü vermemektedir.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	1	-1	-1	-1	1	1	-2	-2	1	1	1
2		12	13	14	15	16	17	18	19	20	
		2	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	
3			21	22	23	24	25	26	27		
			-2	-1	2	2	-1	-1	-1		
4				28	29	30	31	32			
				-1	-1	4	4	4			
1.Adım	S= 1+1+1+1+1 = 6										
		2	3	4			7	8			
		-1	-1	-1			-2	-2			
		12	13	14	15	16	17	18	19	20	
		2	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	
2.Adım	S= 6+1= 7										
		2	3	4			7	8			
		0	0	-1			0	-1			
		12	13	14	15	16	17	18	19	20	
		0	-1	-1	-1	-1	0	0	0	1	
3.Adım											
		2	3	4			7	8			
		0	0	-1			0	-1			
		12	13	14	15	16	17	18	19		
		0	-1	-1	-1	-1	0	0	0		
			21	22	23	24	25	26	27		
			-2	-1	2	2	-1	-1	-1		
4.Adım	S= 7										
		2	3	4			7	8			
		0	0	0			0	-1			
		12	13	14	15	16	17	18	19		
		0	-1	0	0	0	0	0	0		
			21	22	23	24	25	26	27		
			-2	-1	0	0	-1	-1	-1		
5.Adım											
		2	3	4			7	8			
		0	0	0			0	-1			
		12	13	14	15	16	17	18	19		
		0	-1	0	0	0	0	0	0		
			21	22	23	24	25	26	27		
			-2	-1	0	0	-1	-1	-1		
				28	29	30	31	32			
				-1	-1	4	4	4			

Şekil 2.20: Korobov Algoritmasının Bir Örneği

6.Adım	$S= 7+0 = 7$							
	2	3	4			7	8	
	0	0	0			0	0	
	12	13	14	15	16	17	18	19
	0	-1	0	0	0	0	0	0
		21	22	23	24	25	26	27
		-2	-1	0	0	0	-1	-1
			28	29	30	31	32	
			-1	-1	2	4	4	
7.Adım	$S= 7+1 = 8$							
	2							
	-1							
	12	13						19
	2	-1						1
8.Adım	$S= 8+1 = 9$							
	2							
	0							
	12	13						
	1	-1						
9.Adım	$S= 9$							
		13						
		-1						
		21	22			26	27	
		-2	-1			-1	-1	
			28	29		31	32	
			-1	-1		4	4	
10.Adım	$S= 9+3+3= 15$							
		13						
		-1						
		21	22			26	27	
		-2	-1			0	0	
			28	29		31	32	
			-1	-1		3	3	
11.Adım	$S= 15$							
		13						
		-1						
		21	22					
		-2	-1					
			28	29				
			-1	-1				

Şekil 2.20: Korobov Algoritmasının Bir Örneği (Devamı)

Korobov algoritması basitliği ve hesaplama zamanının azlığı nedeni ile Lerchs-Grossmann algoritmasına alternatiftir. Fakat bazı düzenlemelerin yapılması gereklidir. Pozitif değerlikli bir blok atama yapıldıktan sonra pozitif kalırsa, bloğun içinde olduğu üretim konisinin içindeki bloklara başka bir üretim konisinin blok değerleri tarafından atama yapıp yapılmadığı kontrol edilir. Böyle bir değer ataması yapılmamışsa blok ve üretim konisi çözüme eklenir. Koniye değer atayan başka koninin bloğu bulunuyorsa, komşu bloklara hiçbir atama yapılmadan önce komşu olmayan bloklara atama yapılması şeklinde tekrardan değer ataması yapılır (Dowd ve Onur).

2.7. Maksimum Akım Algoritması

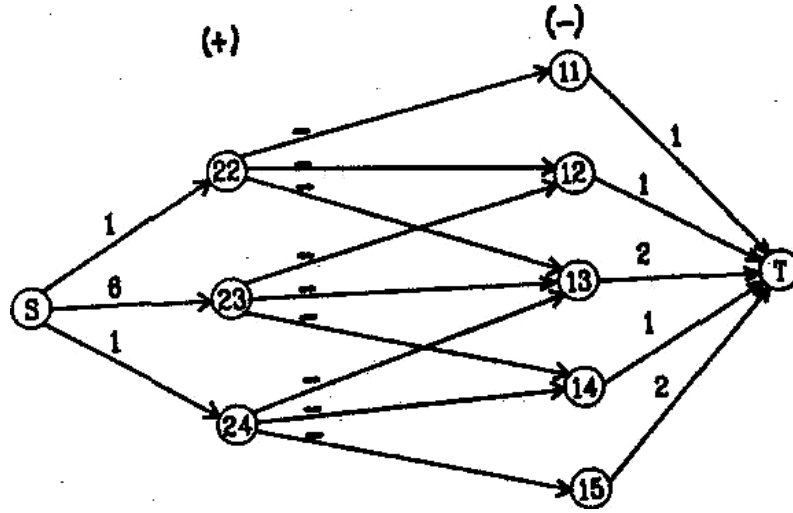
Maksimum akım yöntemi ile açık işletme nihai sınır tespiti aşağıda verilen örneklerle açıklanmaktadır. İlk örnekte; iki basamaklı model Şekil 2.21 göz önüne alınmıştır. Bu modelde iki basamak vardır. Her basamaktaki blokların ekonomik değerleri blok içlerine yazılmıştır. Şev açısı 45° kabul edilmiştir. Blok (2,3)'ü kazabilmek için (1,2), (1,3) ve (1,4) blokları öncelikle kazılmalıdır. Bu örnekte verilen problemi çözebilmek için Şekil 2.22'deki network çizilmiştir. Blokları network'e dönüştürmek için yapılması gerekenler şunlardır:

- Network'ün soluna pozitif değer ifade eden, sağına ise negatif değer ifade eden bloklar yerleştirilir.
- Pozitif bloklar S, negatif bloklar da T sanal düğüm noktalarına bağlanır.
- Düğüm noktaları arasındaki arkların kapasiteleri blokların mutlak ekonomik değerleridir.
- Pozitif bloklar ve negatif bloklar arasındaki arkların kapasiteleri ise sonsuzdur (Jonhson ve Barnes, 1988)

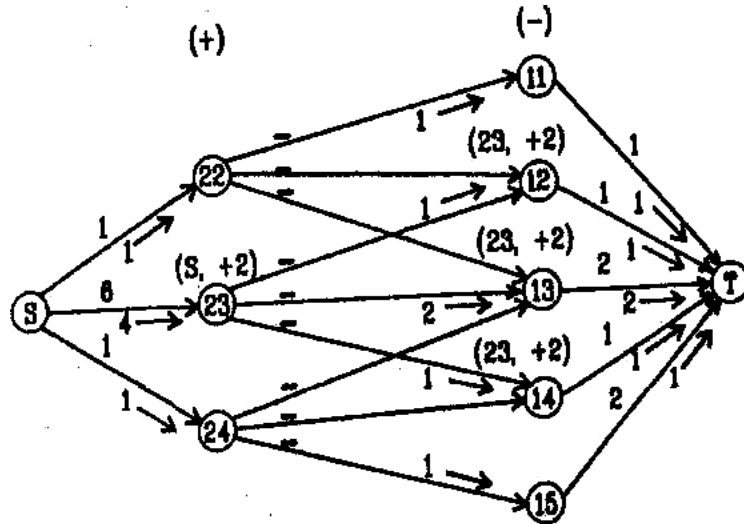
	1	2	3	4	5
1	-1	-1	-2	-1	-2
2		1	6	1	

Şekil 2.21: İki Basamaklı Ekonomik Model

Amaç, açık işletme nihai sınırını toplam ekonomik değeri maksimize edecek şekilde bulmaktır. Bu amaçla maksimum akım algoritması kullanılmaktadır. Algoritmanın uygulanması sonucunda bulunan çözümde arklar üzerindeki akım sonuçları ve düğüm noktalarının etiketlenmiş hali Şekil 2.23'de görülmektedir.

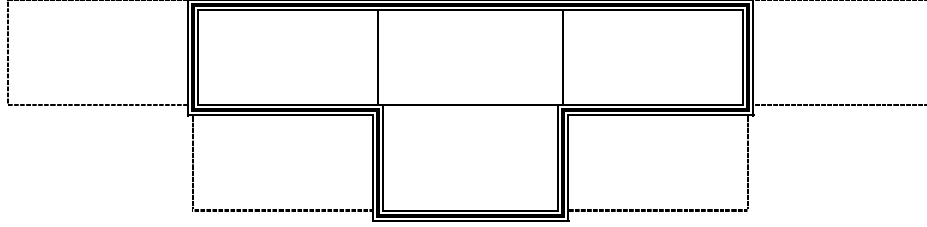


Şekil 2.22: Blok Modelin Network Gösterimi



Şekil 2.23: Network'ün Optimum Çözümü

Sonuç olarak elde edilen Network'teki etiketlenmiş olan blokların kazılması, etiketlenmemiş olan blokları ise bırakılmasıyla optimum açık işletmenin nihai şekli elde edilmiş olacaktır. Optimum açık işletmenin aldığı Şekil 2.24'de gösterilmiştir.



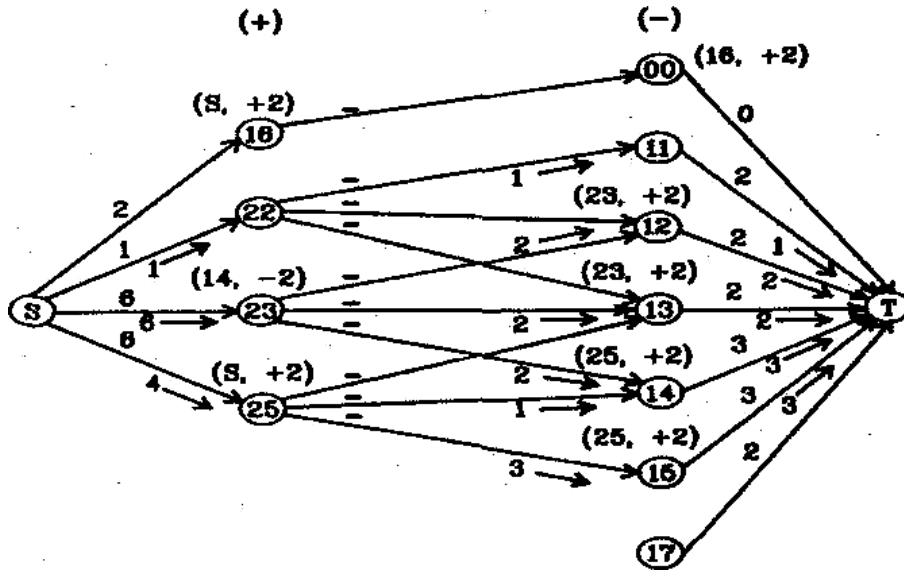
Şekil 2.24: Örnek İçin Optimum Açık İşletme Nihai Şekli

Maksimum akım yöntemi için verilen ikinci örneğin blok modeli Şekil 2.25’de görülmektedir. Bu örnekte 3 basamak vardır ve ilk basamak pozitif bir değer İhtiva etmektedir. İlk basamak pozitif bir blok ihtiva ederse bu blok sol taraftaki pozitif bloklara dahil edilir. Sağ taraftaki negatif bloklara ise sanal bir düğüm noktası ilave edilerek bağlanır. İkiden fazla basamak olması durumunda önce ilk iki basamak çözülür ve daha sonra 3. basamak eklenerek çözüme devam edilir, ikinci adımda, 1. adımda kazılması sonucuna varılan bloklar (etiketlenmiş bloklar) modelden çıkartılarak kalan bloklar ve 3. basamak ilave edilerek yeni bir network oluşturulur ve çözüme devam edilir.

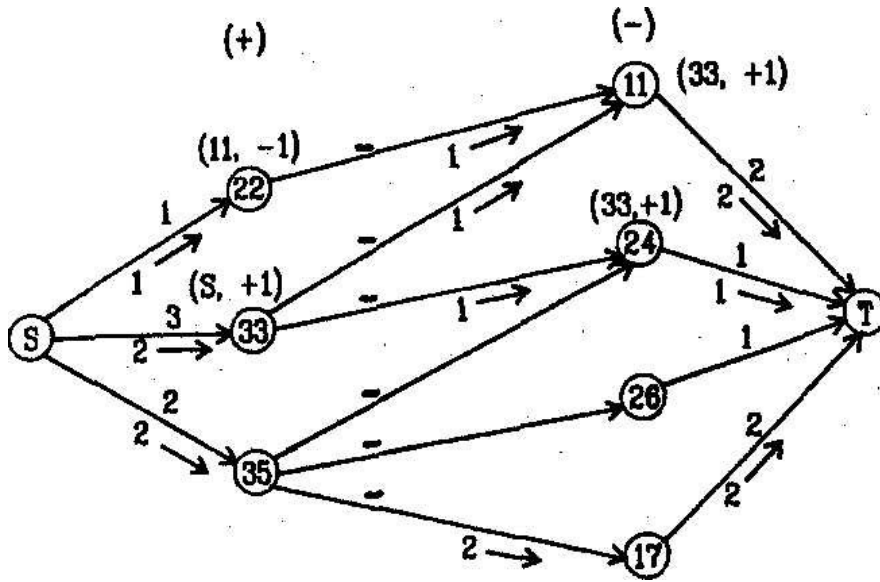
-2	-2	-2	-3	-3	2	2
	1	6	-1	6	-1	
		3	-1	2		

Şekil 2.25: Üç basamaklı Örnek Blok Model

İkinci örnekte 1.adımın çözümü Şekil 2.26’da; 2.adımın çözümü Şekil 2.27’de verilmiştir.

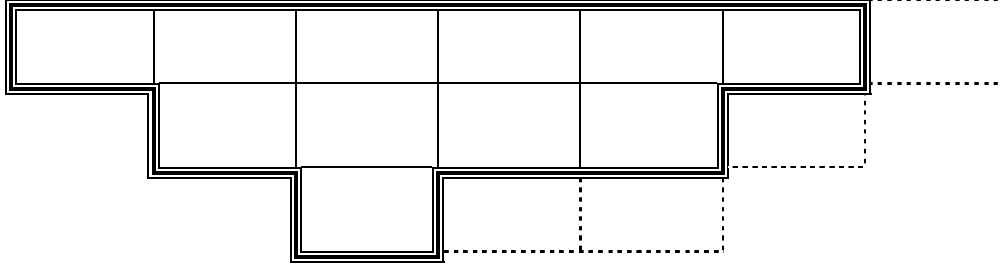


Şekil 2.26: I. Adım İçin Optimum Çözüm



Şekil 2.27: II. Ve Son Adım İçin Optimum Çözüm

Nihai çözüme uygun olarak açık işletmenin alacağı son şekil ise Şekil 2.28'de verilmiştir.



Şekil 2.28: İkinci Örnek İçin Optimum Açık İşletme Sınırı

Blok modelin 3 boyutlu olması durumunda ise çözüm metodu 2 boyutlu modelin çözüm metodu ile aynıdır. Farklı olarak bloklar üçüncü boyutta modele ilave edilir ve şev açıları dikkate alınarak network oluşturulur.

3. LERCHS-GROSSMANN ALGORİTMASI

1965 yılında Lerchs ve Grossmann tarafından ‘‘Açık Ocak İşletmelerinin Optimum Tasarımı’’ başlıklı bir makale yayınlanmıştır.. Klasik bir makale haline gelen bu çalışmada iki sayısal metot açıklanmıştır:

- 2 boyutlu bir açık ocak (ya da ocağın tek bir düşey kesiti) için basit bir dinamik programlama algoritması
- 3 boyutlu ocak tasarımı için daha ayrıntılı bir grafik algoritma

Bu bölümde her iki yöntem de tanımlanacak ve algoritmanın daha kolay anlaşılabilmesi için örnekler verilerek anlatım yapılacaktır. Verilen örnekler Lerchs-Grossmann tarafından sunulmuş ve Sainsbury [1970] tarafından geliştirilmiştir.

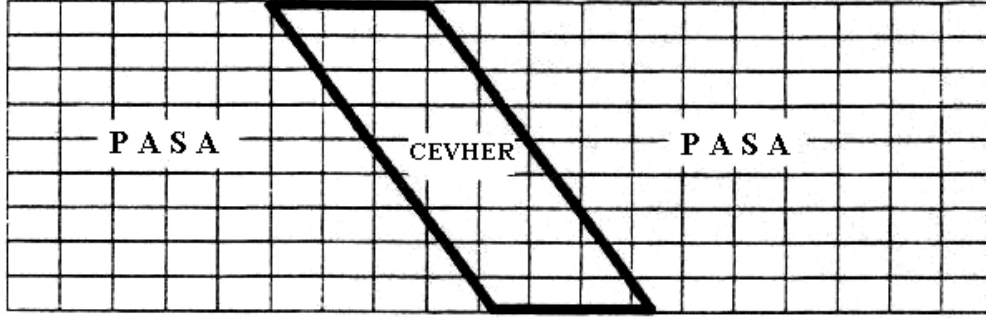
3.1. 2-Boyutlu Lerchs-Grossmann Algoritması

Bu yöntemin anlatılması için kullanılacak olan cevher kütlesi Şekil 3.1’deki gibidir. Cevher bloğunun net değerinin 12.000\$ ve bir atık bloğunun dekapaj maliyetinin 4.000\$ olduğu varsayılmıştır. Hesaplamalarda kolaylık olması açısından -4\$ ve 12\$ değerleri kullanılacaktır. Şev açısı 34°, basamak yüksekliği 12m ve ortalama yoğunluk 2,57t/m³ olarak kabul edilmiştir. Blok genişliklerini bulmak için şev açısı ve basamak yüksekliklerinden faydalanılarak (Denklem 3.1);

$$\alpha = \frac{H}{B} = \tan \beta \quad (3.1)$$

Burada α , blok yüksekliğinin genişliğine oranı; H, blok yüksekliği; B, blok genişliği ve β şev açısını temsil eder. Verilen değerleri yerine konulursa basamak genişliği bulunur.

Şekil 3.1’deki bloklar bu basamak genişlikleri ve yüksekliklerine uygundur. Şekil 3.2’de bloklar içerisine net değerleri yazılmıştır. Bazı bloklar hem cevher hem pasa içerir. Bunların ağırlıklı ortalamaları alınarak yeni bir blok model oluşturulur (Şekil 3.3). Blokların konumlarını belirtmek için (i,j) numaralama sistemi kullanılacaktır.



Şekil 3.1: 2-Boyutlu Lerchs-Grossmann Algoritması Örneği İçin Kullanılacak Cevher Kütesinin Geometrisi (Sainsbury, 1970; Lerchs&Grossmann, 1965)

-4	-4	-4	-4	-4	12	12	12	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4
	-4	-4	-4	-4	12	12	12	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4
		-4	-4	-4	12	12	12	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4
			-4	-4	12	12	12	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4
				-4	12	12	12	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4
					-4	12	12	12	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4
						-4	12	12	12	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4
							-4	12	12	12	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4
								-4	12	12	12	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4
									-4	12	12	12	-4	-4	-4	-4	-4	-4
										-4	12	12	12	-4	-4	-4	-4	-4
											-4	12	12	12	-4	-4	-4	-4
												-4	12	12	12	-4	-4	-4
													-4	12	12	12	-4	-4
														-4	12	12	12	-4
															-4	12	12	12

Şekil 3.2: Başlangıç Durumunda Ekonomik Değerlere Sahip Blok Model

i \ j	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
①	-4	-4	-4	-4	-4	8	12	12	0	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4
②		-4	-4	-4	-4	0	12	12	8	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4
③			-4	-4	-4	8	12	12	0	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4
④				-4	-4	0	12	12	8	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4
⑤					-4	8	12	12	0	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4
⑥						0	12	12	8	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4
⑦							8	12	12	0	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4
⑧								8	12	12	0	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4
⑨									8	12	12	0	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4

Şekil 3.3: Blok Değerleri Düzenlenmiş Model (Lerchs&Grossmann, 1965)

Lerchs-Grossmann'ın bilimsel çalışmalarında yer aldığı gibi i satırları ve j 'de sütunları temsil eder.

SATIR	MEVCUT DEĞER	YENİ DEĞER
i = 1	12	12
i = 2	12	24 = 12 + 12
i = 3	8	32 = 12 + 12 + 8
i = 4	0	32 = 12 + 12 + 8 + 0
i = 5	-4	28 = 12 + 12 + 8 + 0 - 4
i = 6	-4	24 = 12 + 12 + 8 + 0 - 4 - 4
i = 7	-4	20 = 12 + 12 + 8 + 0 - 4 - 4 - 4
i = 8	-4	16 = 12 + 12 + 8 + 0 - 4 - 4 - 4 - 4

Şekil 3.4: 6 No'lu Sütun İçin Kümülatif Değerin Hesaplanması

Bu algoritmanın uygulanmasında ilk adım olarak en üst satırdan başlayarak aşağıya doğru bütün blokların kümülatif toplamları hesaplanır. Her bir düşey blok sütunu diğerlerinden bağımsızdır. Bu işleme örnek olarak j=6 sütunu için Şekil 3.4 gösterilebilir. Bu işlemi tanımlayan denklem aşağıda verilmiştir (Denklem 3.2).

$$M_{ij} = \sum_{k=1}^i m_{kj} \quad (3.2)$$

Burada M_{ij} , tabanında (i,j) bloğu bulunan bir sütunun çıkarıldığında ortaya çıkan karı, m_{kj} ise (k,j) bloğunun net değerini temsil eder. Örnek olarak j=6, i=3 bloğunun sütun değerini bulmak istersek aşağıdaki şekilde buluruz.

$$M_{36} = \sum_{k=1}^3 m_{k6} = m_{16} + m_{26} + m_{36} = 12 + 12 + 8 = 32$$

Bu işlemden sonra atılması gereken ikinci adım kesit üzerindeki en üst sıranın üzerinde i=0 sırasının oluşturmaktır. Aynı zamanda (i=0,j=0) konumuna da değeri sıfır olan bir blok eklenir. Bu işlemler sonunda oluşan durum Şekil 3.5'de gösterilmektedir.

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	-4	-4	-4	-4	-4	8	12	12	0	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4
2	-8	-8	-8	-8	-8	8	24	24	8	-8	-8	-8	-8	-8	-8	-8	-8	-8	-8
3	-12		-12	-12	-12	4	32	36	20	8	-12	-12	-12	-12	-12	-12	-12	-12	
4				-16	-16	0	32	48	32	0	-16	-16	-16	-16	-16	-16			
5					-20	-4	28	56	44	12	16	-20	-20	-20	-20				
6						-8	24	56	56	24	-8	-24	-24	-24					
7							20	52	64	36	4	24	-28						
8							16	48	64	48	16	-16	-32						
9									60	56	28	-4	32						

Şekil 3.5: Toplama İşlemlerinin Tamamlanmış Görünümü (Lerchs&Grossmann, 1965)

	0	1
0	0	0
1	-4	-4
2	-8	-8
3	-12	-12

a)

	0	1
0	0	
1	-4	-4
2	-8	

b)

	0	1
0	0	
1	-4	-4
2	-8	

c)

	0	1
0	0	0
1	-4	4+0
2	-8	-8

d)

a) (1,1) Bloğundan başlayarak (Kesitin En Üst Sol Köşesi) komşu bloklar (solundaki, sol üstündeki ve sol altındaki bloklar) incelenmiştir.

b) Bu bloklar arasında pozitif ve en yüksek değerli blok seçilmiştir.

c) Bu durumda seçilen blok (0,0) bloğudur

d) (1,1) bloğu ve (0,0) bloğunun toplamı bulunur ve (1,1) bloğunun yerine yazılır. (1,1) bloğu ve seçilmiş olan (0,0) bloğu arasına bir ok çizilir. Bu işlem 1. sütundan aşağıya doğru devam eder ve sütun bitince 2. sütun için aynı işlemler tekrarlanır.

Şekil 3.6: Kümülatif Maksimum Değerin Belirlenmesi İşlemleri

Bir sonraki adım ise kesit boyunca soldan sağa gidilerek kümülatif değerlerin toplanmasıdır. En üst ve soldaki bloktan başlanarak bloklar teker teker incelenir. Bir bloğun incelemek için sol tarafındaki, sol-üst köşesindeki ve sol-alt köşesindeki üç bloğa bakılır. Bu üç blok arasında değeri pozitif yönde en yüksek olan blok bulunur ve incelediğimiz bloktan bu bloğa doğru bir ok çizilir. İncelediğimiz bloğun değeri ile okun gösterdiği bloğun değeri toplanır ve incelenen blok yerine bu değer konulur. Sonraki hesaplamalarda bu değer kullanılacaktır. Şekil 3.6'da (1,1) bloğu için bu

işlemler gözükmemektedir. Bu işlem ilk sütundan aşağıya giderek yapılır ve sütun bitince sağındaki sütuna geçilir. Bu şekilde bütün bloklara aynı işlem uygulanır.

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1		-4	-4	-4	-4	8	20	44	0	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4
2			-12	-12	-12	4	32	60	8	-8	-8	-8	-8	-8	-8	-8	-8	-8	-8
3				-24	-24	-8	36	72	20	8	-12	-12	-12	-12	-12	-12	-12	-12	-12
4					-40	-24	24	84	32	0	-16	-16	-16	-16	-16	-16	-16	-16	-16
5						-44	4	80	44	12	-16	-20	-20	-20	-20	-20	-20	-20	-20
6							-20	60	56	24	-8	-24	-24	-24	-24	-24	-24	-24	-24
7								32	64	36	4	24	-28	-28	-28	-28	-28	-28	-28
8									64	48	16	-16	-32	-32	-32	-32	-32	-32	-32
9										56	28	-4	32	32	32	32	32	32	32

Şekil 3.7: Toplama İşlemi Devam Ederken 7. Sütundaki Durum

Kesitlerde bazı blokların boş gözükmesinin nedeni bu blokların ocağın nihai sınırları dışında olmasıdır. Şekil 3.7'de 7. Sütuna kadar yapılan işlemler görülmektedir. 7. Sütunda 32 değerinin başladığı yerden oklar takip edildiğinde ocak sınırlarının belirmeye başladığı görülecektir (Şekil 3.8). Bu şeklin aynısını başlangıçtaki blok değerleri içeren kesitle üst üste koyarsak bu konuma kadar ocak değerinin gerçekten de 32 olduğunu görürüz (Şekil 3.9). Bu teknik sayesinde okların takip edilmesiyle tanımlanan ocak değeri bulunmaktadır. 7.Sütuna kadar geldiğimizde optimum ocak değerinin sütundaki en yüksek değer olan 84 olduğunu görürüz.

	0	1	2	3	4	5	6	7
0	0	0	0	0	0	0	0	0
1		-4	-4	-4	-4	8	20	44
2			-12	-12	-12	4	32	60
3				-24	-24	-8	36	72
4					-40	-24	24	84
5						-44	4	80
6							-20	60
7								32
8								
9								

Şekil 3.8: Okların Gösterimi İle Ocak Sınırlarının Belirginleşmeye Başlaması

	0	1	2	3	4	5	6	7
0	0	0	0	0	0	0	0	0
1		-4	-4	-4	-4	8	12	12
2			-4	-4	-4	0	12	12
3				-4	-4	-4	8	12
4					-4	-4	0	12
5						-4	-4	8
6							-4	0
7								-4
8								
9								

Şekil 3.9: Ocak Sınırlarının Başlangıçtaki Blok Değerleri İle Görünümü

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	-4	-4	-4	-4	-4	8	-20	44	60	76	92	96	104	108	104	104	100	96	92
2	-8	-12	-12	-12	-12	4	32	60	80	96	100	108	112	108	108	100	96	92	
3	-12		-24	-24	-24	-8	16	36	56	72	88	104	108	116	120	116	116	104	96
4				-40	-40	-24	24	84	116	128	132	128	128	128	116	104	88		
5					-60	-44	4	80	128	148	144	144	132	120	100				
6						-68	-20	60	136	160	164	152	140	120					
7							-48	32	124	172	176	164	144						
8								0	96	172	188	172							
9										60	152	200							

Şekil 3.10: Kesit Üzerinde Toplama İşlemlerinin Tamamlanmış Hali

(Lerchs&Grossmann, 1965)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
0															0	0	0	0	0
1																			
2																			
3																			
4																			
5																			
6																			
7																			
8																			
9																			

Şekil 3.11: Optimum Nihai Açık Ocak Sınırları

Şekil 3.10'da bütün toplama işlemleri tamamlandığında ortaya çıkan sonuç gösterilmektedir. Optimum ocağı bulmak için en üst sıradaki en büyük kümülatif toplam değeri bulunur ve o bloktan başlanarak okların gösterdiği yöne doğru gidilir.

Bu okların çizdiği sınır optimum nihai ocak sınıridir. Şekil 3.11’de ocak sınırları gözükmektedir ve ocak değeri 108’dir. Şekil 3.11’deki değerler ile başlangıçtaki blok değerlerinin arasındaki ilişki Şekil 3.11 ile Şekil 3.12’ye bakılarak görülebilir. Bu değer ile ocağın genel bir analizini yaparsak eğer aşağıdaki sonuçlara ulaşırız.

$$\text{Net Değer} = 108 \times 1000\$ = 108.000\$$$

$$\text{Blok Tonajı} = 18\text{m} \times 18\text{m} \times 12\text{m} \times 2,57\text{t/m}^3 \approx 10.000 \text{ ton/blok}$$

$$\text{Cevher Tonajı} = (20 \text{ blok}) \times (10.000\text{ton/blok}) = 200.000 \text{ ton}$$

$$\text{Dekapaj Tonajı} = (16 \text{ blok}) \times (10.000\text{ton/blok}) = 160.000 \text{ ton}$$

$$\text{Toplam Tonaj} = (36 \text{ blok}) \times (10.000\text{ton/blok}) = 360.000 \text{ ton}$$

$$\text{Dekapaj Oranı} = 16/20 = 0,8$$

$$\text{Ton Başına Ortalama Kar} = 108.000\$ / 360.000\text{ton} = 0,30 \text{ \$/ton}$$

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	
0																				
1				-4	-4	8	12	12	0	-4	-4	-4	-4	-4						
2					-4	0	12	12	8	-4	-4	-4	-4							
3						-4	8	12	12	0	-4									
4							0	12	12	8	-4									
5								8	12	12										
6									12											
7																				
8																				
9																				
Cum. Sum.				-4	-12	-8	24	80	136	148	132	120	112	108						

Şekil 3.12: Nihai Ocak Sınırlarının Başlangıçtaki Blok Değerleri İle Gösterimi

Elde edilen optimum net değeri (P_{ij}) hesaplamak için kullanılan eşitlik (Denklem 3.3) aşağıda gösterilmiştir [Lerchs-Grossmann, 1965].

$$P_{ij} = \begin{cases} 0, & i = 0 \\ M_{ij} + \max_{k=-1,0,1} P_{i+k,j-1} & i \neq 0 \end{cases} \quad (3.3)$$

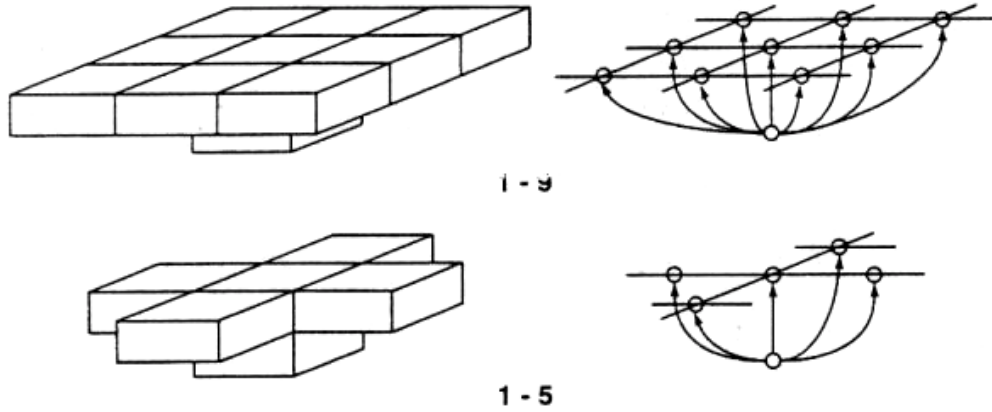
Bu yöntemle ocak sınırları belirlenirken en üst sıradan mutlaka bir blok kullanılmalıdır. Eğer ilk sıradaki P, pozitif bloklardan biriye, optimum ocak sınırları bu bloktan başlayarak sol tarafa doğru okların takip edilmesiyle bulunur. Ancak ilk sıradaki bütün bloklar negatif değere sahipse o zaman işletmeyi kara geçirecek hiçbir sınır çizgisi yoktur.

3.2. 3-Boyutlu Lerchs-Grossmann Algoritması

Nihai ocak sınırları belirlenirken asıl amaç istenen bazı parametreler için bloklar grubu bulmaktır. Örneğin kar veya metal içeriği gibi parametrelerin maksimize edilmesi istenir. 2 boyutlu çözümler yerine 3 boyutlu çözümlerin bulunması gerçeğe yakın bir optimizasyon için önemlidir. Dikey bir blok seti için açık ocak dizaynında iki temel geometri bulunur. Bunlar;

- Bir bloğu elde etmek için üzerindeki beş bloğun çıkarılmasını simgeleyen 1-5 yapısı,
- Bir bloğu elde etmek için üzerindeki dokuz bloğun çıkarılmasını simgeleyen 1-9 yapısıdır.

Bu iki yapı için geometrik görünüm ve eşdeğer grafik Şekil 3.13’de gösterilmektedir. Buradaki düğüm noktaları blokları temsil eder. Oklar ise o blok çıkarılmadan önce çıkarılması gereken blokları işaret etmektedir. Her bloğun kendisine ait bir değeri vardır. Genelde bu değer ekonomik değerdir. Ancak metal içeriği gibi maksimize olması istenen değerler de kullanılabilir. Bu değerler negatif veya pozitif olabilir.



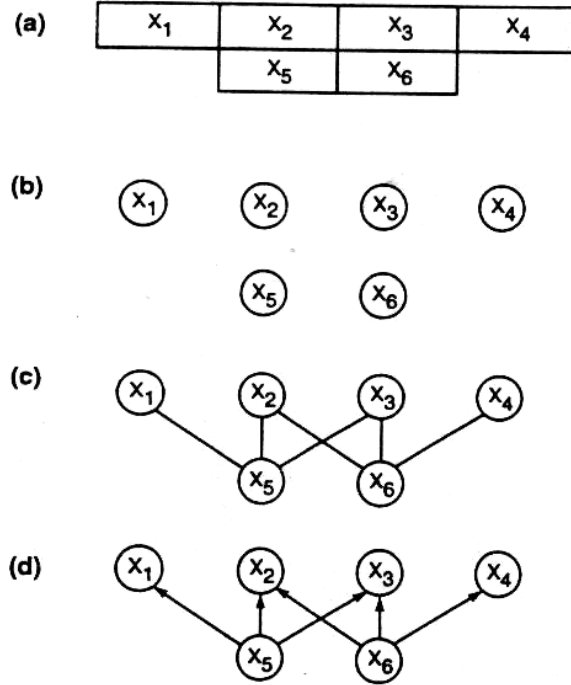
Şekil 3.13: Blok Kısıtlamaları İçin 1-9 Ve 1-5 Modelleri

Lerchs-Grossmann [1965], 3 boyutlu grafiklere uygulandığında optimum nihai ocak sınırlarını veren temel algoritmayı yayınlamışlardır. Bu algoritma da örneklerle anlatılacaklardır ve kullanılacak olan genel kavramlar açıklanacaktır.

3.2.1. Bazı Önemli Terim ve Kavramların Tanımı

Bu yöntemin açıklanmasında grafik teorisinden [Lerchs-Grossmann, 1965; Laurent ve diğ., 1977] alınmış olan birçok terim ve kavram vardır. Şekil 3.14’de 6 bloktan

oluşan basit bir 2-boyutlu kesit gözükmetedir. Her bloğa blok model içerisindeki konumunu göstermesi için bir numara (x_i) verilmiştir. Şekil 3.14a'daki gibi blok yerleri $x_1, x_2, x_3, x_4, x_5,$ ve x_6 şeklinde belirlenmiştir. Eğer 100.000 blok varsa x_1, x_1 'den $x_{100.000}$ 'e kadar gidecektir.



Şekil 3.14: 2-Boyutlu Model Oluşumu

Şekil 3.14b, 2-boyutlu bir uzayda konumları korunmuş olarak çizilen ve dairelerle temsil edilen 6 bloğu göstermektedir. Grafik teorisi uygulamaları için bu daireler “düğüm noktası” (node) diye adlandırılır. Düz çizgiler ise alt düğüm noktalarını üstündeki en yakın komşulara bağlar ve grafik teorisinde “kenarlar” (edges) olarak isimlendirilir. Şekil 13’de gösterilen 3-boyutlu gösterimde üst üste olan her blok için 1-9 modelinde 9 kenar bulunmaktadır. 1-5 modelinde ise 5 kenar bulunmaktadır. 2-boyutlu modelde ise her blok için 3 kenar bulunmaktadır.

Şekil 3.14c’de gösterildiği gibi x_5 düğüm noktasının en yakın koşuları x_1, x_2 ve x_3 ’tür. x_5 ile x_1 arasındaki bağlantı (x_1, x_5) veya (x_5, x_1) şeklinde ifade edilir. Şekil 3.14’deki düğüm noktaları 6 adet kenar ile birbirine bağlanmıştır:

$$(x_1, x_5) = (x_5, x_1)$$

$$(x_2, x_5) = (x_5, x_2)$$

$$(x_3, x_5) = (x_5, x_3)$$

$$(x_2, x_6) = (x_6, x_2)$$

$$(x_3, x_6) = (x_6, x_3)$$

$$(x_4, x_6) = (x_6, x_4)$$

Bu (e_{ij}) kenarları aşağıdaki şekilde tanımlanabilir:

$$e_{ij} = (x_i, x_j)$$

Tüm kenarları içeren set ise E ile gösterilir.

$$E = (e_{ij})$$

Grafik: Bir $G = (X, E)$ grafiği, $e_{ij} = (x_i, x_j)$ eleman çiftleriyle birbirine bağlanmış bir dizi x_i düğüm noktası ile tanımlanır.

Bir sonraki adım ise hangi blokların diğerlerine göre öncelikli olarak çıkarılması gerektiğinin bilinmesidir. Bu durum en alttaki bloktan en üstteki bloğa kadar gerekli olan akımı yani sıralamayı oluşturur. Kenarlar üzerindeki oklarla çıkarılacak blokların yönü gösterilir. Bu işlem Şekil 3.14d'de gösterilmiştir. Kenarlara eklenen bu oklar ile bir kenar (edge), yay (arc) haline dönüşür.

$$a_{kl} = (x_k, x_l)$$

(x_k, x_l) ile belirtilen bir yay, x_k düğüm noktasından x_l düğüm noktasına doğru bir "akım" olduğu manasına gelir (okun uç kısmı x_l üzerinde biter). A sembolü ile temsil edilen ve bütün yayları içeren set aşağıdadır:

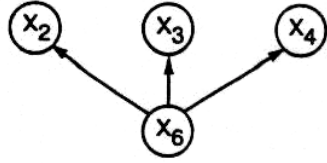
$$A = (a_{kl})$$

X düğüm noktalarından ve A yaylarından oluşan grafiğe (G), "yönlendirilmiş grafik" (Directed Graph) denilir.

Yönlendirilmiş Grafik: Bir $G = (X, A)$ yönlendirilmiş grafiği, G'nin yayları olarak adlandırılan ve element çiftleriyle birbirine bağlı olan x_i düğüm noktaları dizisinden oluşur.

Bütün düğüm noktaları dizilerinin ve yayların yönlendirilmiş grafikleri $(G(X,A))$ birbirine bağladığı ya da kısmen bağladığı düşünülebilir. Bir Altdizi (Subset (Y)),

yönlendirilmiş bir Altgrafik olarak adlandırılır ve $G(Y,AY)$ ile temsil edilir. Yönlendirilmiş bir altgrafik örneği Şekil 3.15’de gösterilmektedir.



Şekil 3.15: Bir Altgrafik Örneği

Altgrafik: Yönlendirilmiş bir altgrafik $G(Y)$, yönlendirilmiş bir $G(X,A)$ grafiğinin alt dizisidir. Y düğüm noktaları dizisi ve o bu noktaları bağlayan bütün A_Y yaylarının birleşmesinden oluşur.

M_1	M_2	M_3	M_4
	M_5	M_6	

Şekil 3.16: Blok Temsili Değerleri (Şekil 3.14 İçin)

Her x_i bloğunun bir m_i değeri vardır. Şekil 3.16’da Şekil 3.14a’daki blokların temsili değerleri gösterilmektedir. Bu değerler blokların net değerleri olabildiği gibi, mineral içeriği veya kar gibi değişkenler de olabilir.

4 ayrı bloktan (x_1, x_2, x_3, x_5) bir altgrafik, fiziksel olarak uygun bir ocağın şeklini verebilir. Aynı şekilde x_2, x_3, x_4 ve x_6 blokları da bu şekildedir. Uygun bir ocağı oluşturabilecek üçüncü bir olasılık ocağa şekil veren 6 bloğun ($x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6$) kullanılmasıdır. Bunun gibi birçok kombinasyon mümkündür. Ancak x_2, x_3 ve x_6 bloklarının oluşturduğu bir altgrafik üst kısımda bulunan x_4 bloğunu içermediği için açık ocak oluşturmak için uygun değildir. Uygun altgrafikleri belirtmek için “Kapanım” (Closure) terimi kullanılır.

Kapanım (Closure): Uygun bir açık ocağı oluşturan altgrafiklere kapanım denir. Bu uygun altgrafikler birer değere sahiptir. Madencilikte zor olan kısım bu altgrafığın maksimum değer verenini yani en ekonomik açık ocağı bulmaktır. Grafik teorisinde bu kapanımların oluşturduğu en ekonomik yönlendirilmiş grafiğe “Maksimum Kapanım” denir.

Maksimum Kapanım (Maximum Closure): Bir ocaktaki blok değerlerinin maksimum toplamını veren kapanım dizisine denir ($M_Y = \sum m_i$).

Devre (Circuit): Başlangıç düğüm noktasının bitiş düğüm noktası (terminal) ile aynı olduğu bir yoldur.

Zincir (Chain): Her bir kenarın kendisinden sonra gelen kenarla ortak bir düğüm noktasına sahip olduğu kenarlar dizisidir.

Dönüşüm (Cycle): Başlangıç ve bitiş düğüm noktalarının birleştiği zincire denilir.

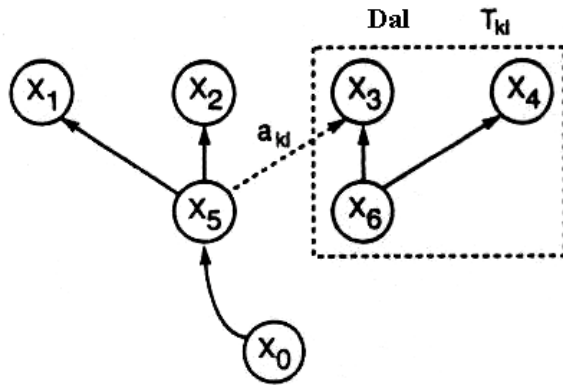
Yol (Path): Her bir yayın bitiş noktasının, diğer bir yayın başlangıç noktası olduğu yaylar dizisidir.

İşlemlerin kolay anlaşılmasını sağlayacak ağaç oluşumunda kullanılan bazı terimler de aşağıda açıklanmıştır.

Ağaç (Tree): Bir T ağacı, hiçbir dönüşüm içermeyen bağlı ve yönlendirilmiş bir grafikdir. Bir ağaç onu oluşturan yaylardan daha fazla düğüm noktası içerir. Köklü bir ağaç (Rooted Tree) özel bir düğüm noktası bulunan yani kökü bulunan bir ağaçtır.

Kök (Root): Bir kök ağaçtan seçilmiş olan bir düğüm noktasıdır. Bir ağacın ancak tek bir kökü olabilir.

Dal (Branch): Eğer bir ağaç bir a_{kl} yayının çıkarılmasıyla iki parçaya bölünürse, kök içermeyen parçaya dal denilir.



Şekil 3.17: Bir Dal (Branch) Örneği

Bir T ağacının her bir a_{kl} yayı bir T_{kl} dalını tanımlar. Bir T_{kl} dalının W_{kl} değeri, T_{kl} dalının düğüm noktaları ile bağlantılı tüm değerlerin toplamıdır. Bir dal örneği Şekil 3.17'de gösterilmektedir.

İnce Dal (Twig): İnce dallar bir dalın alt dalıdır.

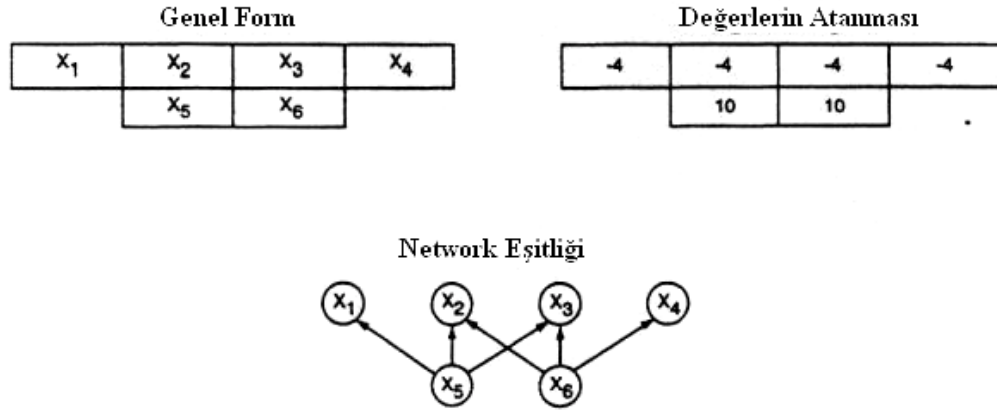
İnce dallar ve dallar ağaçtan çıkarıldığında veya ağaca eklendiğinde, ağacın değeri değişmektedir.

Lerchs-Grossmann Algoritması, bir dizi kuralın takip edildiği bir normalleştirme işlemine dayalıdır. Bu işlemler detaylı olarak anlatılacaktır.

3.2.2. Ağaç Oluşumu İçin İki Yaklaşım

3-Boyutlu Lerchs-Grossmann Algoritması, T^0 başlangıç ağacının oluşturulmasıyla başlar. Daha sonra bu ağaç kurallara uygun bir şekilde ve oluşturulacak ağaç kalmayınca kadar T^1, T^2, \dots, T^n ağaçlarına dönüştürülür. Daha sonrasında ise oluşan nihai ağacın, tanımlanmış dallarının düğüm noktaları toplamı Maksimum Kapanımı verir. Başlangıç ağacını oluşturabilecek iki yaklaşım bulunmaktadır:

1. Yaklaşım: Kök ile bir bağlantısı bulunan rastgele bir ağaç oluşturma
 2. Yaklaşım: Her bir düğüm noktası köke doğrudan bağlantılı olan bir ağaç oluşturma
- Bunların en basiti 2. yaklaşımdır. Her iki yaklaşım da Şekil 3.18'de verilen basit bir örnek üzerinde adım adım uygulanacaktır (Laurent ve diğ. (1977)).



Şekil 3.18: 3-Boyutlu Lerchs-Grossmann Algoritması İçin Kullanılan Örnek

3.2.2.1. Rastgele Ağaç Yaklaşımı

Bu yaklaşım (iki yaklaşım tarafından da kullanılan genel normalleştirme işlemi de içerir) adım adım anlatılacaktır.

1. Adım: Yönlendirilmiş grafiğe bir x_0 kök düğüm noktası eklenerek başlanır ve bağlantı olasılıkları hesaba katılarak seçime bağlı bir ağaç oluşturulur.

x_5 düğüm noktası için: (x_5, x_1)

(x_5, x_2)

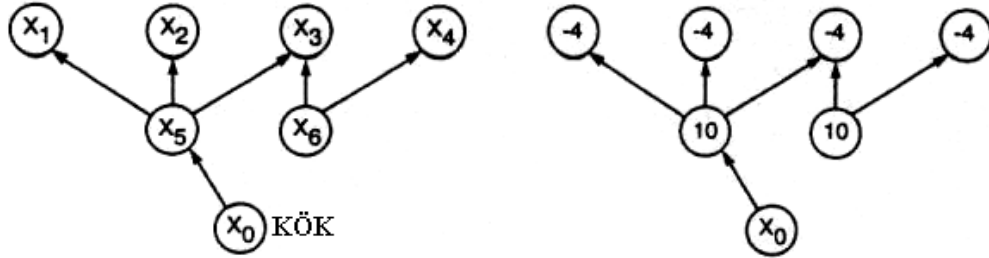
(x_5, x_3)

x_6 düğüm noktası için: (x_6, x_2)

(x_6, x_3)

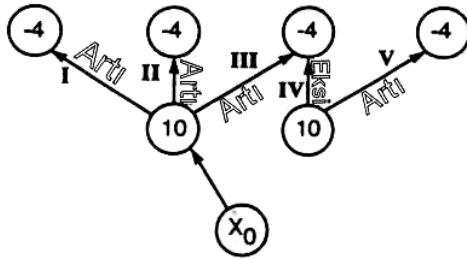
(x_6, x_4)

Seçilen ağaç Şekil 3.19'da gösterilmektedir. Düğüm noktalarının (bloklar) her biri yönlendirilmiş bir yay ile diğerlerine bağlanmıştır ve köke bir düğüm noktası eklenmiştir.



Şekil 3.19: Oluşturulan Ağca Kök Ekleme İşlemi

2.Adım: Yayların her biri kökten dışarıya doğru çıkıyorsa “artı” (plus) veya köke doğru gidiyorsa “eksi” (minus) olarak etiketlenir. Bu durum Şekil 3.20’de gösterilmektedir.



Şekil 3.20: Artı ve Eksi Bağlantıların Etiketlenmesi

3.Adım: Uçlardan başlayarak bütün dallar incelenir ve her bir yay için gövdeden dışarıya doğru düğüm noktalarının toplamı alınır. Amaç yayların her birine toplam değerinin değişimine göre “güçlü” (strong) veya “zayıf” (weak) terimlerini yerleştirmektir. Tablo 3.1’de etiketleme işlemi yapılırken kullanılacak kriterler

gösterilmiştir. Bu işlem için ağacın sol tarafından başlarsak Roma rakamıyla I olarak gösterilen yay için yön artı ve değer negatiftir. Bu durumda tabloya bakılacak olursa bu yay için “zayıf” etiketi konulur (2.Durum). II no’lu yay için de durum aynıdır. V no’lu yay için yön artı ve değer negatiftir ve etiket olarak “zayıf” eklenir. IV no’lu yay incelendiğinde yön eksi ve kümülatif değer pozitifdir (10-4=6). Bu durumda etiket “zayıf” olur (3. Durum). III no’lu yay için ise yön artı ve kümülatif değer pozitifdir. Etiket “güçlü” olmalıdır (1.Durum). Şekil 3.21’de her yay için ortaya çıkan yön ve etiketleme sonuçları gösterilmektedir.

Tablo 3.1. Bağlantıların Sınıflandırılma Kriterleri

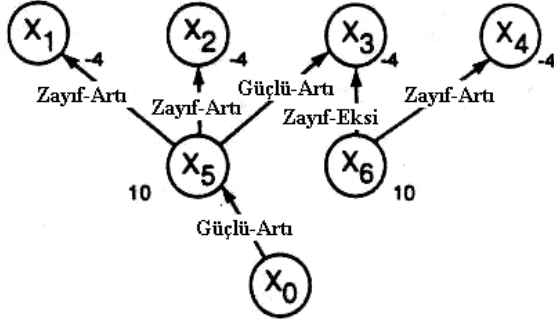
Durum	Bağlantı Yönü	Toplam Değer	Etiket
1	Artı (Plus)	Pozitif	Güçlü (Strong)
2	Artı (Plus)	Sıfır veya Negatif	Zayıf (Weak)
3	Eksi (Minus)	Pozitif	Zayıf (Weak)
4	Eksi (Minus)	Sıfır veya Negatif	Güçlü (Strong)

4.Adım: Bu adımda güçlü olan yayları belirlemek amacıyla bir işlem yapılır. İki farklı durum için hareket etme olasılığı vardır:

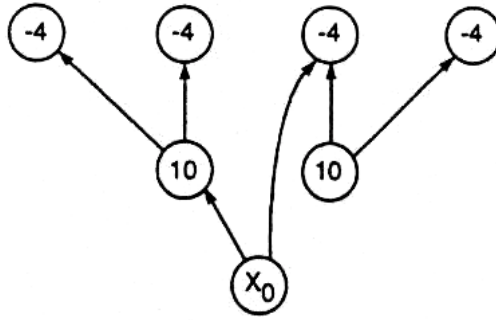
- 1) Bir güçlü-eksi yay varsa: (x_q, x_r) yayı, varsayılan bir (x_0, x_q) yayı ile değiştirilir. x_q düğüm noktası köke bağlanır.
- 2) Bir güçlü-artı yay varsa: yayı, varsayılan bir yayı ile değiştirilir. düğüm noktası köke bağlanır.

Bu örnekte sadece III no’lu yay güçlü etiketine sahiptir. Bu yay güçlü-artı etiketli olduğu için 2. kural uygulanır. Bu yayın yerine x_5 düğüm noktasını (10) x_3 düğüm noktasına (-4) bağlayan yay silinir. x_0 düğüm noktasını (kök), x_3 düğüm noktasına bağlayan bir yay çizilir (Şekil 3.22). Bu oluşan ağaç T^1 ağacıdır.

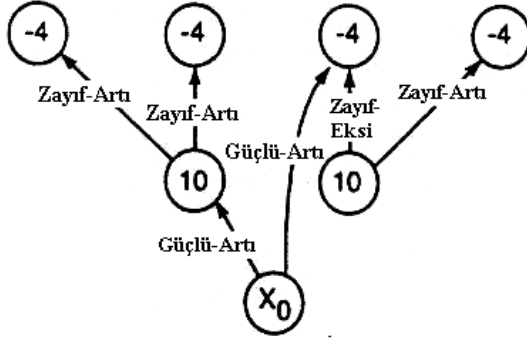
5.Adım: T^1 ağacı da aynı şekilde incelenir ve “artı”, “eksi”, “güçlü” ve “zayıf” gibi etiketleme işlemleri yapılır. Bu durumda Şekil 3.23 oluşur.



Şekil 3.21: Etiketleme İşlemi Sonucu



Şekil 3.22: T1 Ağacının Oluşumu



Şekil 3.23: T1 Ağacının Etiketlenmesi

6.Adım: Doğrudan köke bağlı olmayan hiçbir güçlü dal kalmadığı için bu ağacın normalleşme işlemi tamamlanmış olur. Eğer olsaydı 4.Adım'daki işlemler bu dal için de yapılacaktı.

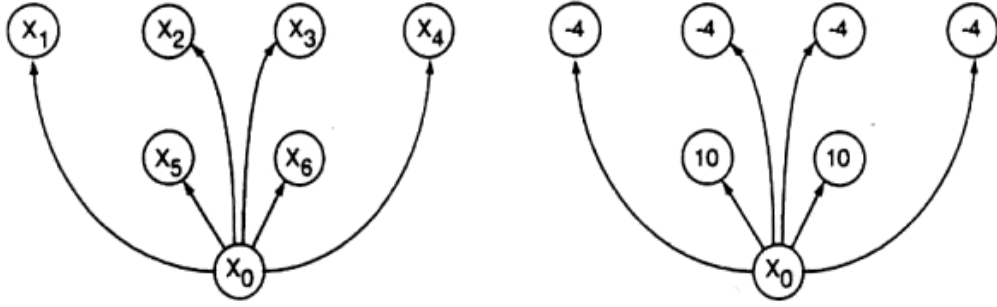
7.Adım: Maksimum kapanım, "güçlü" yaylarla köke bağlanmış olan düğüm noktalarını içermektedir. Bu durumda bu kapanım için aşağıdaki değer bulunur.

$$-4 - 4 + 10 - 4 - 4 + 10 = +4$$

3.2.2.2. Kök İle Doğrudan Bağlantılı Yaklaşım (2.Yaklaşım)

Bu yaklaşımdaki aşamalar adım adım anlatılacaktır.

1.Adım: Bir kök düğüm noktası (x_0) oluşturulur ve bütün düğüm noktaları kök ile birleştirilir. Örnek problem için T^0 başlangıç ağacı Şekil 3.24'te gösterilmiştir. Görüldüğü gibi bütün yaylar artı yöndedir.



Şekil 3.24: Bütün Düğüm Noktalarının Kök İle Bağlantılı Olduğu Başlangıç Ağacı

2.Adım: Yönlendirilmiş yaylar seti (grafik) iki gruba ayrılmıştır. Güçlü-artı yaylarla köke bağlanan grup, Y^0 grubu içinde yer alır. Diğerleri ise $X-Y^0$ grubundadır. Bu durumda x_5 ve x_6 , Y^0 grubunda yer alır ve toplam değerleri 20'dir.

3.Adım: İki grup arasındaki olası bağlantılar gözden geçirilir. Bu durumda 6 yönlendirilmiş yay çizmek mümkündür.

x_5 düğüm noktası için: (x_5, x_1)

(x_5, x_2)

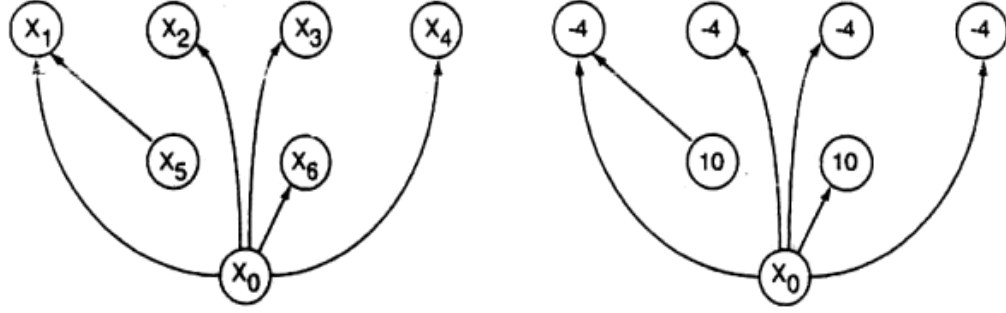
(x_5, x_3)

x_6 düğüm noktası için: (x_6, x_2)

(x_6, x_3)

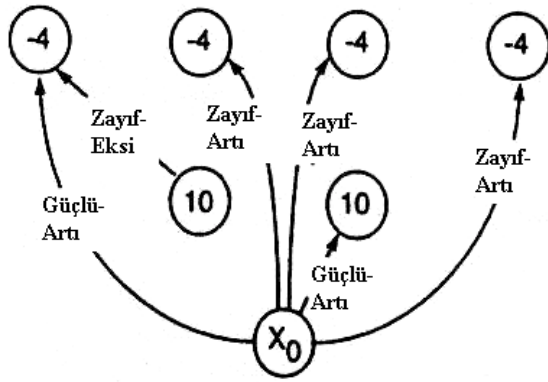
(x_6, x_4)

Bunlardan herhangi biri seçilir. Örneğin (x_5, x_1) olası bağlantısı seçilirse bu düğüm noktası, (x_0, x_5) düğüm noktası ile değiştirilir. Bu durum Şekil 3.25'te gösterilmektedir.



Şekil 3.25: (x_5, x_1) Bağlantısının Seçilmesi

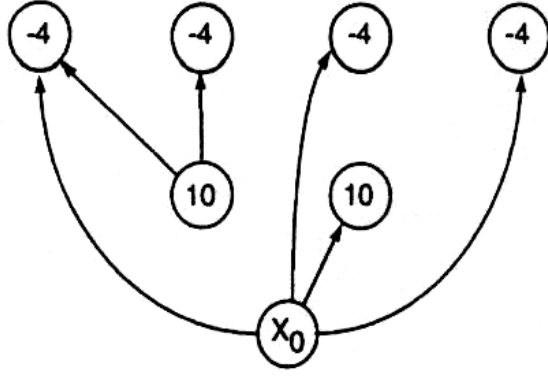
4.Adım: Bu işlemten sonra normalleştirme işlemine geçilir. Her bir yay için etiketleme işlemleri yapılır. Bunun sonucunda Şekil 3.26 oluşmuştur. x_0 ve x_1 arasındaki bağlantı hala güçlü-artı niteliğindedir. Buna göre Y grubunun üyeleri x_1 , x_5 ve x_6 'dır. Y değeri (kapanım) ise 16'dır.



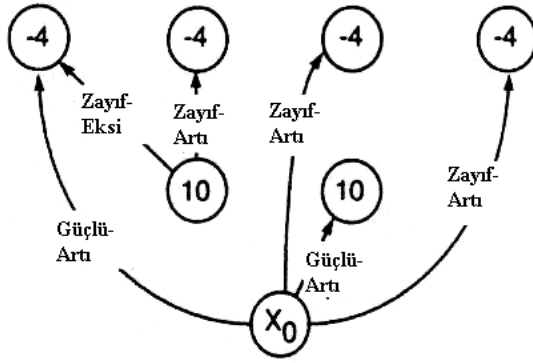
Şekil 3.26: Etiketleme İşlemi Sonucu

5.Adım: Bu aşamada 3.Adım'a geri dönülür ve Y ile X-Y arasındaki olası bağlantılar tekrar incelenir. 5 uygun bağlantı bulunmaktadır. Bunlar (x_5, x_2) , (x_5, x_3) , (x_6, x_2) , (x_6, x_3) ve (x_6, x_4) bağlantılarıdır. (x_5, x_2) olası yayı seçilerek (x_0, x_2) ile değiştirilir. Bu durum Şekil 3.27'de gösterilmektedir.

6.Adım: Elde edilen yeni ağaç tekrar etiketlenir. Bu durum Şekil 3.28'de gösterilmektedir. Y grubunda yer alan düğüm noktaları x_1 , x_2 , x_5 ve x_6 'dır. Y kapanımı ise 12 olur.

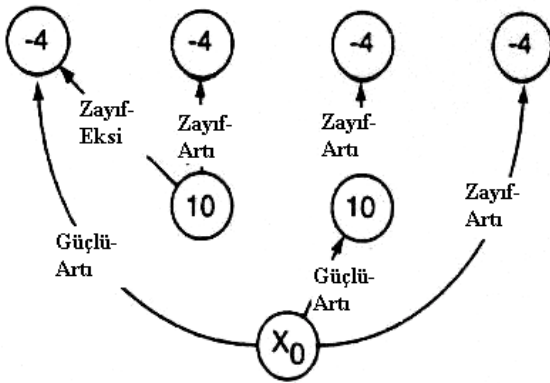


Şekil 3.27: (x_5, x_2) Bağlantısının Eklenmesi



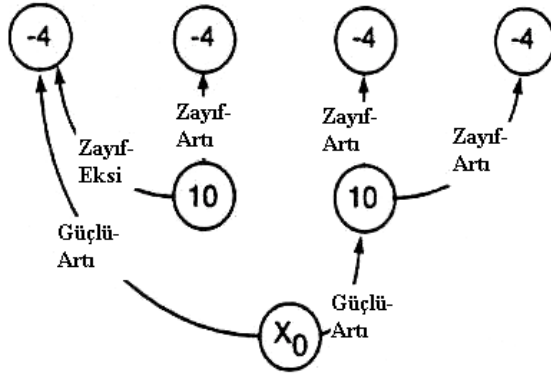
Şekil 3.28: Elde Edilen Ağacın Etiketlenmesi

7.Adım: Geride kalan bağlantılar (x_5, x_3) , (x_6, x_3) ve (x_6, x_4) yaylarıdır. Seçimimizi (x_6, x_3) bağlantısı için yaparsak (x_0, x_3) yayını bu bağlantı ile değiştirebiliriz ((x_6, x_3) seçiminin değerlendirilmesi sonradan yapılacaktır). Ortaya çıkan normalleştirilmiş ağaç Şekil 3.29'da gösterilmektedir. (x_0, x_6) yayı güçlü-artı olarak kalır ve Y grubunda yer alan düğüm noktaları x_1, x_2, x_3, x_5 ve x_6 'dır. Toplam kapanım ise 8'dir.



Şekil 3.29: (x_6, x_3) Bağlantısının Eklenmesi

8.Adım: Artık sadece bir olası bağlantı (x_6, x_4) kaldığı için (x_0, x_4) yayı yerine bu bağlantı eklenir. Normalleştirme işlemiyle ağaç Şekil 3.30'da görüldüğü gibi olur. Bu durumda düğüm noktalarının tümü, güçlü yaylarla köke bağlanmıştır ve başka bağlantıya ihtiyaç duyulmamaktadır.

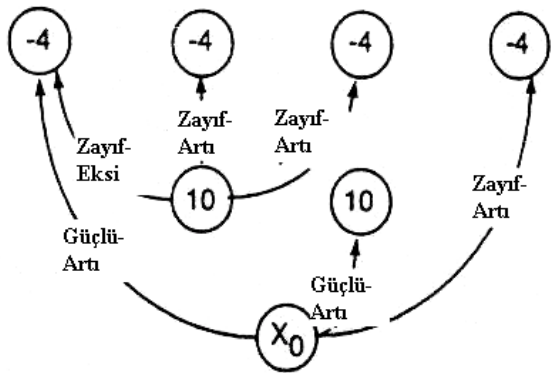


Şekil 3.30: (x_6, x_4) Bağlantısının Eklenmesi

9.Adım: Maksimum kapanım, kullanılmış olan düğüm noktalarının kümülatif toplamı yani +4'tür.

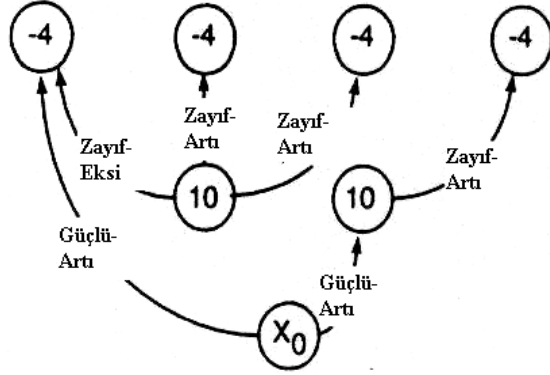
Önceden belirtildiği gibi Şekil 3.27'de gösterilen safhada (x_5, x_3) bağlantısı da seçilebilirdi. O noktaya geri dönersek ve (x_5, x_3) bağlantısını göz önünde bulundurursak 6.Adım'dan sonraki aşamaları tekrar gözden geçirmemiz gerekir.

7*.Adım: (x_5, x_3) yayı (x_0, x_3) bağlantısının yerine eklenir. Normalleştirilmiş ağaç Şekil 3.31'de gösterilmektedir. Burada görüldüğü gibi (x_0, x_1) yayı zayıf-artı etiketi almıştır. Y grubunun tek üyesi x_6 'dır. Kapanım ise 10'dur.



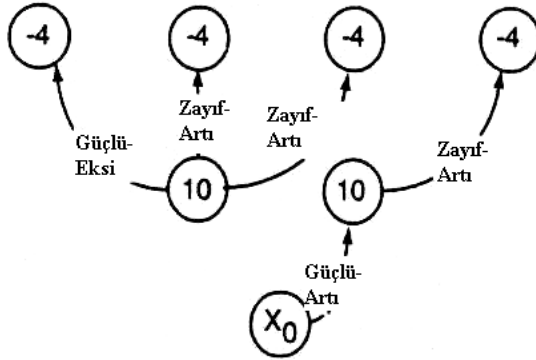
Şekil 3.31: 7.Adım İçin Alternatif Olan (x_5, x_3) Bağlantısının Eklenmesi

8*.Adım: X-Y ve Y grubu arasında olabilecek iki bağlantı kalmıştır. Bunlar (x_6, x_4) ve (x_6, x_3) yaylarıdır. (x_6, x_3) seçimi yapıldığında Şekil 3.32'deki normalleştirilmiş ağaç elde edilir. Y grubunun üyeleri ise x_6 ve x_4 'tür. Kapanım ise 6'dır.



Şekil 3.32: (x_6, x_3) Bağlantısından Sonra Normalleştirilmiş Ağaç

9*.Adım: İki grup arasında, bir tanesi (x_6, x_3) yayı boyunca olan tek bir bağlantı bulunmaktadır. Şekil 3.33'teki ağaç için, (x_0, x_1) bağlantısı çıkarılmış ve yerine (x_6, x_3) bağlantısı eklenmiştir. Görüldüğü gibi düğüm noktalarının hepsi tek "güçlü" bir bağlantı zinciri ile köke bağlıdır. Daha olası bir bağlantı bulunmamaktadır. Düğüm noktalarının kapanımı +4'tür.



Şekil 3.33: (x_6, x_3) Bağlantısının Eklenmesiyle Normalleştirilmiş Ağaç

3.2.3. Ağaç Kesme İşlemi

Bu bölümde normalleştirme sırasında ağacı "kesme" işlemi incelenecektir. Örnek olarak Şekil 3.34 kullanılacaktır. Başlangıçtaki ağaç Şekil 3.35'de gösterilmiştir. Bağlantı için başlangıçtaki seçimler öncekiyle aynıdır ve aşağıdaki sırayla gerçekleştirilecektir:

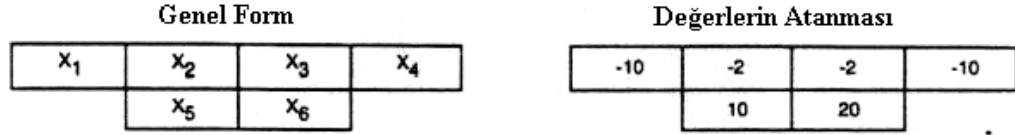
x_5 düğüm noktası için: (x_5, x_1)

(x_5, x_2)

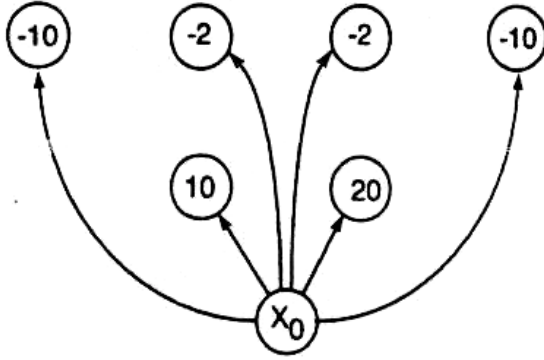
x_6 düğüm noktası için: (x_6, x_3)

(x_6, x_4)

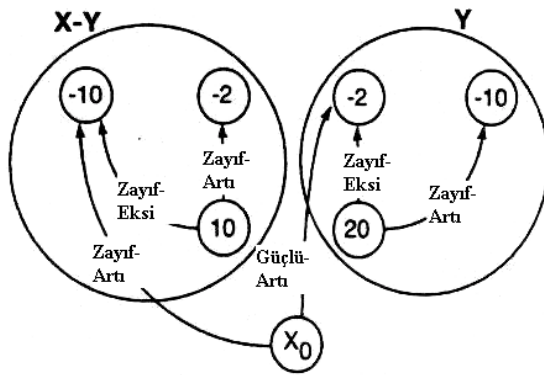
Bu 4 işlemden sonra normalleştirilmiş olan ağaç Şekil 3.36'daki gibi olur.



Şekil 3.34: Ağaç Kesme İşlem İçin Kullanılan Örnek



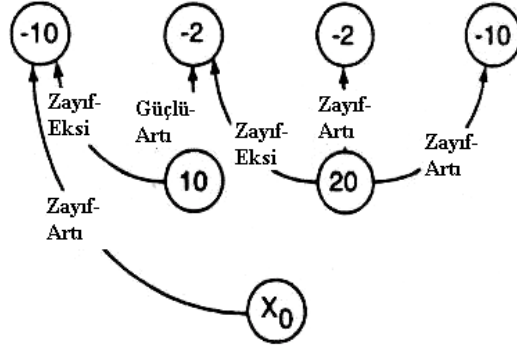
Şekil 3.35: Başlangıç Ağacına Eklenen Bağlantılar



Şekil 3.36: 4 Tekrarlanmış İşlem Sonucunda Normalleştirilmiş Ağaç

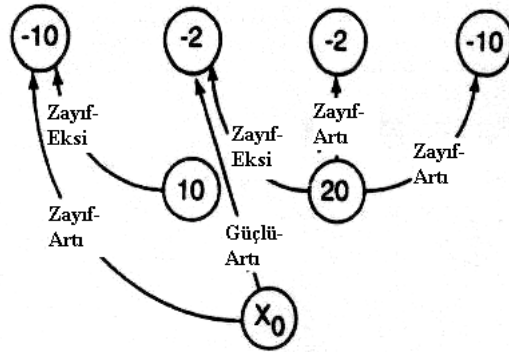
Y grubunun x_3 , x_4 ve x_6 'dan oluştuğu görülmektedir. Şekil 3.37'de, (x_0, x_3) yayı çıkarılmış ve (x_6, x_2) yayı eklenmiştir. Bu işlemden sonra ağaç normalleştirilir.

Görüldüğü gibi (x_5, x_2) yayı güçlü-artı'dır ve köke doğrudan bağlantılı değildir. Ağaç normalleştirilmesi amacıyla kesilmelidir.



Şekil 3.37: (x_6, x_2) Bağlantısının Eklenmesi

(x_k, x_1) yayı varsayılan bir (x_0, x_1) yayı ile değiştirilir. Bu durumda $x_k = x_5$ ve $x_1 = x_2$ olur. Böylece yeni bağlantı (x_0, x_2) yayıdır. Bu durum Şekil 3.38'de gösterilmektedir. Sonuç olarak ortaya çıkan ağaç normalleştirilmiş yapıdadır. Bağlantıların hepsi denenmiştir. Nihai kapanım $20 - 10 - 2 - 2 = +6$ olarak bulunur. Görüldüğü gibi eğer Tablo 3.1'de "Kümülatif Değer=Sıfır Ya Da Pozitif" değil de "Kümülatif Değer=Pozitif" olarak yazılmış olsaydı, o zaman x_1 ve x_5 düğüm noktaları maksimum kapanımda yer alacaktı.



Şekil 3.38: (x_5, x_2) Yayının Kesilmesi ve (x_0, x_2) Yayının Eklenmesi

4. ETİ-BOR A.Ş. KESTELEK SAHASININ TANITILMASI

4.1. Genel Özellikler ve Coğrafi Konum

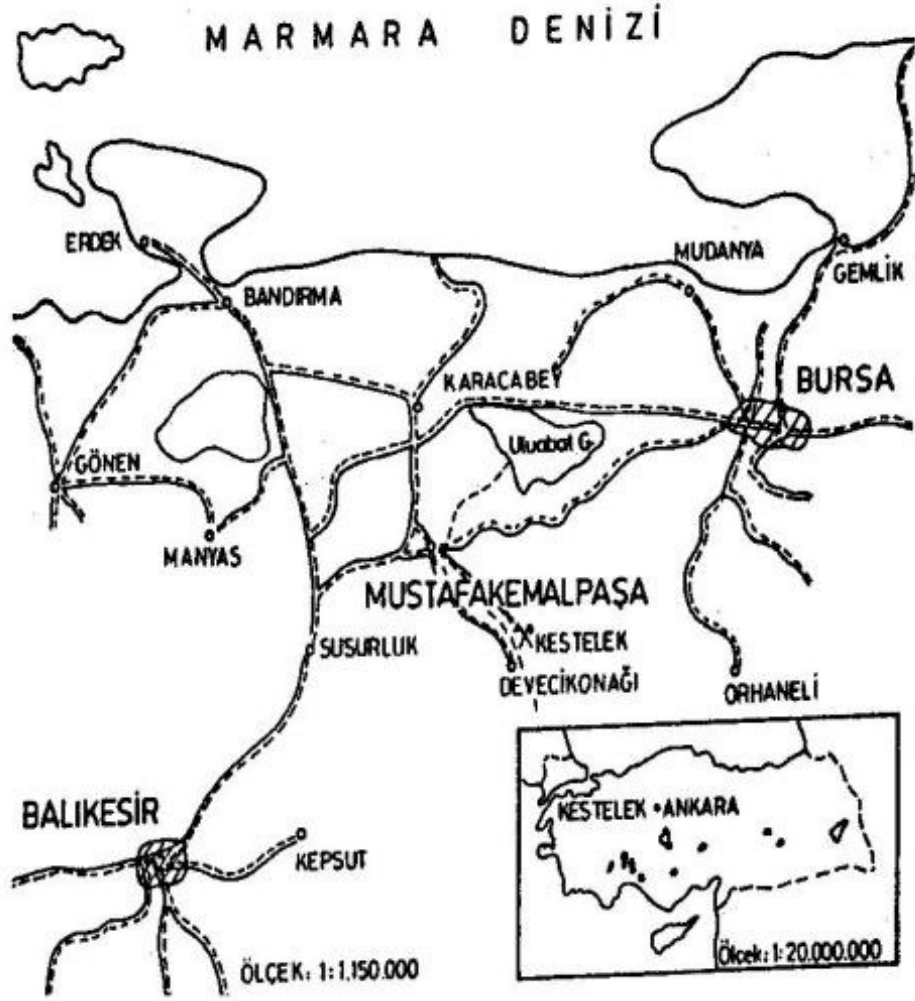
Kestelek Bor Madenleri İşletmeleri Müessesesi İşletme Sahası, Bursa ili, Mustafa Kemalpaşa ilçesine bağlı Kestelek Köyü'nün güneyinde bulunmaktadır. Müessesenin ilçe merkezine mesafesi 23km'dir. Bursa'dan 82km uzaklıkta ve Bursa-İzmir karayolundan 3km içeride bulunan Mustafa Kemalpaşa ilçesine yüksek standartlı asfalt karayolu ile gelinmektedir. İlçe ile müessese arasında; biri Devecikonağı ile 25km asfalt - 4km stabilize yol, diğeri Camandar Köyü üzerinden 23km'lik yol ile ulaşım sağlanmaktadır. Sahaya ulaşım Şekil 4.1'de görülen yollar vasıtasıyla yapılmaktadır. Açık işletme faaliyetlerinin yapılacağı saha, 33050 ve 34100 doğu ile 22900 ve 23900 kuzey koordinatları arasında 105 hektarlık bir alanı kapsamaktadır.

Açık işletme sahasının kuzeyinde dekapaj nihai sınırı, öncelikle geçirimsizlik perdesi ve daha kuzeydeki Orhaneli Çayı göz önüne alınarak belirlenmiştir. Açık işletmenin güneyinde ise, B_2O_3 tenörü %25'in altına düştüğü yerlerde rezervlerin alınması ekonomik olmadığından, nihai sınırı, belirleyici faktör olarak alınmıştır.

İşletme sahasının kuzeyinden, bu bölgenin en büyük akarsuyu ve M.Kemalpaşa Çayı'nın bir kolu olan Orhaneli Çayı geçmektedir. Orhaneli Çayı'nın kotu +60 civarındadır. Çayın kuzeyinde, ortalama +70 kotunda, oldukça geniş ve düz bir ekim alanı bulunmaktadır. Güneyindeki arazi ise oldukça engebeli bir yapı arz etmektedir. Burada en yüksek noktayı +302 kotundaki Sarıçam Tepesi meydana getirmektedir.

Açık işletme olarak çalışılan sahanın doğal topoğrafyasında en düşük kot +12, en yüksek kot ise +138'dir. İşletme sahası, stok sahası, cevher zenginleştirme tesisi ve idari bürolar arasındaki yollar stabilize olarak yapılmıştır.

Bölge, tipik "Marmara Bölgesi" iklimini içermektedir. Yazlar sıcak, kışlar ılımandır. Kış aylarındaki yağışlar, killi tabakalar nedeniyle iş makinelerinin çalışmasını engellemektedir. Bu bakımdan açık işletmede yıllık çalışma 7 ay olarak kabul edilmiştir.



Şekil 4.1: Eti-Bor Kestelek İşletmeleri Sahası Ulaşım Durumu

4.2. Genel Jeoloji

Eti-Bor Kestelek projesinden alınan; bölgenin neojen kesiti Şekil 4.2'de gösterilmiştir. İstifin kalınlığı takriben 800m civarındadır. Neojen yaşlı birimler tabandan tavana doğru, Taban Konglomerası, Kumtaşı, Marn, Linyitli Kil, Tüf, Kil, Bor cevher zonu, Kalker, Linyitli Kil, Marn şeklinde sıralanmaktadır. Sahanın kuzeybatı-güneydoğu yönünde uzanan Emet Çayı ile kuzeydoğu-güneybatı yönünde uzanan Orhaneli Çayı'nın vadileri 1km'lik şeritler halinde neojen araziye örten alüvyonlarla kaplıdır.

Boratl formasyon Kestelek Köyü'nün güneyinde mostra vermekte ve güney-güneybatıya doğru uzanmaktadır. Boratlı seviye genelde tavan, orta ve taban kat

cevheri olarak üç ana damar şeklinde ayrılabilir. Cevher damarları birbirinden kil, tuf, konglomera ve marn tabakaları ile ayrılmıştır. Cevher zonunun kalınlığı 0.05m-50m arasında değişmektedir.

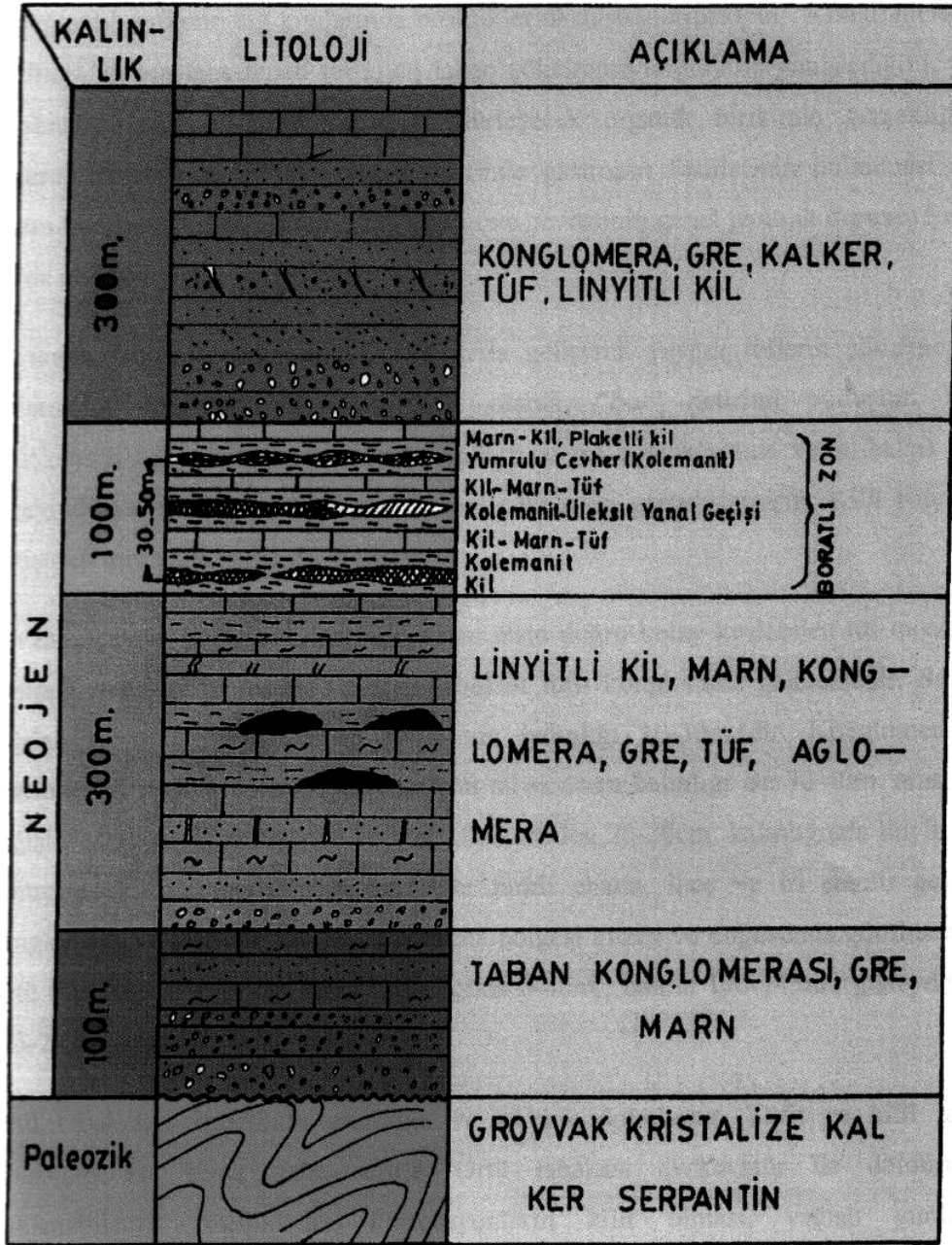
Bölge en son Alp tektoniğinin etkisiyle kıvrılmış ve kırılmıştır. Neojen katmanların doğrultu ve eğimleri değişken olmakla beraber, eğimler çoğunlukla 10°-20° arasında değişmektedir. Sık, ufak, tatlı kıvrımlar gözlenmektedir. Eksenleri genellikle büyük yönlüdür. Kocadere güneyinde yayvan kapalı bir çanak görünümü vardır. Bilinen borat yatakları bu çanağın kuzeybatı kenarındadır ve güneybatıya dalmaktadır.

Kuzeydoğu-güneybatı ve kuzeybatı-güneydoğu yönlerinde gelişen fay sistemleri çok gençtir ve büyük bölümü Pliokuaternlerden önce gelişmiştir. Ocağın batısında yapılmış sondajların cevher kesmemesi, yatağın faylanma nedeni ile daha derinlere atılmış olması ile açıklanabilir.

Borat yatakları karasal ortamda göl ortasında çökelmişlerdir. Ortamın jeolojik gelişimini çökellerin özelliklerinden çıkarabiliriz. Neojen tortullarının tabanında görülen konglomeraların çakılları yuvarlak ve değişik iriliktir. Yanal ve tavana doğru kumtaşlarına geçiş gösterirler ve süreksizlerdir. Bu özellikler kenarı sarp kapalı bir çukurluğun bulunduğu, seller sonucu hızla sürüklenen malzemenin birbiri ile bağlantılı göllerin sığ kıyılarında biriktiklerini düşündürmektedir. Konglomeralar üzerinde izlenen ince taneli tortullar, taban çökmesiyle göllerin genişlediğini, yer yer bataklıkların oluşarak ileride kömürleşecek organik birikimin gerçekliğini göstermektedir. Kömürlü seviyenin üzerinde gastropot fosillerinin bulunması sığ ortamı belirlemektedir, işletme bölgesinin ve çevresinin genel jeolojik durumu Şekil 4.3'de gösterilmiştir.

Bu arada, bölgede volkanik etkinlik hızla gelişerek yaygın tüflerin çökmesini sağlamıştır. Volkanik etkinliğe bağlı olarak, "bor" getirimi olmuştur. Bor değişkenliği tabandaki su ile doygun killi balçığın boşluklarında ve su-balçık ara yüzeyinde yeterli düzeye ulaştıkça "borat" çökmesi gerçekleşmiştir. Killi balçığın pekişmesi sırasında borat çökelmiştir.

Havzada cevher yatağının üzerinde, alttan üste doğru kolay kırılabilen tuf tabakalı, laminalı marn-kil'in üstüne dereceli tabakalı tüfit konglomera gelmektedir. Su ile dağılabilen orta sertlikteki bu litolojinin kalınlığı 10-30m'dir. Konglomeranın üzerinde gri renkte marn-kil bulunur. Bu tabakaların kalınlığı ise 30-40m arasında



Şekil 4.2: Kestelek Bölgesinin Neojen Kesiti

değişir. Marn ve kilin üstünde yer yer gözlenebilen 20-30cm kalınlığında linyitli ve gantropod katkılı marn gelir. En üstte farklı ebatta, ince ve iri çakıllı gevşek konglomera ve tüfit bulunur. Açık işletme bölgesi kuzey ve doğusunda görülmezler. Örtü tabakasının kalınlığı kuzey ve doğuda 0-40m; batıda 100-145m; güneyde ise 175-223m arasında değişmektedir.

Örtü tabakaları genellikle yumuşak ve gevşek dokuludur. Tüfit ve killi marn tabakaları ise biraz daha serttir. Örtü tabakası ekskavatör ile doldurulup yüklenebilecek özelliktedir. Formasyonların killi olması, yağışlı günlerde çalışılmasını imkansız hale getirmektedir.

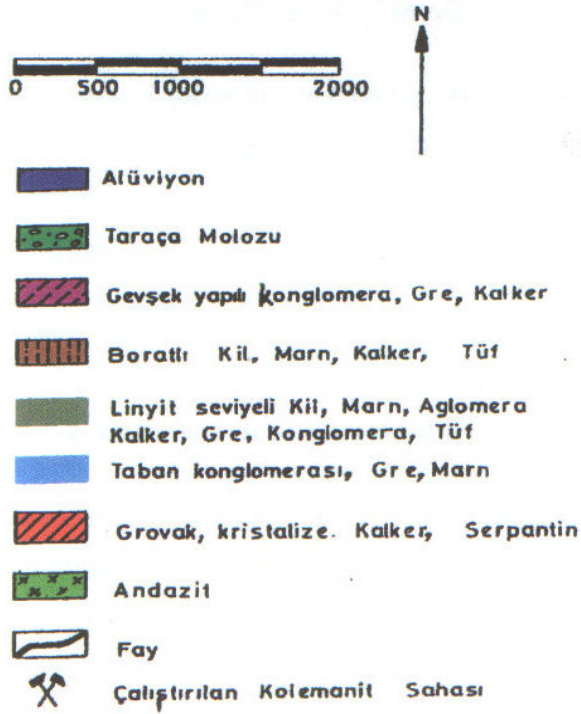
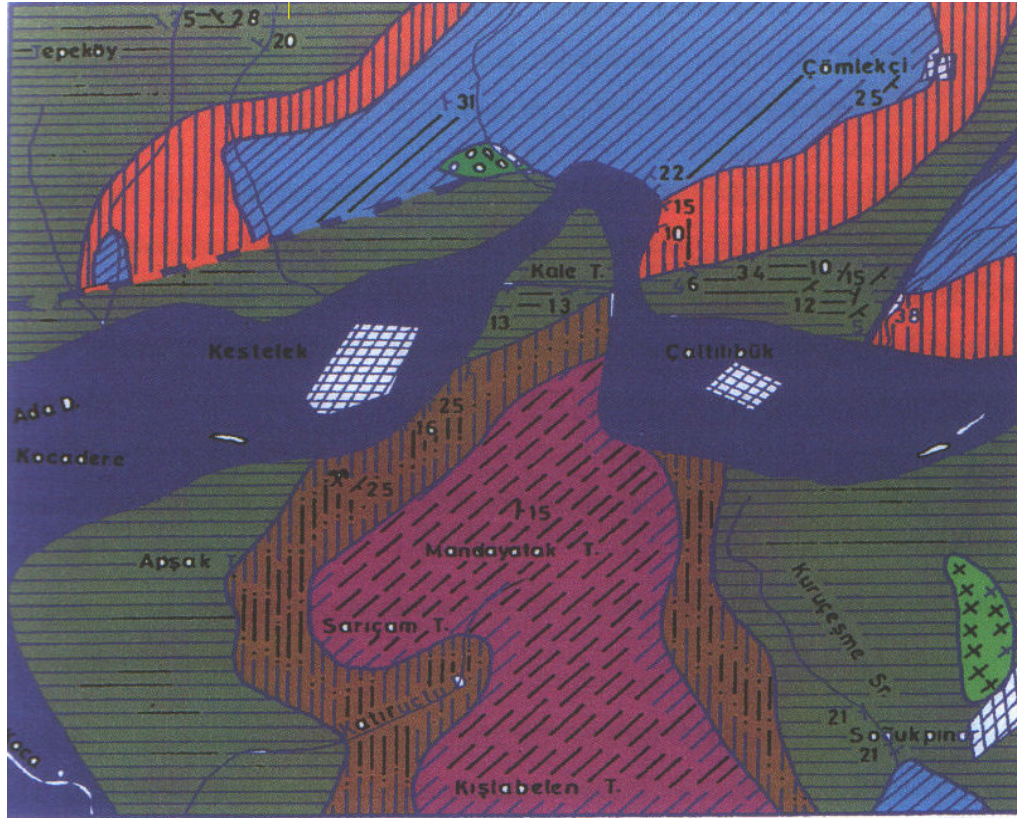
4.3. Mineraloji

Maden yatağı içinde borat mineralleri olarak, kolemanit, üleksit, probertit, hidroborasit gözlenmiştir. Kolemanit ana mineraldir. Daha az miktarda üleksit bulunmaktadır. Seyrek olarak da hidroborasit ve probertit izlenmektedir.

Kolemanit'in kimyasal formülü $2CaO.3B_2O_3.5H_2O$ ve yoğunluğu 2.42 ton/m^3 'tür. Kolemanit, merceksi bantlar biçimindedir. Bantların kalınlığı 1-2cm'den 8-10m'ye kadar ulaşabilir. Bant ve tabakalı yapıdaki kolemanit, 1mm'den 60cm'ye kadar değişen yumrular şeklinde, sütun ve kovuklu dokuda izlenmektedir. Çoğunlukla killi keşiklenmiştir ve yapıları çeşitlidir. Yumrulu cevherler, badem yapraklı ve patates boyutlarında olabilir. Yumrular kırıldığında görülen doku ışınsaldır. Sütunsal kolemanitler, kovuklu ve som olabilir. Sütunsal olanlarda koni koni içinde dokular gelişmiştir. Kovuklu yapıli kolemanitlerde, kristaller saydam, duru ve iridir. Kristaller bıçak ağzını andıran kenarları ile karakteristiktir. Işınsal, rozet dokulu kolemanitler de gözlenmiştir.

Üleksit'in kimyasal formülü $Na_2O.2CaO.5B_2O_3.16H_2O$ ve yoğunluğu 1.96 ton/m^3 'tür. Kolemanit tabakaları arasında, tabakalı ve merceksi yapıdadır. Pamuk yaprağı dokusunda, masif kil ve kil içinde dağınık bir yapı içinde izlenmektedir.

Probertit'in kimyasal formülü $CaO.3B_2O_3.7H_2O$ ve yoğunluğu 2.40 ton/m^3 'tür. Masif üleksit tabakası arasında merceksi yapıda, 2-60cm kalınlığında, beyaz renkte, kil ile karışık yapıdaki üleksit içinde ise siyah renkli olarak bulunmaktadır. İğnemsî kristalleri ile karakteristiktir.



Şekil 4.3: Kestelek İşletme Sahasının ve Çevresinin Jeolojik Yapısı

Hidroborasit'in kimyasal formülü $MgO.CaO.3B_2O_3.6H_2O$ ve yoğunluğu 2.17 ton/m^3 'tür. Masif üleksit tabakası içinde beyaz renkte bulunmaktadır. Sert ışınal iğne şeklindeki kristalleri en belirgin özelliğidir.

Kolemanit'in yoğunluğunun 2.42 ton/m^3 olmasına rağmen, boşluklu ve kovuklu yapıda olduğundan; üleksit yoğunluğu 1.96 ton/m^3 olmasına karşılık, birlikte karışık olarak bulunduğu kilin yoğunluğunun $2.1-2.3 \text{ ton/m}^3$ olması dolayısıyla, rezerv hesaplamalarında yoğunluk 2 ton/m^3 olarak kabul edilmiştir. Aşağıda, Kestelek bor sahasındaki cevher tipleri incelenmiştir.

Cevher Tipleri: Borat yatağında yer alan cevher seviyelerini, birbirlerine göre olan konumları ve yapı özellikleri göz önüne alınarak, alttan üste doğru üç gruba ayrılmıştır. Bunlar, taban cevheri, orta cevher ve tavan cevheri gruplarıdır. Gruplar değişik sayıda cevher seviyeleri içerebilmelerine rağmen, genel olarak ikişer cevher seviyesinden oluşmaktadır. Seviyeler alttan üste doğru birinci ve ikinci seviye olarak incelenmişlerdir. Cevher seviyeleri bazen loğlara göre kalınlığı 5 cm 'ye kadar inebilmektedir. Bir cevher seviyesi tek tip cevherden oluşabileceği gibi, aralarında yan kayaç olmaksızın üst üste dizilen birkaç tip (örneğin kristal-killi-patates) cevher bandından da oluşabilmektedir.

Genel olarak yataktaki cevherleşme tabaka, mercek ve yumru şeklindedir. Tabakalar bazen düzgün bantlar şeklindedir. Bazen de alt üst yüzeyleri düzgün olmayıp dalgalıdır ve incelik kalınlıkları. Tabakalar çoğu zaman killerle sıkılaşmaya ve kesikliliğe uğramışlardır. Killerle sık sık kesikliliğe uğradıkları kesimlerde merceğimsi bantlar halini almışlardır. Yumru şekilli cevher genel olarak irili ufaklı patatesler boyutunda olup küresel ve elipsoit şekilli yumrulara meydana gelmiştir. Yumrular yoğun bir şekilde yan yana dizilerek yumrulu cevher seviyelerini meydana getirmişlerdir. Yumruların araları kille doldurulmuştur. Kırıldıklarında merkezlerinde çoğu zaman su kapanımı içerdikleri görülmüştür. Yumru şekilli cevher, kristallerin bir merkezden dışa doğru ışınal büyümeleri ile oluşmuş olup, kil miktarının çok ve gölün çalkantılı olduğu dönemlerde su-balçık ara yüzeyinde meydana geldiği ve gelişimlerini borca doygun balçık içinde diyajenez sürecinde sürdürdükleri düşünülmektedir. Bazı yumruların tamamen $CaCO_3$ 'den oluştuğu da görülmüştür.

Cevher tipleri, yataktaki cevher tiplerine göre; kristal cevher, kalkerli cevher (kırmalık), killi cevher (yıkamalık) ve patates cevher (yıkamalık) olarak ayrılır. Kristal cevher masif kolemanitten oluşmaktadır. Kalkerli cevher kolemanit ve kireçtaşının grift bir yapıda olduğu cevherdir. İnce kolemanit bant ve merceklerinin kille sık tekrarladığı kesimler killi cevher olarak adlandırılmıştır. Patates cevher de yumru şekilli kolemaniti ifade etmektedir.

Taban Cevheri: Taban cevheri, en dar ve en düzensiz yayılıma sahip cevher grubudur. Kristal cevher, killi cevher ve patates cevherden oluşmakta olup kristal ve killi cevher daha çöktür.

Taban cevheri genel olarak iki seviyeden oluşmakta, bazen seviye sayısı beşe kadar çıkabilmektedir. Örneğin 78 numaralı sondajda kesilen beş seviyenin kalınlıkları 0.2 ile 2.5m arasında değişmektedir. Taban cevherinin birinci seviyesi ortalama 1.5m ikinci seviyesi de ortalama 2.5m arasında değişmektedir, ikinci seviye 76 numaralı sondajda yaklaşık olarak 16m kalınlığında olup, alttan üste doğru 6m killi cevher, 9m kristal cevher ve 1m killi cevherden oluşmaktadır. Yatakta sondajlarda kesilen en kalın masif cevher buradadır.

Orta Cevher: Orta cevher, en geniş yayılıma sahip cevher grubu olup diğer gruptakilere oranla biraz daha kalın olan iki seviyeden oluşur. Kristal, killi ve patates cevher tiplerini içerir. Kristal ve killi cevher patates cevhere oranla daha fazla bulunur. Birinci seviyesi ortalama 2.5m kalınlığındadır. Bu seviye 66 numaralı sondajda 12m'ye kadar çıkmaktadır. Burada kristal - killi patates - kristal cevher diziliminden oluşur. Bu seviyede en kalın cevher bandı sonuncu kristal cevher bandı olup 5.5m kalınlığındadır.

İkinci seviye ortalama 3m kalınlığındadır. İkinci seviye en kalın 1 numaralı sondajda kesilmiş olup 8.5m kalınlığında kristal – killi patates - az killi kristal cevher istiflenmesinden oluşmaktadır. Orta cevherin birinci ve ikinci seviyelerinde yer alan farklı tipteki cevher bantlarının her birinin ortalama kalınlıkları 2m civarındadır.

Tavan Cevheri: Tavan cevheri, taban cevherinden daha geniş, orta cevherden daha dar bir yayılıma sahiptir. Kristal ve killi cevher bantları da içermesine rağmen, çoğunlukla “patates cevher”den oluşur. Seviye sayısı en fazla üçe kadar çıkmakta olup, genel olarak iki seviyeden oluşur. Bu seviyelerin ortalama kalınlıktan yaklaşık

ikişer metre civarındadır. 1. seviye en kalın 57 numaralı sondajda kesilmiş olup, 6.70m kalınlığında patates cevherden oluşmuştur.

5. LERCHS-GROSSMANN ALGORİTMASI İLE ETİ-BOR KESTELEK AÇIK İŞLETMESİNİN NİHAİ SINIRININ BULUNMASI

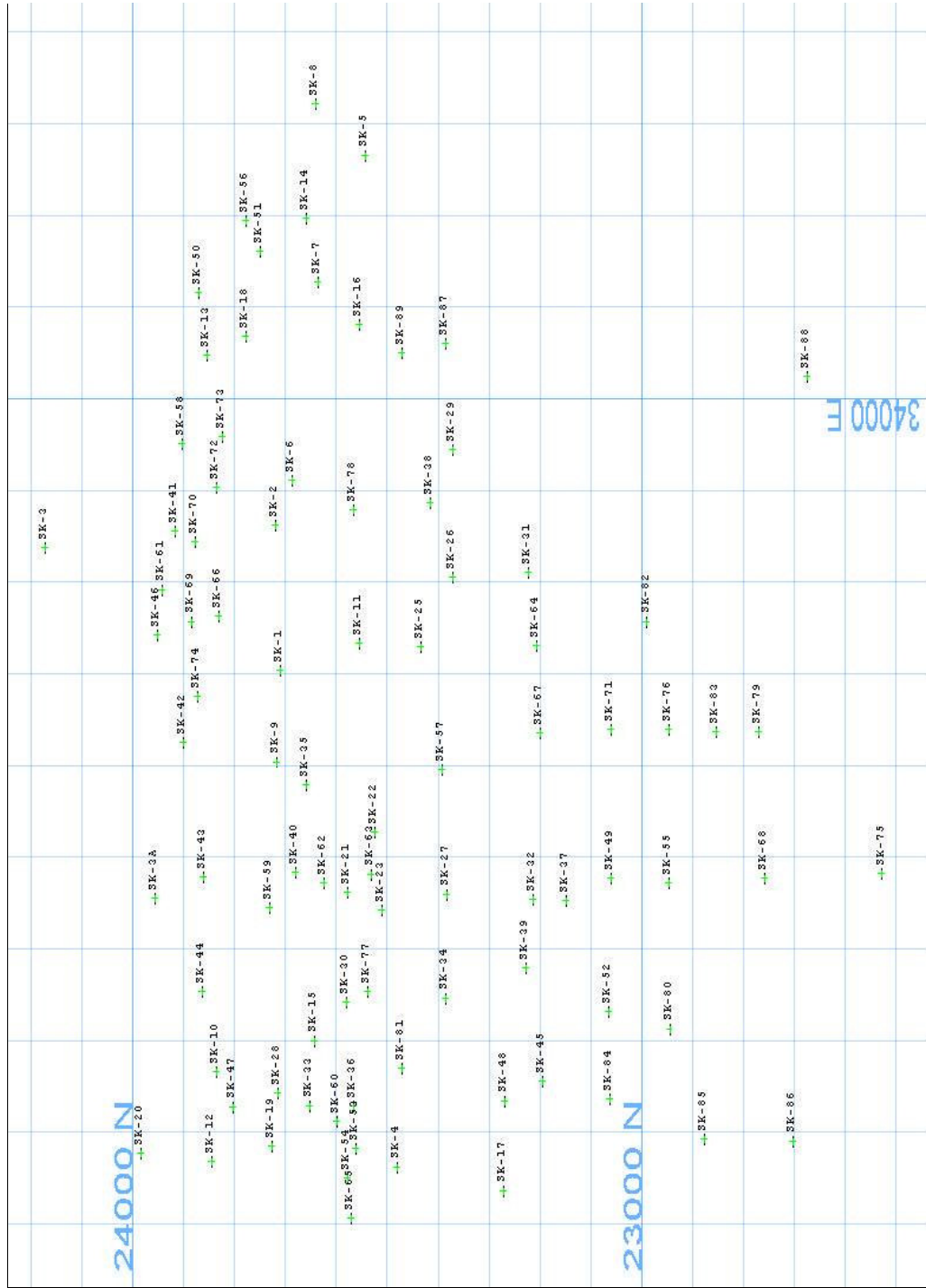
5.1. Veri Tabanının Oluşturulması

Eti-Bor A.Ş. açık işletmesinin değerlendirilmesinde, sondajlardan elde edilen topoğrafik, jeolojik veriler ve analiz değerlerini içeren veriler ile çalışılmıştır. Bu veriler Vulcan için uygun formata getirilerek veri girişi sağlanmıştır. Sondaj loglarından elde edilen veriler Tablo A.1’de sıralanmıştır. Bu logların B₂O₃ içeriğini gösteren ve hangi kotlarda hangi cevheri kestiğini gösteren analitik veriler ise Tablo A.2’de gösterilmiştir. Bu veriler Vulcan veritabanı oluşturma yöntemleriyle bir kez programa girilmiştir ve bundan sonraki bütün işlemler tekrar veri girişine gerek duyulmadan yapılmıştır. Şekil 5.1’de sondajların üstten görünümü yer almaktadır. Ayrıca Şekil 5.2’de rastgele seçilmiş olan 22, 35, 40 No’lu sondajların yakın planda görünümü yer almaktadır. Bu şekilde yer alan SK-40 sondajında sondaj kesen farklı cevher tabakaları görülmektedir. SK-35 sondajında cevher tabakalarındaki B₂O₃ içeriği değişimi yüzde olarak gösterilmektedir. SK-22 sondajında ise farklı jeolojik katmanlara girildiğinde sondajın kaç m’ye ulaştığı görülmektedir.

5.2. Maden Yatağının Modellenmesi

Cevher ve yüzey topoğrafyasının modellenmesi rezerv hesaplarının yapılmasında, blok model oluşturulmasında ve ocak tasarım aşamasında kullanılmasında önem taşır. Blok modelleme olarak bilinen yöntemde saha data sıklığına ve sahanın yapısına bağlı olarak belirlenen sınırlar içerisinde bloklara ayrılmaktadır. Bu çalışmada cevherin modellenmesi için üçgenleme (Triangulation) yöntemi kullanılmıştır. Daha sonra ise blok modelleme yapılırken bu üçgenlemelerden faydalanılmıştır. Cevherin modellenmesi istenildiği takdirde Grid Modelleme ile de yapılabilmektedir.

Şekil A.1’de verilerin girilmesiyle elde edilen topoğrafyanın ve sondajların görünümü yer almaktadır. Şekil A.2’de ise topoğrafya ve cevher yataklanmalarının durumu gözükmektedir. Görüldüğü gibi cevher derinlere doğru inmektedir.



Şekil 5.1: Sahada Yapılan Sondajların Üstten Görünümü



Şekil 5.2: Bazı Sondajların Yakın Planda Görünümü (SK-22, SK-35, SK-40)

Cevher modellemesi yapılırken her 100m’de bir kesit alınmıştır ve kesitlerin etki mesafesi her iki yanından 50’şer m. olarak ayarlanmıştır. Kesitlere etki eden sondajlar belirlenmiş ve bu sondajlar el ile uygun bir şekilde birleştirilerek cevher modellemesi yapılmıştır. Şekil A.3’de 23500N kesitindeki cevher durumu görülmektedir.

Modellenen cevher üzerinden rezerv hesabı kolaylıkla yapılabilir. Tablo 5.1’de Vulcan programı tarafından hesaplamaları yapılmış olan rezervler verilmektedir. Bu hesaplamalar yapılırken sadece üç ana damar üzerinde çalışılmıştır. Bunlar Tavan Cevheri (TV), Orta Cevher (ORT) ve Taban Cevheri (TB)’dir. Cevher yoğunluğu ortalama 2t/m³ alınmıştır.

Tablo 5.1. Rezerv Hesapları

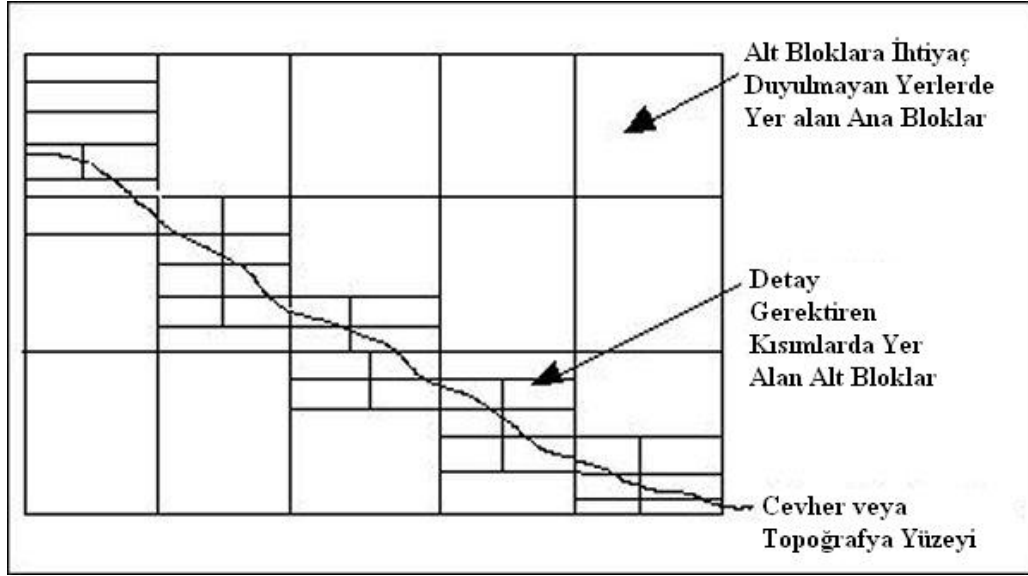
Cevher Tabakası	Nokta Sayısı	Üçgen Sayısı	Yüzey Alanı (m ²)	Hacim (m ³)	Rezerv (ton)
Tavan	98	192	1.086.447,659	1.290.921,198	2.581.842,397
Orta	130	256	1.672.733,785	2.261.319,047	4.522.638,095
Taban	70	136	1.265.810,897	1.342.981,307	2.685.962,613
Toplam	298	584	4.024.992,341	4.895.221,552	9.790.443,105

5.3. Blok Modelleme

Vulcan ile yapılan ocak modelleme işleminde blok model yöntemi kullanılmıştır. Blok modelleme yapılırken girilmesi gereken maksimum blok yükseklikleri, ocağta uygulanan basamak yüksekliği olan 10 m. alınmıştır. Blok boyutları ana bloklarda 16x16x10 m. olarak girilmiştir. Alt bloklarda ise 8x8x2 m. blok boyutlarının kullanılması uygun görülmüştür.

Cevher bölgeleri gibi hassas noktalarda verimli bir şekilde modelleme yapılabilmesi için minimum blok değerleri 4x4x0.5 m. olarak girilmiştir. Blok modelleme için gerekli değişkenler oluşturulmuş; topoğrafya ve cevher tabakaları sınırlayıcı parametreler olarak sisteme tanıtılmıştır. Oluşturulan blok model Şekil A.4’teki 23200N kesitinde gösterilmiştir. Bu şekilde de görüldüğü gibi hassasiyet gerektiren kısımlarda blok boyutları minimum değerlere düşmüştür. Şekil 5.3’de ana bloklar ve alt bloklar temsili olarak gösterilmektedir. Gerçeğe yakın sonuçlar elde etmek için mümkün olduğunca küçük blok değerleri alınmalıdır. Ancak ne kadar küçük blok değeriyle çalışılırsa o kadar fazla işlem zamanı gerektirir. Çünkü blokları hesaplamak

ve ekranda göstermek için gereken sistem gereksinimi artmaktadır. 23200N kesitindeki blok modelin yakın planda elde edilmiş görüntüsü Şekil A.5'te gösterilmektedir.



Şekil 5.3: Ana Bloklar Ve Alt Blokların Temsili Gösterimi

Sahada yer alan cevher tabakalarından sadece 3 ana damar seçilmiş (Tavan-1, Orta-1, Taban-1 Cevherleri) ve bunlar üzerinde çalışılmıştır. Bu damarların 3-boyutlu blok görünümü Şekil A.6'da görülmektedir. Diğer cevherler daha ince damarlı olduğu için blok modelleme yapılırken daha küçük blok değerleri almak gerekmekte ve bu yüzden de programda aksamalar meydana gelmektedir. Şekil A.7'de ana cevher damarlarının 23650N-23750N kesitleri arasındaki blok görünümü 3-boyutlu olarak yer almaktadır.

Blok modelleme oluşturulduktan sonra ve gerekli atama işlemleri yapıldıktan sonra istenilen blok seçilerek hakkında elde edilmesi sağlanabilir. Tablo 5.2'de rastgele seçilen bir cevher bloğunun ve Şekil 5.3'de bir yan kayaç bloğunun özellikleri görülmektedir. Bu tablolarda, seçilen bloğun özellikleri olarak sırayla; merkez noktasının koordinatları (centroid), blok boyutları, blok hacmi, blok numarası, cevher veya yan kayaç içeriği, bloğun net değeri ve %B₂O₃ içeriği yer almaktadır.

Blok modelleme yapıldıktan sonra her bir bloğun B₂O₃ değeri ters mesafe (Inverse Distance) yöntemi ile bulunmuştur. Tablo 5.2'de verilen örneğin B₂O₃ değeri %38,39 olarak gözükmektedir. Şekil 5.3'de yer alan yan kayacın B₂O₃ içeriği ise -99(%) gözükmektedir. Bunun nedeni veri girişi yapılırken yan kayaç bulunan kısımların

B₂O₃ değerinin -99 olarak girilmesidir. Ters mesafe yöntemi ile blokların B₂O₃ değeri Vulcan tarafından hesaplanırken, bu -99 olan değerlere “yoksay” komutu verilerek hesaba katılmayacaktır. Böylece yan kayaçların 0 (sıfır) olan B₂O₃ değerleri hesaba katılmayacak ve gerçeğe yakın bir istatistiksel tahmin yapılmış olacaktır.

Ters mesafe yönteminde bir noktanın cevher içeriği o noktaya etki eden noktanın uzaklığının karesi ile ters orantılıdır. Diğer bir deyişle baz alınan noktadan uzaklaştıkça, bu noktanın etkisi azalmaktadır.

Tablo 5.2. Blok Modellemede Örnek Bir Cevher Bloğunun Özellikleri

Blok Merkezi (x,y,z)	33441,914	23705,784	—5,337
Kenar Uzunlukları (m)	8,0	8,0	1,5
Hacim (m³)	96,0		
Blok No	591609		
Tabaka (Damar)	Orta		
Net Değer (\$)	19200		
B₂O₃ (%)	38,39		

Tablo 5.3. Blok Modellemede Örnek Bir Yan Kayaç Bloğunun Özellikleri

Blok Merkezi (x,y,z)	33452,00	23200,00	—35,00
Kenar Uzunlukları (m)	16,0	16,0	10,0
Hacim (m³)	2560,0		
Blok No	385391		
Tabaka (Damar)	Yan Kayaç		
Net Değer (\$)	—2560		
B₂O₃ (%)	—99,00		

5.4. Lerchs-Grossmann Algoritmasının Kullanılması

Vulcan programında Lerchs-Grossman algoritması ile açık ocak nihai sınırları belirlenmiştir. Öncelikle blok net değerlerinin bilinmesi gereklidir. Blok net değerlerini belirlemek için sadece formül girmek yeterlidir. Geri kalan net değer hesaplama işlemleri program tarafından, girilen formüle uygun olarak yapılır. Cevher yoğunluğu ortalama olarak $2t/m^3$ alınmıştır ve cevherin ton başına getirisinin 100\$ olduğu varsayılır. Örneğin cevherdeki herhangi bir blok için gerekli hesaplama:

$$\text{Blok Net Değeri} = (\text{Hacim}) \times (2t/m^3) \times (100\$/t)$$

olur. Buradaki hacim değişkeni program tarafından bloğun boyutlarına göre otomatik olarak girilir ve hesaplamalar yapılır. Her bloğun kendi değeri böylece kaydedilmiş olur. Dekapaj maliyeti için de m^3 başına 1 \$ maliyet olduğunu düşünürsek:

$$\text{Dekapaj Maliyeti} = (\text{Hacim}) \times (-1\$/m^3)$$

olur. Burada yine hacim değişkeni program tarafından bloğun boyutlarına göre girilir ve hesaplanır. Sonrasında algoritmanın uygulanabilmesi için gerekli olan değişkenler programa girilir. Sonuçlar için ayrı bir değişken oluşturulur. Bu değişkene program tarafından tüm sonuçlar kaydedilir. Lerchs-Grossmann Algoritmasının Vulcan ile kullanılması ile oluşan sonuç raporu Tablo A.3'de gösterilmektedir. Algoritma tarafından hazırlanan bu sonuçlarla ocak sınırları ve basamakları çizdirilebilir. Şekil A.8'de ocak sınırlarının üstten görünümü bulunmaktadır. Blok boyutlarına uygun olarak çizilmiş olan bu şekil daha yumuşak hatlarla çizilirse Şekil A.9 oluşur.

Ocağın kuzeyinde bulunan Orhaneli Çayı şev kaymalarına neden olduğu için genel eğim açısı kuzey bölgesinde daha azdır (18°). Diğer bölgelerde ise genel eğim açısı 32° olarak alınmıştır. Ocak sınırları belirlendiğinde çizilecek olan ocak taslağı, bu eğim açılarını kullanır. Elde edilen ocak taslağının yüzey kaplaması işlemi sonucu oluşan görüntüsü ve alınması gereken cevher tabakaları Şekil A.10'da gösterilmektedir.

Lerchs-Grossmann algoritmasının hesaplarına göre cevherin tonu ortalama 100\$ olduğunda ocak nihai sınırları -100 kotunda son bulmaktadır. Şekil A.11'de görüldüğü üzere taban cevherinin en alt kısmına kadar ocak sınırları inmektedir. Ancak cevherin tamamı alınmamaktadır. Bu koşullarda ocağın ekonomik değeri yaklaşık 700 milyon \$ olarak bulunmuştur (Tablo A.3).

Cevher fiyatlarının değişmesiyle bir ton cevherin değerinin daha düşük olduğunu düşünürsek; örneğin 40\$/ton olduğu varsayılırsa ocak sınırları daha dar olmaktadır. Şekil A.12’de ton başına 40\$ olan cevher fiyatlarına göre yapılan nihai ocak görünümü yer almaktadır. Şekil A.13’te bu ocağın 3-Boyutlu görünümü yer almaktadır. Tablo A.4’te Lerchs-Grossmann algoritmasının 40\$/ton cevher değeriyle elde edilmiş analiz raporu gösterilmiştir. Bu tablodan da görüldüğü gibi ocağın ekonomik değeri yaklaşık 164 milyon dolara düşmektedir.

Lerchs-Grossmann algoritması ile elde edilen nihai ocak mevcut topoğrafya ile birleştirilmiştir. Bu nihai durum Şekil A.14’te üstten ve Şekil A.15’te izometrik olarak görülmektedir.

5.5. Nihai Sınırlara Ulaştığında Dekapaj ve Cevher Miktarları

Lerchs-Grossmann algoritmasıyla oluşturulan ocak sınırları ve şekli dikkate alınırca ocak nihai sınırlara ulaştığında toplam kaç m³ dekapaj atımı yapıldığı ve kaç ton cevher elde edildiği hesaplanabilir. Bu hesaplamaların sonuçları Tablo 5.4’te ve Tablo 5.5’te görülmektedir.

Tablo 5.4. Üretim Sonunda Dekapaj ve Cevher Miktarları (100\$/ton Cevher İçin)

Tabaka	Hacim (m ³)	Tonaj (ton)
Tavan Cevheri (Çıkarılan)	1.288.870,83	2.577.741,66
Orta Cevher (Çıkarılan)	2.112.481,51	4.224.963,02
Taban Cevheri (Çıkarılan)	1.309.178,23	2.618.356,46
Dekapaj	242.833.500,00	-
Toplam Cevher	-	9.421.061,15

Tablo 5.5. Üretim Sonunda Dekapaj ve Cevher Miktarları (40\$/ton Cevher İçin)

Tabaka	Hacim (m ³)	Tonaj (ton)
Tavan Cevheri (Çıkarılan)	1.279.364,22	2.558.728,45
Orta Cevher (Çıkarılan)	1.890.368,12	3.780.736,25
Taban Cevheri (Çıkarılan)	1.213.580,29	2.427.160,57
Dekapaj	186.665.010,00	-
Toplam Cevher	-	8.766.625,28

Tablo 5.4'te görüldüğü gibi cevher fiyatı 100\$/ton olduğunda dekapaj miktarı 242.833.500 m³ olmakta ve çıkarılan cevher de 9.421.061 ton olmaktadır. Bu verilerden faydalanarak Genel Dekapaj Oranı (Overall Stripping Ratio) hesaplanabilir.

$$\text{Genel Dekapaj Oranı (OSR)} = \frac{\text{Dekapaj Hacmi(m}^3\text{)}}{\text{Cevher(ton)}} = \frac{242.833.500}{9.421.061} = 25,78 : 1$$

Cevher fiyatı 40\$/ton olarak alındığında ocağın nihai sınırları nispeten küçüleceği için çıkarılan cevher ve dekapaj miktarları değişmektedir. Tablo 5.5'te de görüldüğü gibi 186.665.010 m³ dekapaj hacmi ve 8.766.625 ton cevher miktarı hesaplanmıştır. Bu verilerle elde edilecek olan Genel Dekapaj Oranı (Overall Stripping Ratio) aşağıda gösterilmiştir.

$$\text{Genel Dekapaj Oranı (OSR)} = \frac{\text{Dekapaj Hacmi(m}^3\text{)}}{\text{Cevher(ton)}} = \frac{186.665.010}{8.766.625} = 21,29 : 1$$

Görüldüğü üzere ocağın genel dekapaj oranları 100\$/ton cevher fiyatı için yaklaşık 25,8:1 ve 40\$/ton cevher fiyatı için yaklaşık 21,3:1 olarak bulunmuştur. Bu dekapaj oranlarının maden yatağında bulunan 3 ana damar için hesaplandığı unutulmamalıdır. Bu 3 ana damar dışında, ocağı ekonomik yönden güçlendirecek ve dekapaj oranlarını değiştirecek ince cevher damarları da bulunmaktadır.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada açık işletme nihai sınırlarının tespit edilmesinin neden önemli olduğu ve tespit edildiği zaman ne gibi faydalar sağlayabileceği anlatılmıştır. Açık işletme nihai sınırlarını tespit etmek için günümüzde kullanılan yöntemler açıklanmıştır. Özellikle Lerchs-Grossmann algoritmasının detaylı olarak incelenmesi ve uygulamaya dönük olarak örnek bir saha üzerinde teorisinin uygulanması hedef alınmıştır. Bu amaçla Eti-Bor A.Ş. Kestelek açık işletme sahası, cevherleşme eğiminin uygun olmasından dolayı seçilmiştir. Bu işletmenin nihai açık işletme sınırlarını bulmak için Lerchs-Grossmann modülü içeren ve bir madencilik yazılımı olan Vulcan V.6.0 programından uygulama kısmında faydalanılmıştır.

Sonuç olarak Eti-Bor Kestelek açık işletme sahasının nihai sınırları belirlenmiş ve kıyaslama yapabilmek amacıyla cevherlere farklı blok değerleri verilerek konunun daha iyi anlaşılması sağlanmıştır. Yapılan hesaplamalardan ortalama 100\$/ton cevher değeri ile çalışan ocağın -100 kotuna kadar optimum olarak işletilebileceği sonucu çıkmıştır. -100 kotundaki optimum açık ocağın ekonomik değeri yaklaşık 700 milyon dolar olarak hesaplanmıştır. Bu derinliğe kadar inebilecek bir açık işletmenin zarar etmeyeceği kanaatine varılmıştır. Cevher değeri ortalama 40\$ seviyesine düştüğünde bile açık ocak nihai sınırları yine -100 kotunda kalmakta ancak ocak tabanının genişliği ve buna bağlı olarak da ocağın genişliği yaklaşık 50m daralmaktadır. Yani bu ocak genişliğinden ve derinliğinden sonra işletmenin artık nihai ekonomik sınıra ulaştığı ve bu aşamada yapılması gerekenin yeraltı üretim yöntemlerinin araştırılması olacağı görülmüştür.

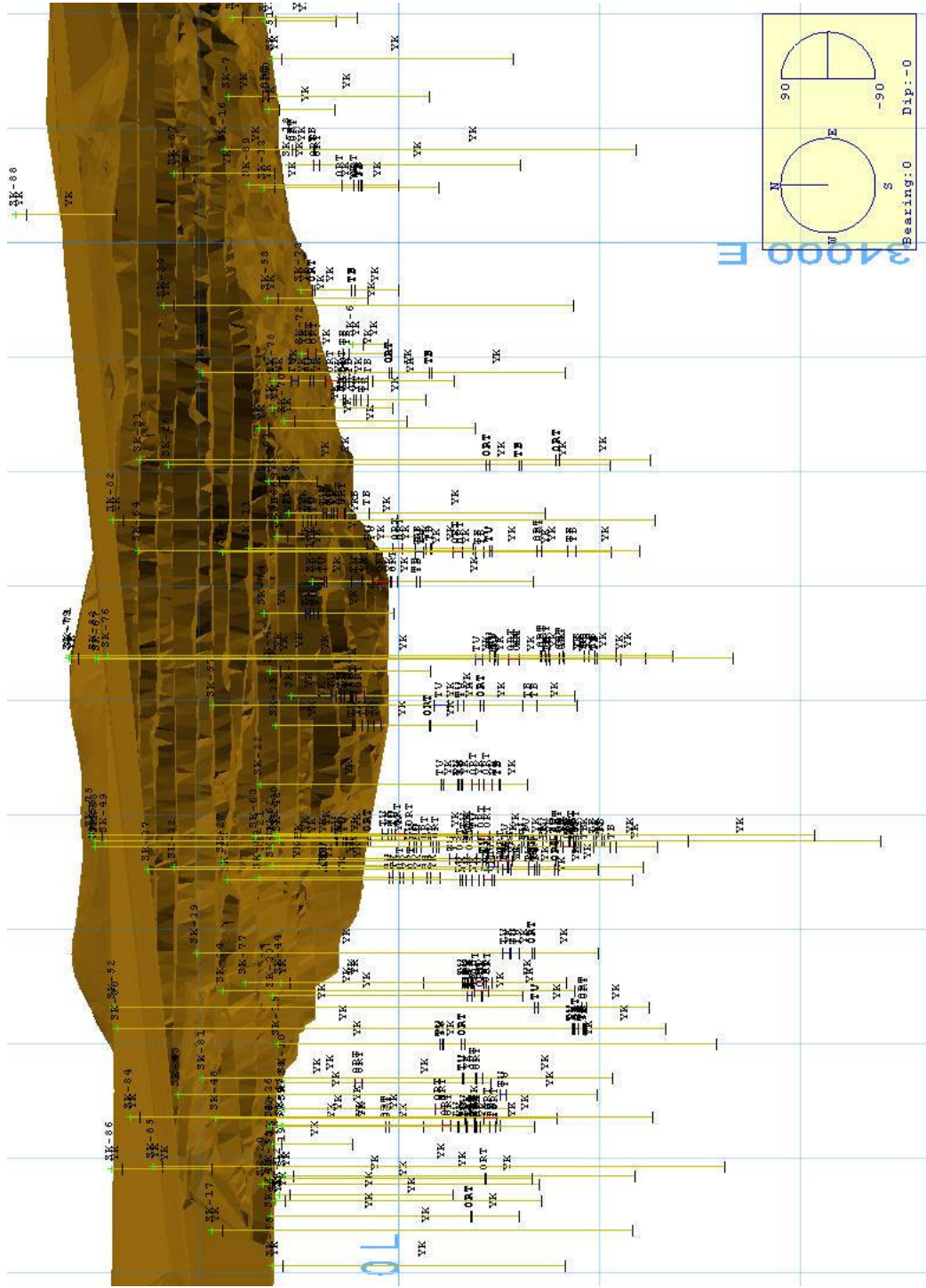
Günümüzde madencilik programlarının kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır. İlk yatırım maliyeti yüksek olan madencilikte, ileride nelerle karşılaşılabilceğinin bilinmesi kritik önem taşımaktadır. Bu çalışmada Vulcan programı ile Lerchs-Grossmann algoritmasının ortak kullanılması sonucunda, açık işletme ekonomik nihai sınırının optimum olarak nasıl bulunabileceği ve açık işletmenin sonunda maden sahasının alacağı geometrik şekil uygulamalı olarak gösterilmiştir.

KAYNAKLAR

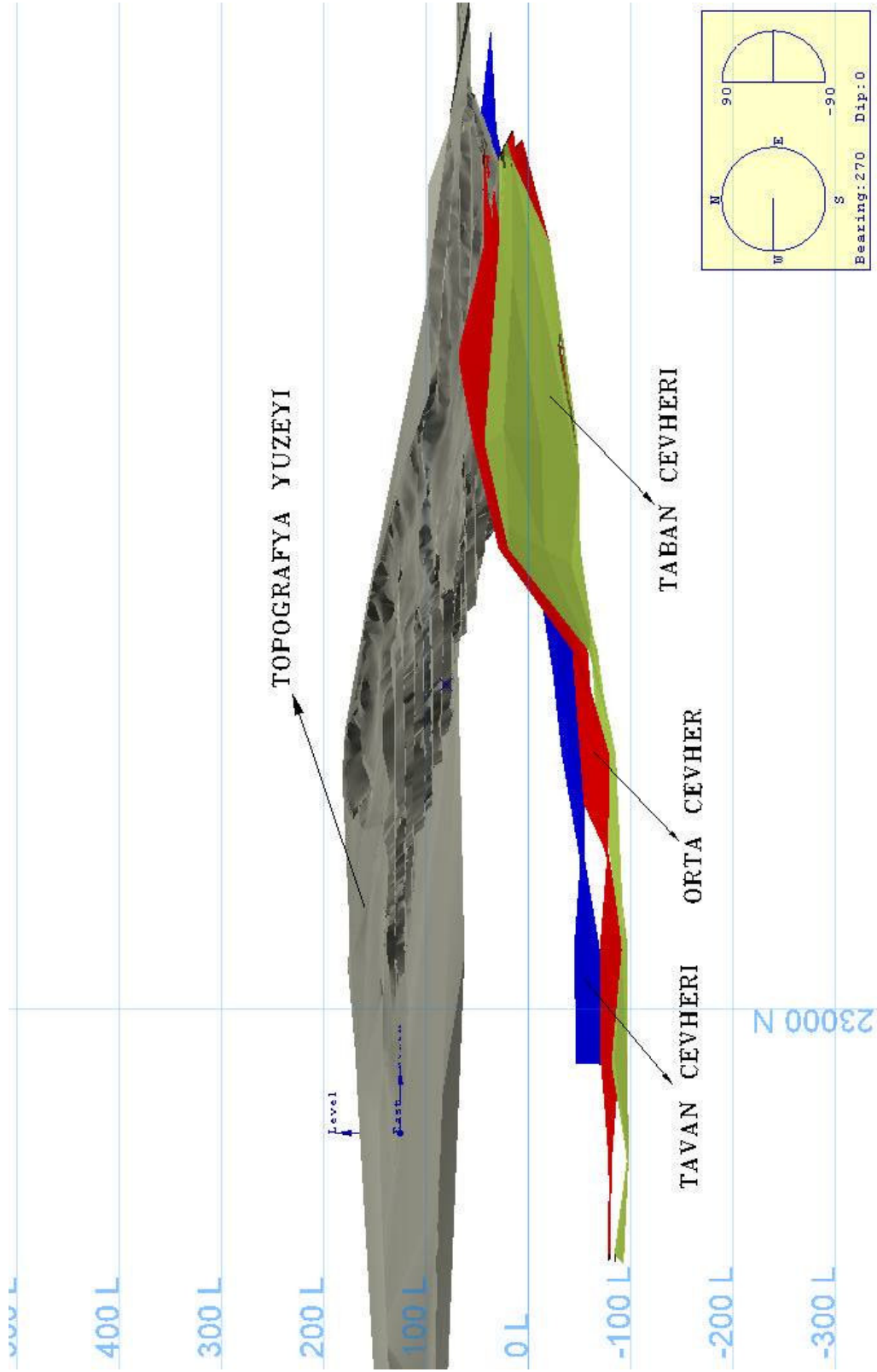
- Achireko, P.K.**, 1998. Application of Modified Conditional Simulation and Artificial Neural Networks to Open Pit Optimization, Dalhousie University Daltech, Nova Scotia.
- Barnes, R.J. and Johnson, T.B.**, 1988. Application of the max flow algorithm to ultimate pit design, in Engineering Design Better Results Through Operations Research Methods, pp. 518-531, Eds. Levary, R.R., Publications in Operations Research Series, New York.
- Dowd, P.A.**, 1994. Open Pit Optimization: Optimal Open Pit Design, Sect.A: Min. Industry, Trans. Instn. Min. Metall, 102, 573-583
- Huang, S.**, 1993. Computer based optimization of open pit mining sequences, Sect.A: Min. Industry, Trans. Instn. Min. Metall, May-August 125-132.
- Hustrulid, W. and Kuchta, M.**, 1995. Open Pit Mine Planning & Design Volume1, A.A. Balkema, Rotterdam.
- Huttagosol, P.**, Cameron, R.E., 1989. Modified-Tree Graph Algorithms for Ultimate Pit Limit Analysis. Society Of Mining Engineers, 24,
- Kim, Y.C.**, 1979. Open Pit Analysis - A technical Overview, in Computer Methods for The 80's In The Mineral Industry, pp. 297-303. SME/AIME, New York.
- Koenigsberg, E.**, 1982. The optimum contours of an open pit mine: An application of dynamic programming, The 17th Application Of Computers and Operations Research in the Mineral Industry Symposium, USA, 274-287.
- Lerchs, H. and Grossmann, I.F.**, 1965. Optimum design of open pit mines, CIM Bulletin, 58, 47-54.

- Selimoğlu, Ö.**, 2004. Bilgisayar Destekli Entegre Açık İşletme Tasarımı ve Planlaması, *Yüksek Lisans Tezi*, İTÜ.
- Wright, E.A.**, 1987. The Use of Dynamic Programming for pen Pit Mine Design: Some Practical Implications. *Mining Science and Technology*, 97-104.
- Wright, E.A.**, 1989. Dynamic Programming in Open Pit Mining Sequence Planning, A case study. *APCOM*, 21.

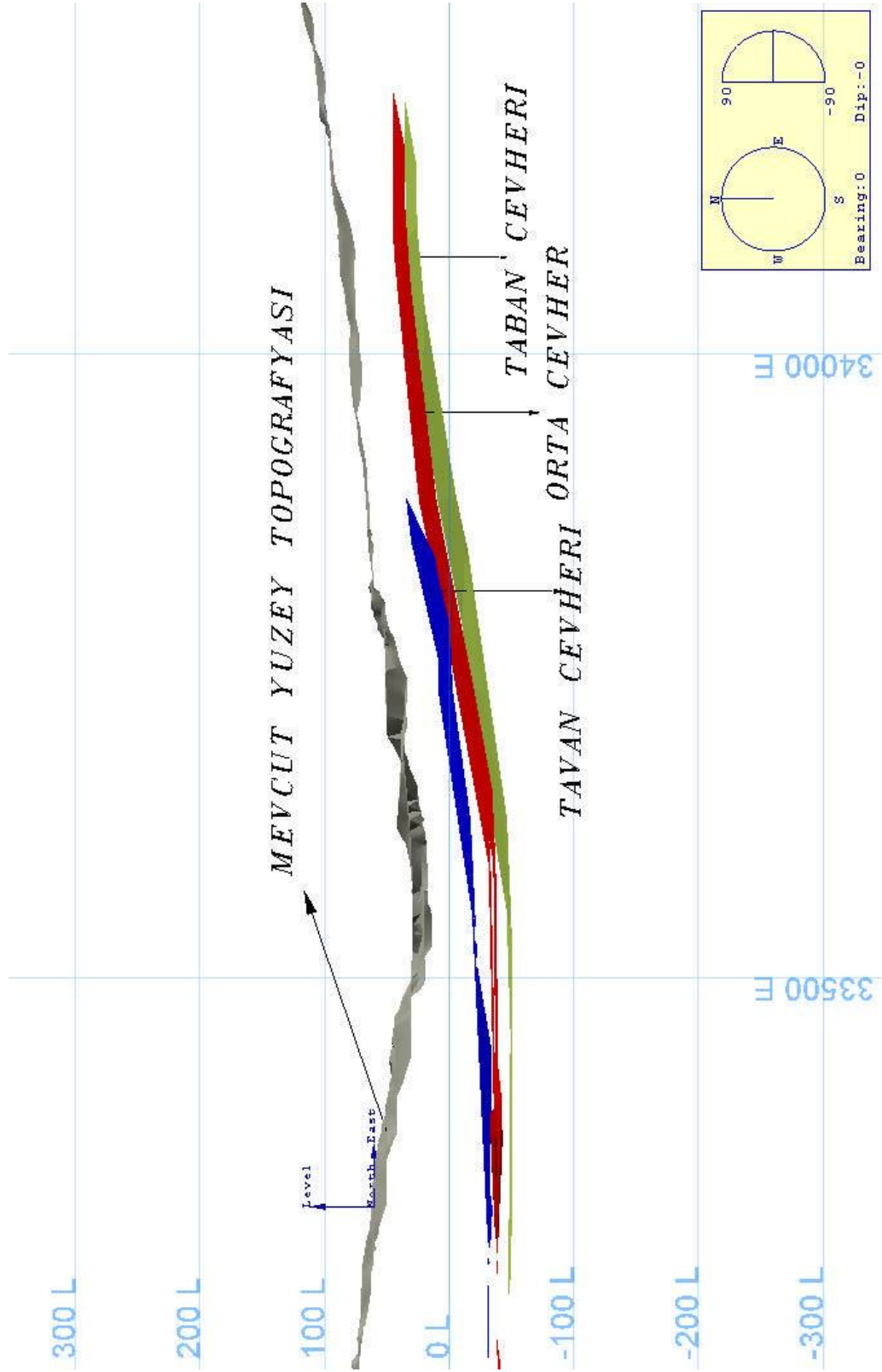
EKLER



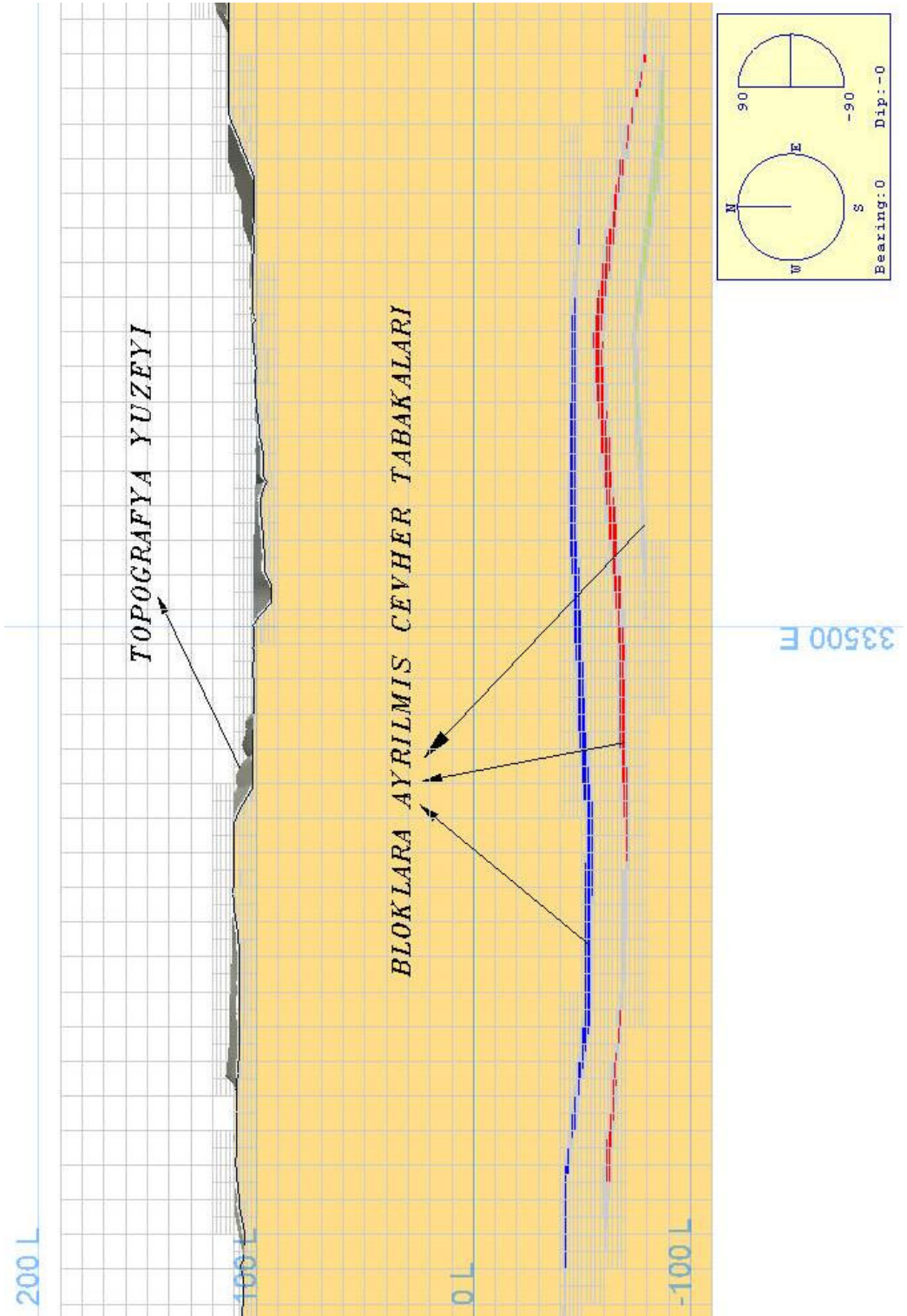
Şekil A.1: Topğrafyanın Mevcut Durumu ve Yapılmış Olan Sondajlar



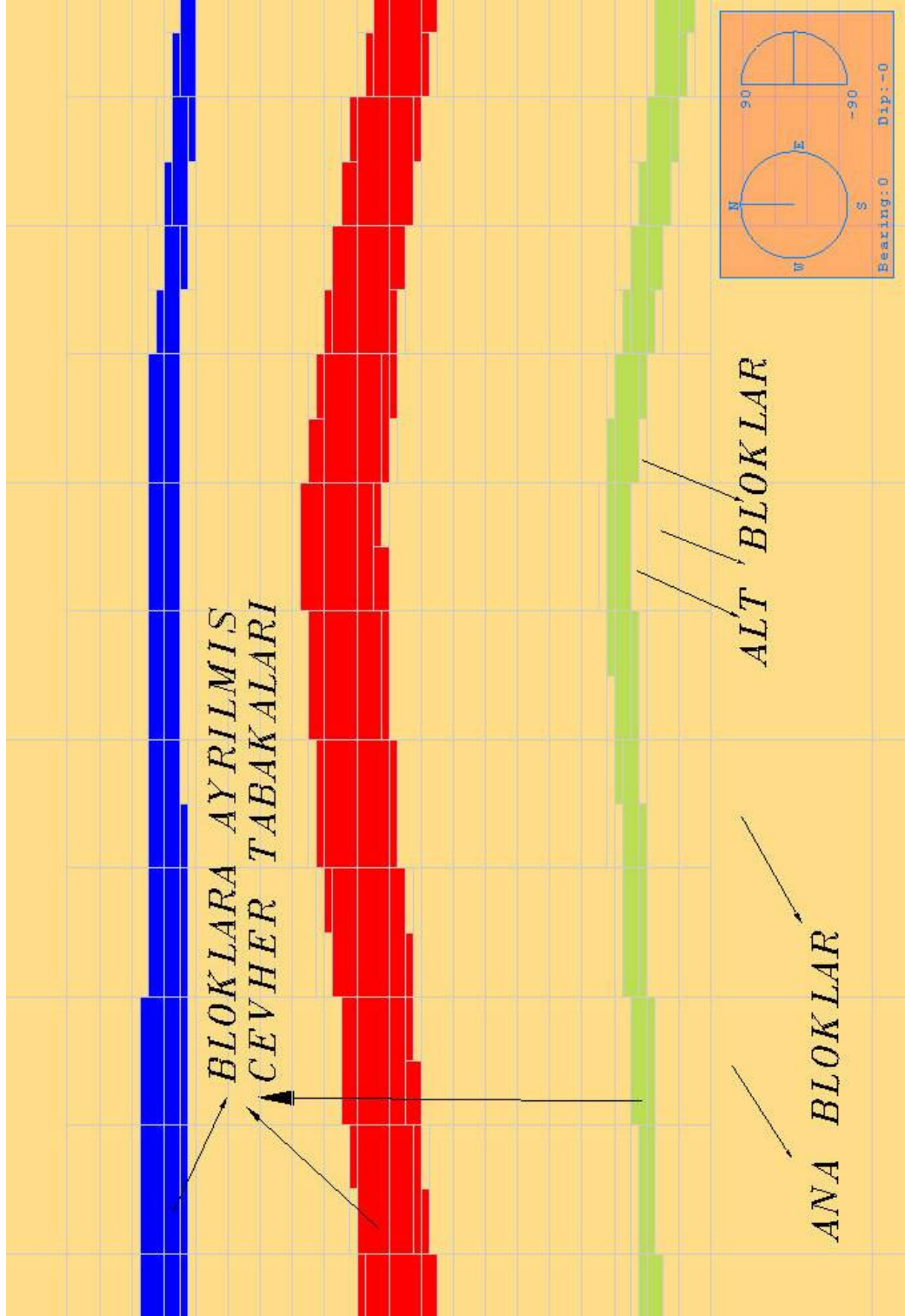
Şekil A.2: Topoğrafya ve Cevher Yataklanmalarının Durumu



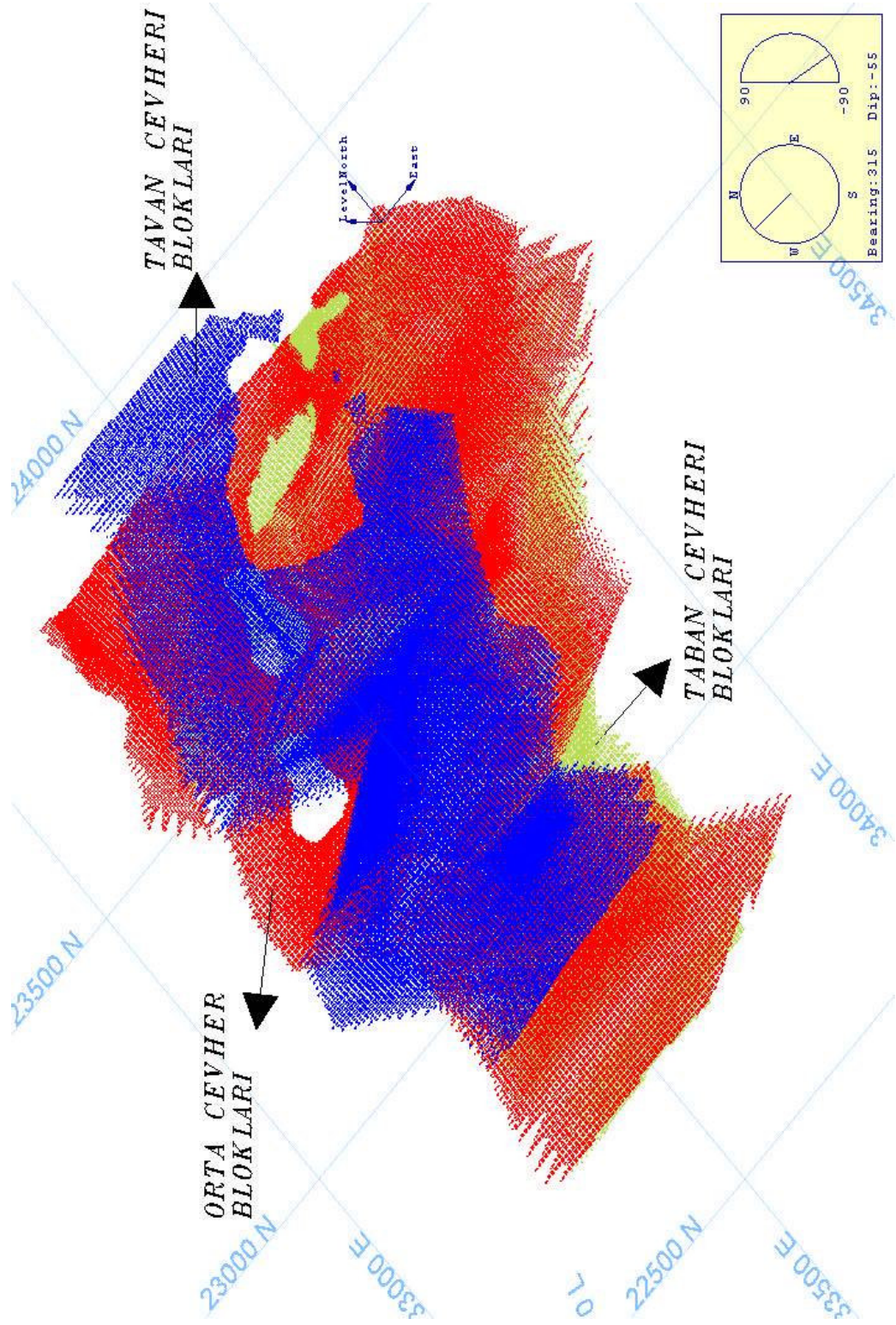
Şekil A.3: 23500N Kesitinde Topoğrafya ve Cevher Katmanlarının Görünümü



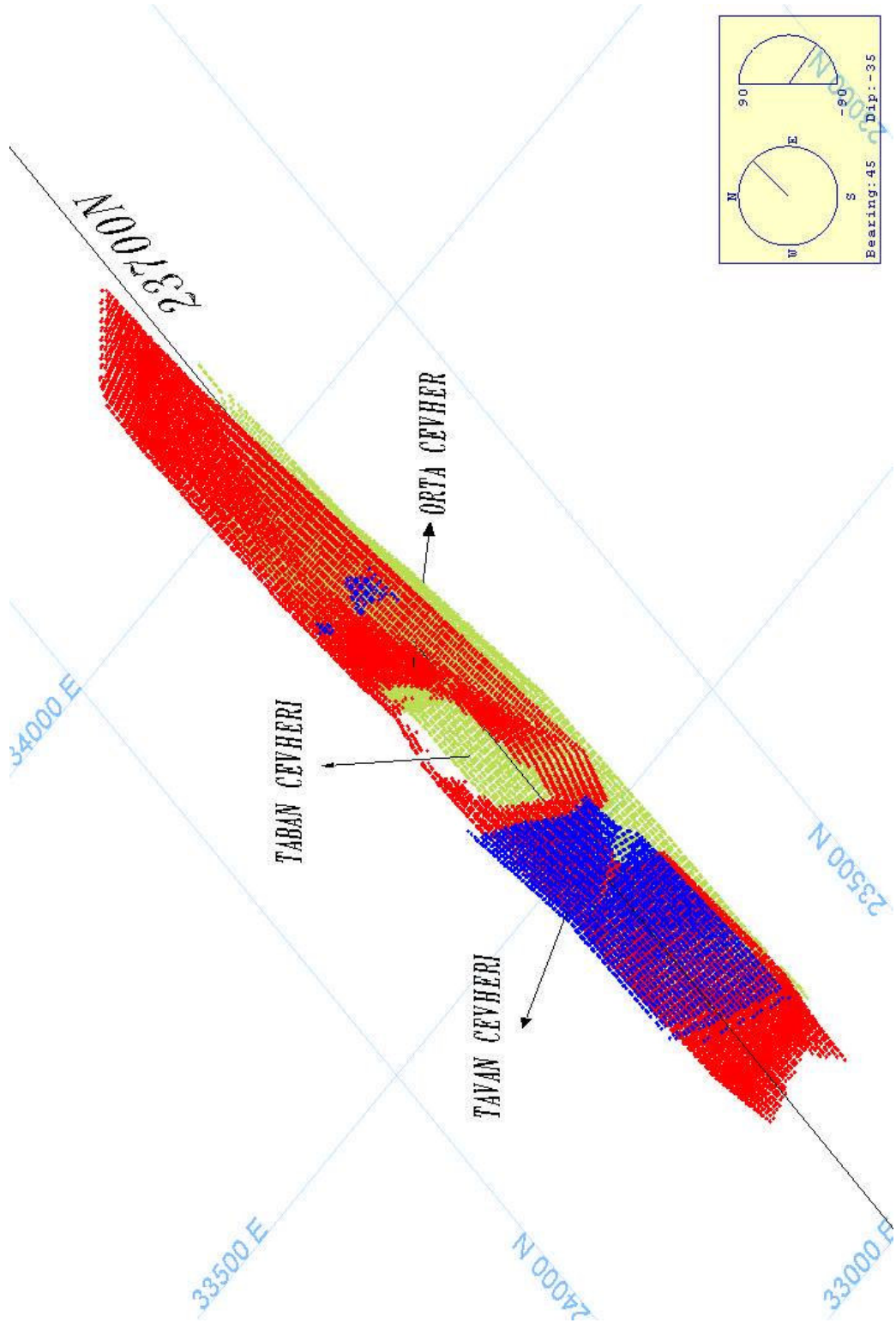
Şekil A.4: 23200N Kesitinde Blok Model Gösterimi



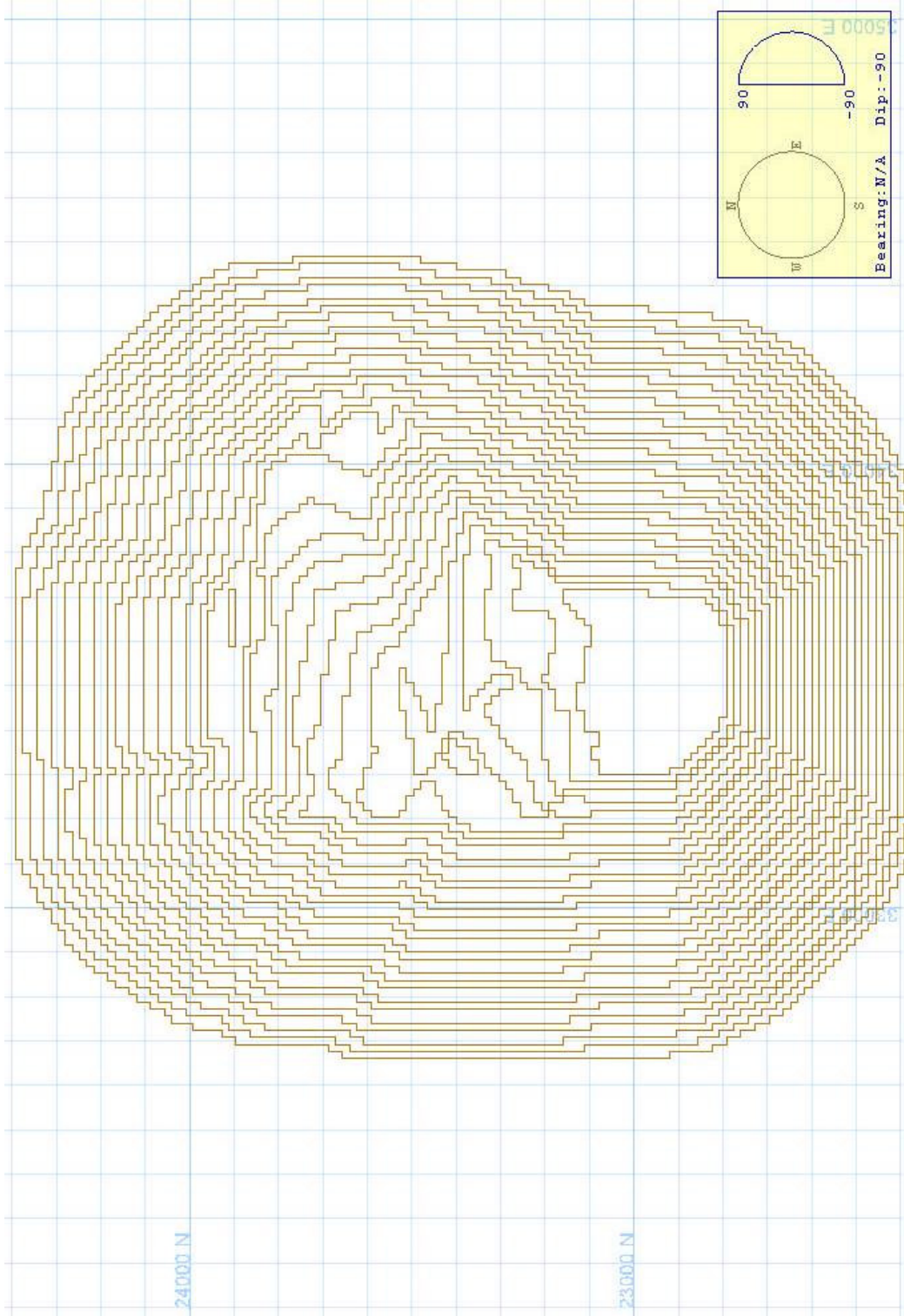
Şekil A.5: 23200N Kesitinde Blokların Yakından Görünümü



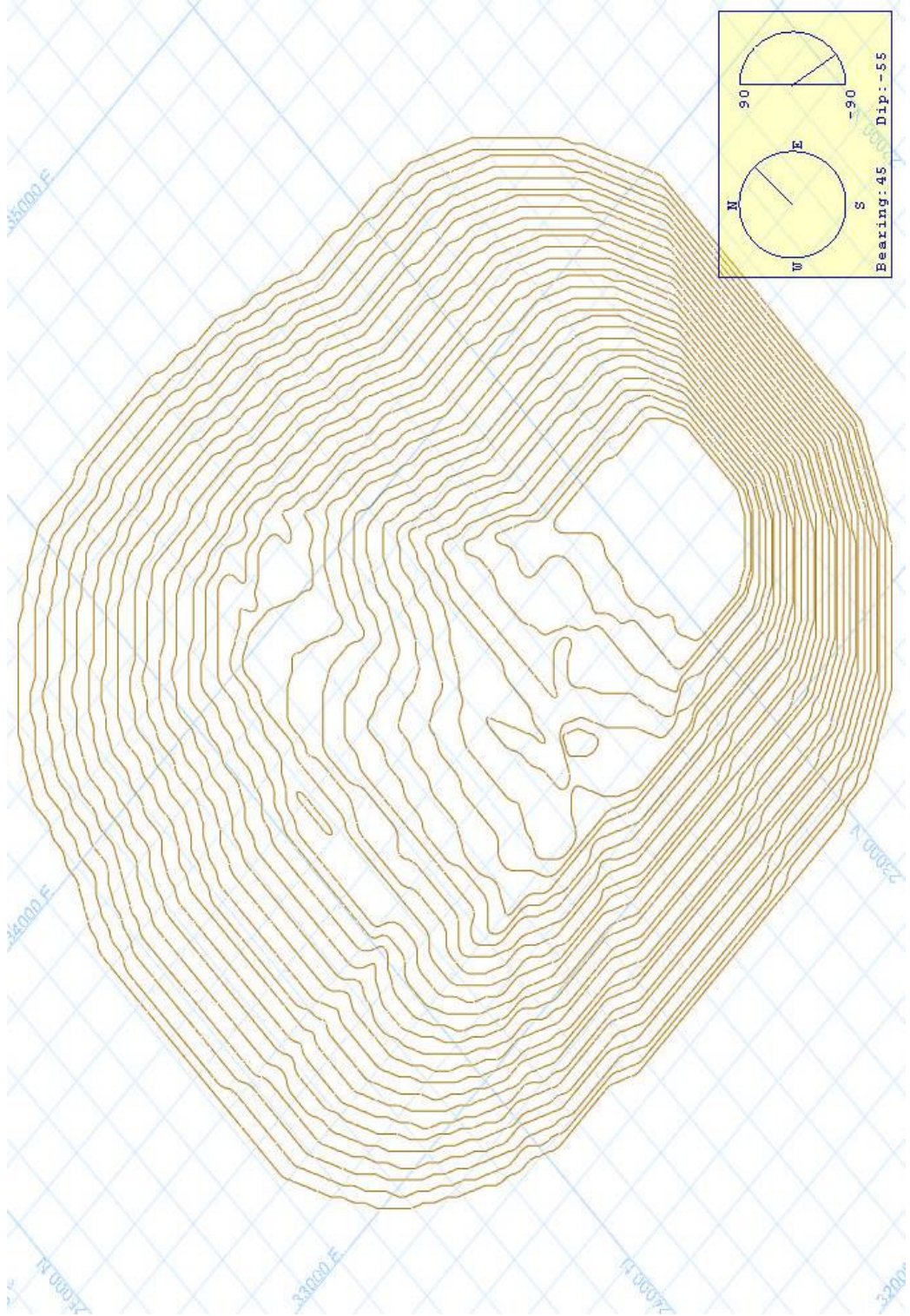
Şekil A.6: Üç Ana Damarın 3-Boyutlu Blok Görünümü



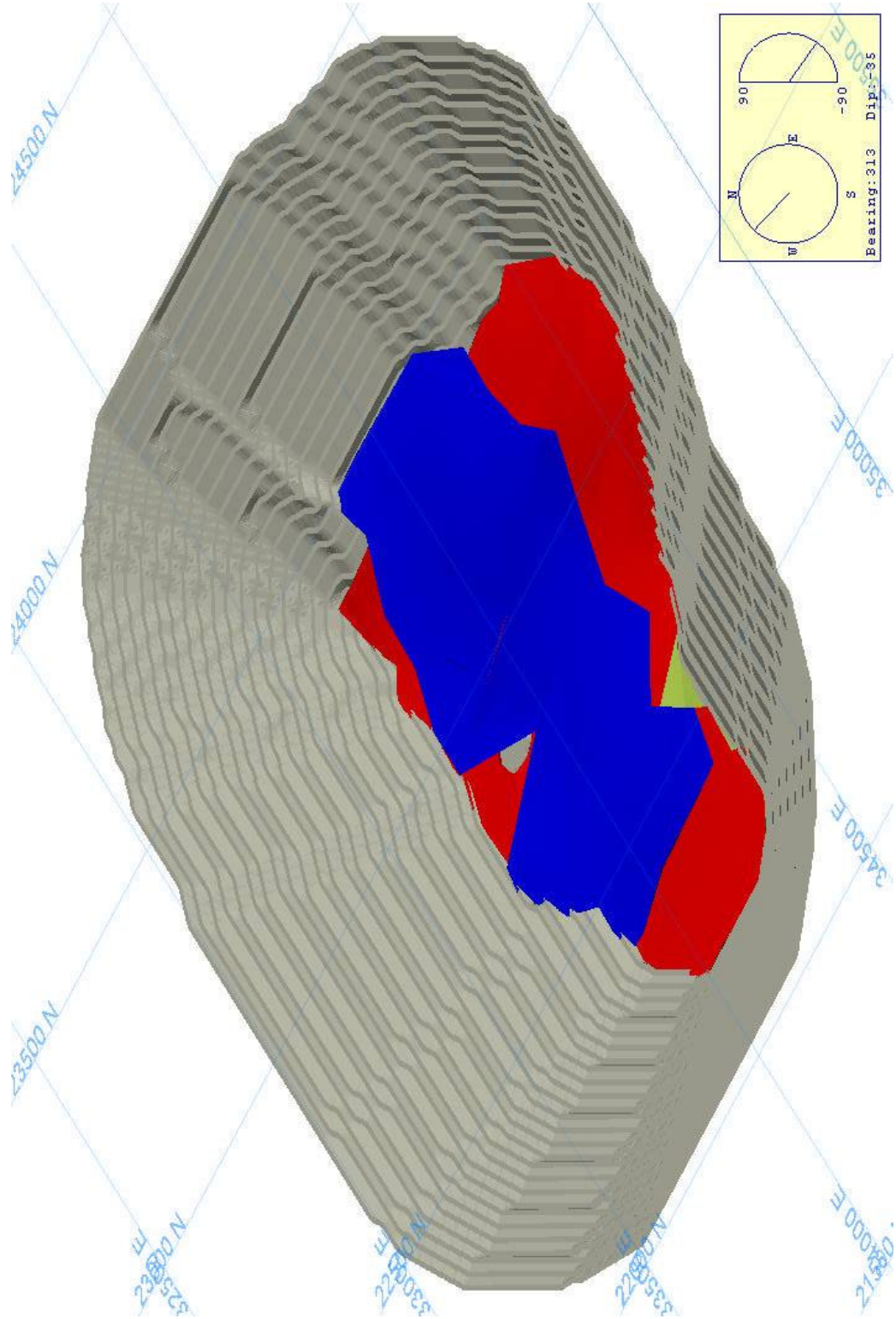
Şekil A.7: Ana Cevher Tabakalarının 23650N-23750N Kesitleri Arasındaki Bloklarının İzometrik Görünümü



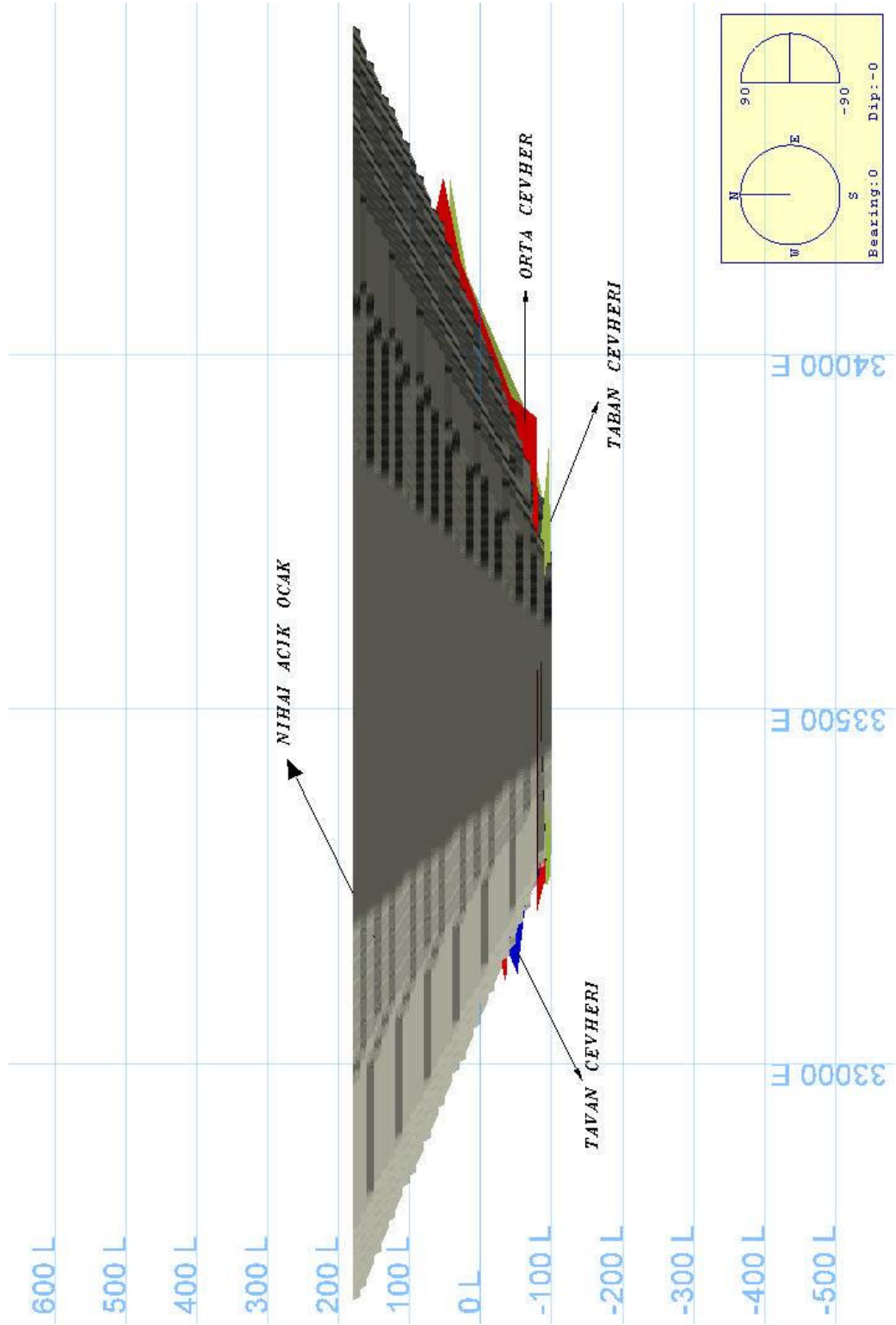
Şekil A.8: Lerchs-Grossmann Algoritması İle Belirlenen Ocak Sınırları ve Basamaklar



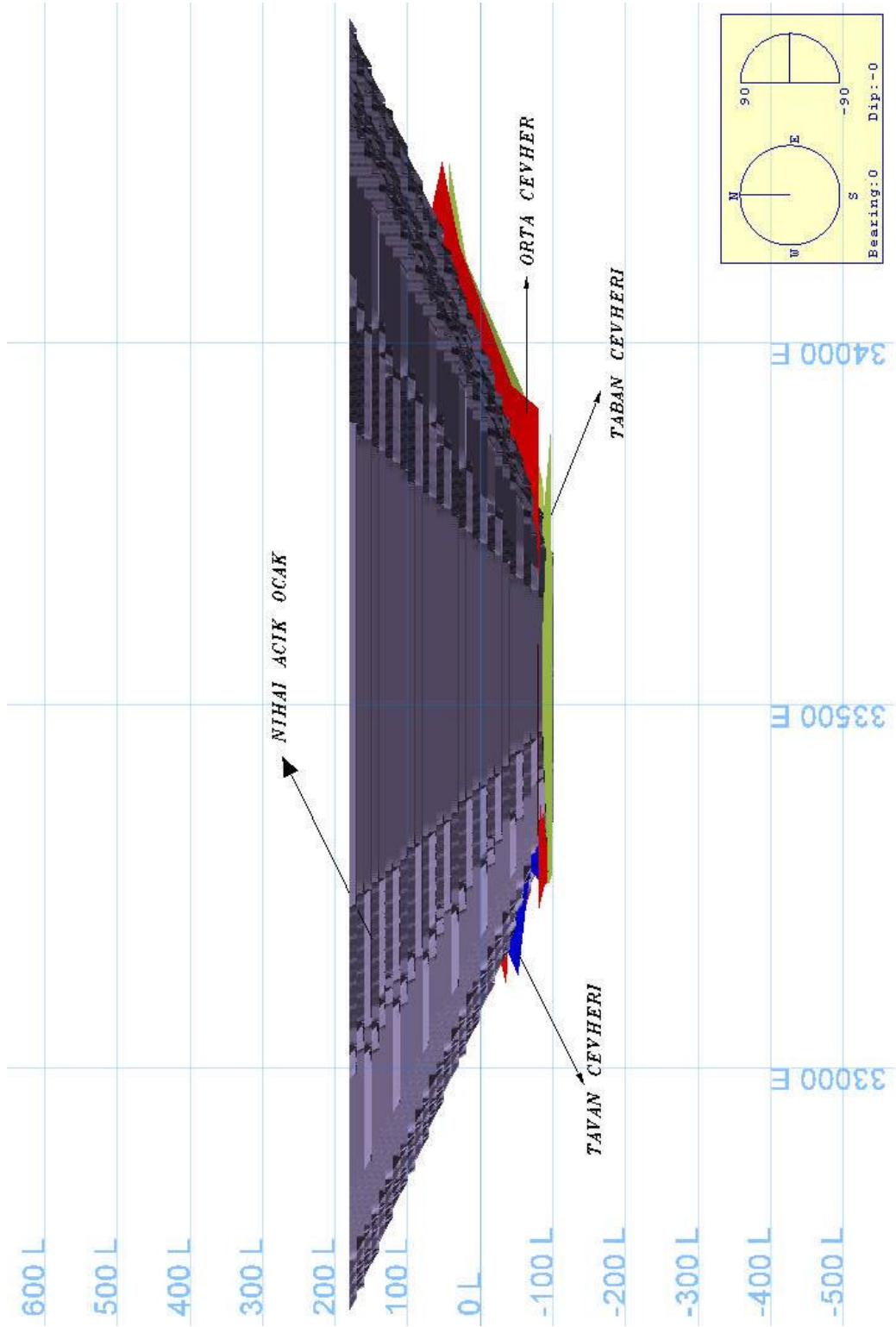
Şekil A.9: Lerchs-Grossmann Algoritması İle Belirlenen Sınırların Yumuşak Hatlarla 3-Boyutlu Gösterimi



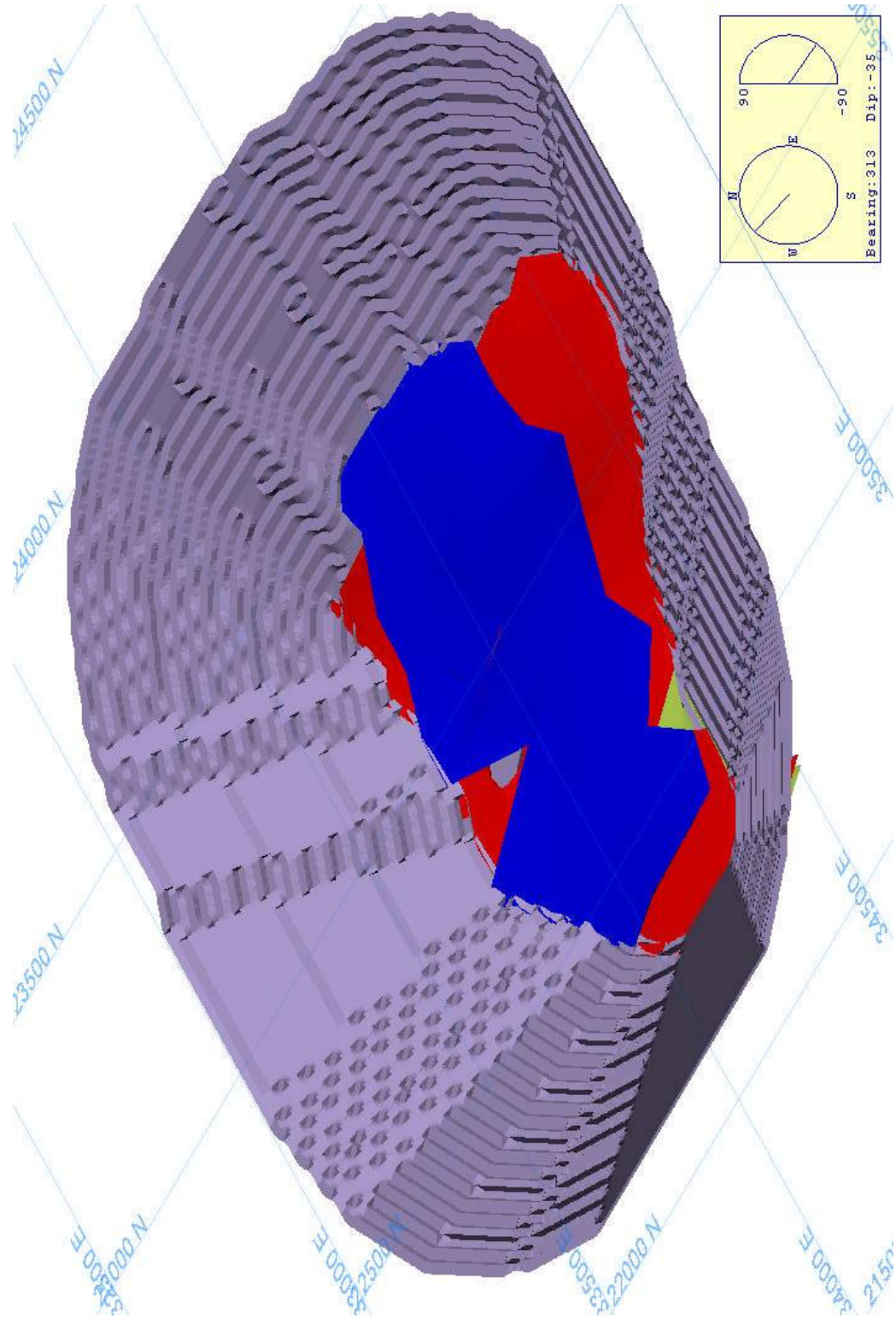
Şekil A.10: Cevher Tabakaları ve Ocağın Nihai İzometrik Görünümü (100\$/ton Cevher İçin)



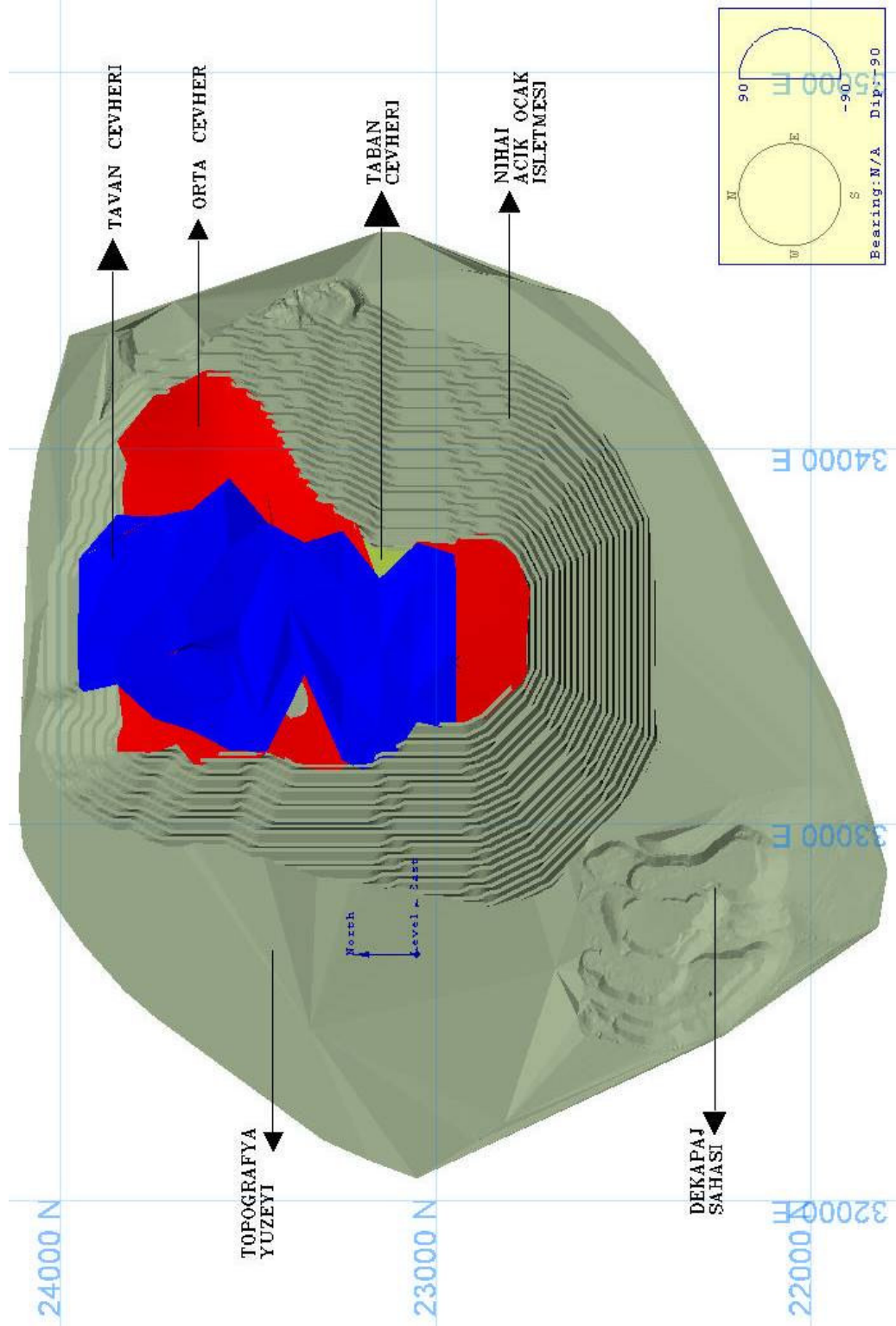
Şekil A.11: Cevher Tabakaları ve Ocağın Yandan Görünümü (100\$/ton Cevher İçin)



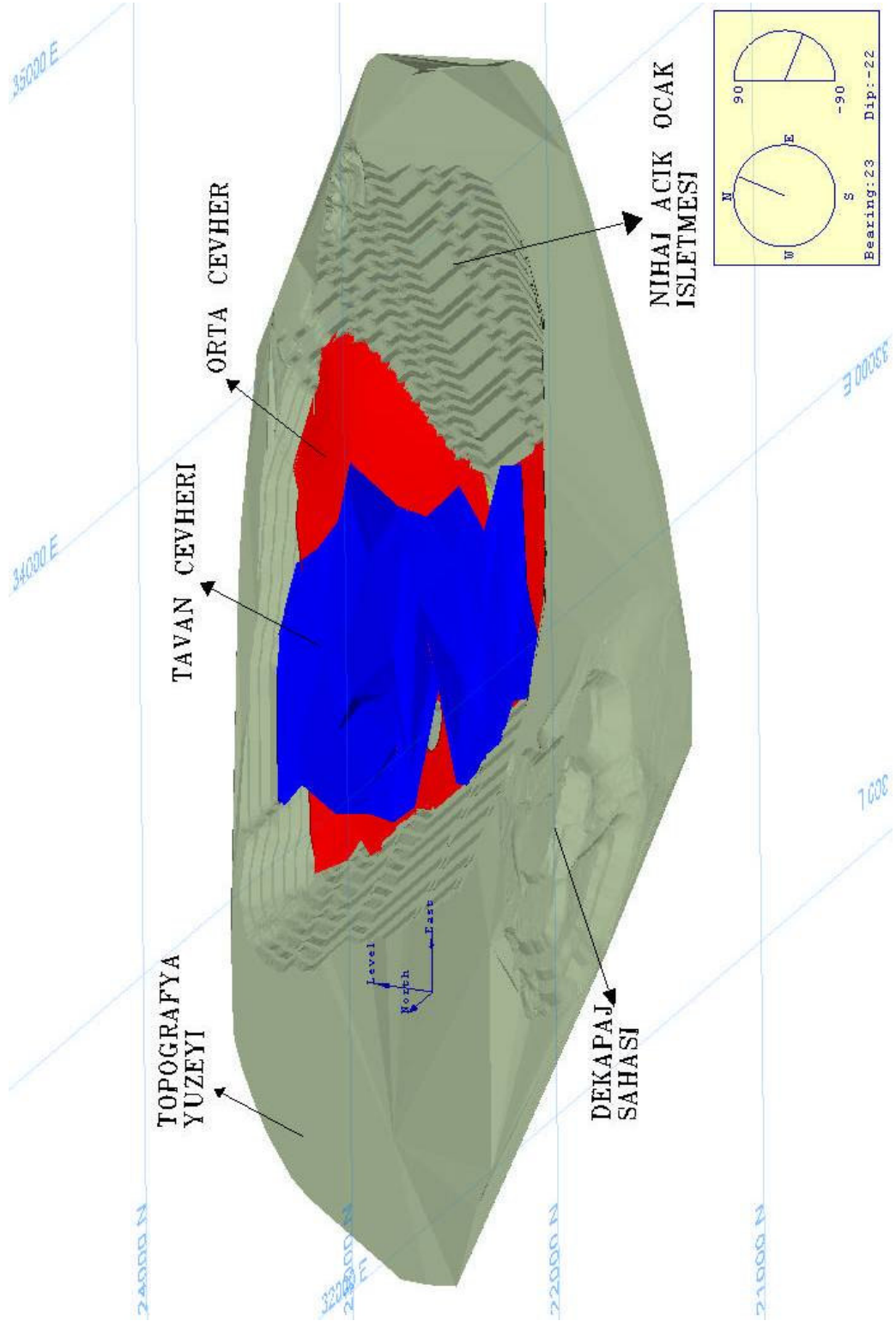
Şekil A.12: 40\$/ton Cevher Değeri İle Ocağın Nihai Durumu ve Cevher Tabakaları



Şekil A.13: 40\$/ton Cevher Değeri İle Ocağın Nihai Durumu



Şekil A.14: Lerchs-Grossmann Algoritması İle Elde Edilen Nihai Ocağın Topoğrafya İle Birleştirilmiş Halinin Üstten Görünümü



Şekil A.15: Lerchs-Grossmann Algoritması İle Elde Edilen Nihai Ocağın Topoğrafya İle Birleştirilmiş Halinin İzometrik Görünümü

Tablo A.1. Eti-Bor Kestelek İşletmesi Ocak Sondaj Koordinatları

SONDAJ	Y (KUZEY)	X (DOĞU)	Z (YÜKSEKLİK)	DERİNLİK
SK-1	23710,37	33704,16	43,21	110,00
SK-2	23718,34	33862,48	27,83	41,00
SK-3	24171,13	33837,54	69,96	108,00
SK-3A	23955,00	33455,00	63,00	60,00
SK-4	23480,68	33162,33	61,70	132,50
SK-5	23543,62	34265,72	119,35	160,00
SK-6	23687,00	33911,19	23,03	17,50
SK-7	23635,12	34127,34	84,86	100,00
SK-8	23640,47	34321,82	92,93	139,00
SK-9	23717,44	33604,01	53,57	141,00
SK-10	23834,40	33266,25	57,36	103,00
SK-11	23554,13	33732,98	75,14	112,00
SK-12	23844,54	33168,09	59,46	86,00
SK-13	23854,23	34047,76	67,20	87,00
SK-14	23659,43	34196,61	83,11	62,00
SK-15	23643,51	33300,02	60,20	218,00
SK-16	23553,93	34081,23	86,75	205,00
SK-17	23271,87	33136,46	93,03	209,50
SK-18	23776,35	34067,92	54,82	115,00
SK-19	23726,90	33184,82	57,59	175,00
SK-20	23982,75	33176,96	68,01	138,00
SK-21	23577,06	33461,47	67,72	122,00
SK-22	23523,86	33526,97	69,04	133,00
SK-23	23510,92	33442,75	85,54	202,00
SK-24	22739,01	31930,46	66,10	50,00
SK-25	23434,85	33729,63	87,75	193,50
SK-26	23370,39	33805,62	115,10	220,00
SK-27	23381,73	33459,68	87,75	166,00
SK-28	23715,09	33242,83	57,15	111,50
SK-29	23370,44	33944,64	117,29	204,00
SK-30	23579,06	33342,03	63,25	125,00
SK-31	23222,01	33810,10	129,01	254,00
SK-32	23214,01	33454,22	112,29	234,00
SK-33	23651,51	33229,03	58,78	109,00
SK-34	23384,48	33346,28	87,86	175,00
SK-35	23659,09	33578,41	61,75	100,00
SK-36	23565,58	33228,11	63,72	131,00
SK-37	23147,90	33452,21	125,10	224,00
SK-38	23416,00	33886,59	98,07	181,00
SK-39	23226,78	33379,66	101,12	200,00
SK-40	23679,07	33483,17	61,18	121,00
SK-41	23917,10	33855,56	63,36	60,00
SK-42	23899,28	33625,10	64,36	80,00
SK-43	23859,87	33477,95	59,48	75,00
SK-44	23862,25	33353,07	59,15	71,00
SK-45	23193,70	33255,23	110,48	209,00
SK-46	23950,62	33742,61	60,80	72,00
SK-47	23802,28	33227,90	58,17	70,00
SK-48	23268,07	33234,40	91,20	170,00

SONDAJ	Y (KUZEY)	X (DOĞU)	Z (YÜKSEKLİK)	DERİNLİK
SK-49	23059,86	33477,18	145,97	386,00
SK-50	23870,34	34115,80	64,89	33,00
SK-51	23749,87	34160,54	63,43	120,00
SK-52	23065,79	33331,74	142,28	267,00
SK-53	23561,51	33182,33	64,00	130,00
SK-54	23577,48	33149,58	63,57	123,00
SK-55	22945,88	33471,94	151,43	280,00
SK-56	23778,05	34193,86	66,57	35,00
SK-57	23391,89	33595,56	92,70	181,00
SK-58	23903,51	33950,86	65,41	50,00
SK-59	23729,84	33444,63	69,76	90,00
SK-60	23598,71	33211,91	63,41	40,00
SK-61	23941,78	33791,90	64,80	24,00
SK-62	23624,31	33472,05	63,42	115,00
SK-63	23530,63	33481,50	71,63	145,00
SK-64	23205,32	33730,98	130,00	250,00
SK-65	23570,85	33106,48	63,15	146,00
SK-66	23830,69	33763,36	55,06	128,00
SK-67	23200,38	33635,76	149,66	260,00
SK-68	22759,59	33476,66	151,21	295,00
SK-69	23883,88	33757,23	60,70	60,00
SK-70	23876,89	33843,57	57,19	61,00
SK-71	23060,28	33639,09	163,86	300,00
SK-72	23835,71	33903,10	48,54	45,00
SK-73	23822,97	33958,47	49,39	49,00
SK-74	23871,53	33675,56	67,61	65,00
SK-75	22527,77	33482,08	153,19	360,00
SK-76	22946,07	33638,93	144,84	253,00
SK-77	23538,04	33352,93	76,62	160,00
SK-78	23565,33	33878,97	62,81	90,00
SK-79	22771,08	33636,91	164,51	331,00
SK-80	22945,36	33312,74	140,29	273,00
SK-81	23471,09	33269,72	97,67	204,00
SK-82	22989,51	33756,99	142,47	270,00
SK-83	22853,85	33636,87	151,35	274,00
SK-84	23061,82	33235,75	133,93	260,00
SK-85	22876,14	33192,84	122,80	285,00
SK-86	22703,91	33190,51	143,07	50,00
SK-87	23385,54	34060,47	112,22	50,00
SK-88	22675,76	34024,70	190,65	50,00
SK-89	23471,84	34049,70	75,12	75,00
SK-90	21600,00	34400,00	175,00	50,00
SK-91	23800,00	35250,00	180,00	50,00
SK-92	21550,00	36225,00	325,00	50,00
SK-93	20800,00	36850,00	370,00	50,00

Tablo A.2. Eti-Bor Kestelek İşletmesi Sondaj Analiz Tablosu

SONDAJ	GİRİŞ KOTU	ÇIKIŞ KOTU	TABAKA	ZON	TENÖR (%B ₂ O ₃)
SK-1	0	5,85	YK	YK	0
SK-1	5,85	7,1	TV	TV1	37,03
SK-1	7,1	19,5	YK	YK	0
SK-1	19,5	24,5	TV	TV2	37,03
SK-1	24,5	24,51	TV	TV3	37,03
SK-1	24,51	30	YK	YK	0
SK-1	30	39	ORT	ORT1	36,55
SK-1	39	39,5	YK	YK	0
SK-1	39,5	42,5	ORT	ORT2	36,55
SK-1	42,5	51,5	YK	YK	0
SK-1	51,5	53,5	TB	TB1	40,54
SK-1	53,5	53,51	TB	TB2	40,54
SK-1	53,51	110	YK	YK	0
SK-2	0	0,01	YK	YK	0
SK-2	0,01	1	ORT	ORT1	21,58
SK-2	1	5	YK	YK	0
SK-2	5	6,5	ORT	ORT2	21,58
SK-2	6,5	8,5	YK	YK	0
SK-2	8,5	12,5	TB	TB1	36,02
SK-2	12,5	12,51	TB	TB2	36,02
SK-2	12,51	41	YK	YK	0
SK-3	0	5	YK	YK	0
SK-3	5	108	YK	YK	0
SK-3A	0	26	YK	YK	0
SK-3A	26	27	TV	TV1	38,28
SK-3A	27	27,01	TV	TV2	38,28
SK-3A	27,01	27,02	TV	TV3	38,28
SK-3A	27,02	60	YK	YK	0
SK-4	0	5	YK	YK	0
SK-4	5	132,5	YK	YK	0
SK-5	0	5	YK	YK	0
SK-5	5	160	YK	YK	0
SK-6	0	5	YK	YK	0
SK-6	5	17,5	YK	YK	0
SK-7	0	17	YK	YK	0
SK-7	17	20	ORT	ORT1	25,67
SK-7	20	20,01	ORT	ORT2	25,67
SK-7	20,01	100	YK	YK	0
SK-8	0	5	YK	YK	0
SK-8	5	139	YK	YK	0
SK-9	0	20	YK	YK	0
SK-9	20	22	TV	TV1	31,3
SK-9	22	24,5	YK	YK	0
SK-9	24,5	26,5	TV	TV2	31,3
SK-9	26,5	29	YK	YK	0
SK-9	29	29,6	TV	TV3	31,3
SK-9	29,6	30,25	YK	YK	0
SK-9	30,25	32,25	ORT	ORT1	34,95
SK-9	32,25	36,5	ORT	ORT2	34,95

SONDAJ	GİRİŞ KOTU	ÇIKIŞ KOTU	TABAKA	ZON	TENÖR (%B ₂ O ₃)
SK-9	36,5	141	YK	YK	0
SK-10	0	35,5	YK	YK	0
SK-10	35,5	39	ORT	ORT1	40,19
SK-10	39	39,01	ORT	ORT2	40,19
SK-10	39,01	103	YK	YK	0
SK-11	0	59	YK	YK	0
SK-11	59	62,3	TV	TV1	29,06
SK-11	62,3	62,31	TV	TV2	29,06
SK-11	62,31	62,32	TV	TV3	29,06
SK-11	62,32	72	YK	YK	0
SK-11	72	76,4	ORT	ORT1	33,84
SK-11	76,4	76,41	ORT	ORT2	33,84
SK-11	76,41	83	YK	YK	0
SK-11	83	88,3	TB	TB1	36,37
SK-11	88,3	91	YK	YK	0
SK-11	91	91,5	TB	TB2	36,37
SK-11	91,5	112	YK	YK	0
SK-12	0	5	YK	YK	0
SK-12	5	86	YK	YK	0
SK-13	0	5	YK	YK	0
SK-13	5	87	YK	YK	0
SK-14	0	5	YK	YK	0
SK-14	5	62	YK	YK	0
SK-15	0	80,5	YK	YK	0
SK-15	80,5	81,5	TV	TV1	42,77
SK-15	81,5	82	YK	YK	0
SK-15	82	82,5	TV	TV2	42,77
SK-15	82,5	82,51	TV	TV3	42,77
SK-15	82,51	91	YK	YK	0
SK-15	91	93	ORT	ORT1	47,33
SK-15	93	93,01	ORT	ORT2	47,33
SK-15	93,01	218	YK	YK	0
SK-16	0	33,4	YK	YK	0
SK-16	33,4	35	ORT	ORT1	5,5
SK-16	35	35,01	ORT	ORT2	5,5
SK-16	35,01	44,2	YK	YK	0
SK-16	44,2	44,7	TB	TB1	8,18
SK-16	44,7	44,71	TB	TB2	8,18
SK-16	44,71	205	YK	YK	0
SK-17	0	5	YK	YK	0
SK-17	5	209,5	YK	YK	0
SK-18	0	12	YK	YK	0
SK-18	12	15	ORT	ORT1	35,84
SK-18	15	15,01	ORT	ORT2	35,84
SK-18	15,01	115	YK	YK	0
SK-19	0	5	YK	YK	0
SK-19	5	175	YK	YK	0
SK-20	0	5	YK	YK	0
SK-20	5	138	YK	YK	0
SK-21	0	92,5	YK	YK	0
SK-21	92,5	96,5	TV	TV1	31,7

SONDAJ	GİRİŞ KOTU	ÇIKIŞ KOTU	TABAKA	ZON	TENÖR (%B ₂ O ₃)
SK-21	96,5	96,51	TV	TV2	31,7
SK-21	96,51	96,52	TV	TV3	31,7
SK-21	96,52	101,5	ORT	ORT1	31,59
SK-21	101,5	106,5	ORT	ORT2	31,59
SK-21	106,5	122	YK	YK	0
SK-22	0	90,2	YK	YK	0
SK-22	90,2	91	TV	TV1	33,53
SK-22	91	98,15	YK	YK	0
SK-22	98,15	99	TV	TV2	33,53
SK-22	99	100	YK	YK	0
SK-22	100	100,8	TV	TV3	33,53
SK-22	100,8	105	YK	YK	0
SK-22	105	109	ORT	ORT1	41,25
SK-22	109	111,2	YK	YK	0
SK-22	111,2	115,5	ORT	ORT2	41,25
SK-22	115,5	118,5	YK	YK	0
SK-22	118,5	119,5	TB	TB1	9,31
SK-22	119,5	119,51	TB	TB2	9,31
SK-22	119,51	133	YK	YK	0
SK-23	0	116	YK	YK	0
SK-23	116	116,8	TV	TV1	26,15
SK-23	116,8	119	YK	YK	0
SK-23	119	122	TV	TV2	26,15
SK-23	122	125	YK	YK	0
SK-23	125	127,4	TV	TV3	26,15
SK-23	127,4	132	ORT	ORT1	39,24
SK-23	132	133	ORT	ORT2	39,24
SK-23	133	202	YK	YK	0
SK-24	0	5	YK	YK	0
SK-24	5	50	YK	YK	0
SK-25	0	95,75	YK	YK	0
SK-25	95,75	100	TV	TV1	28,01
SK-25	100	100,01	TV	TV2	28,01
SK-25	100,01	100,02	TV	TV3	28,01
SK-25	100,02	114,5	YK	YK	0
SK-25	114,5	119	ORT	ORT1	33,32
SK-25	119	119,01	ORT	ORT2	33,32
SK-25	119,01	125,5	YK	YK	0
SK-25	125,5	130	TB	TB1	34,1
SK-25	130	130,01	TB	TB2	34,1
SK-25	130,01	193,5	YK	YK	0
SK-26	0	158,5	YK	YK	0
SK-26	158,5	160	ORT	ORT1	15,4
SK-26	160	160,01	ORT	ORT2	15,4
SK-26	160,01	174,8	YK	YK	0
SK-26	174,8	176	TB	TB1	1,04
SK-26	176	176,01	TB	TB2	1,04
SK-26	176,01	220	YK	YK	0
SK-27	0	129,5	YK	YK	0
SK-27	129,5	131	TV	TV1	27,84
SK-27	131	131,01	TV	TV2	27,84

SONDAJ	GİRİŞ KOTU	ÇIKIŞ KOTU	TABAKA	ZON	TENÖR (%B ₂ O ₃)
SK-27	131,01	131,02	TV	TV3	27,84
SK-27	131,02	135	YK	YK	0
SK-27	135	144	ORT	ORT1	33,93
SK-27	144	144,01	ORT	ORT2	33,93
SK-27	144,01	166	YK	YK	0
SK-28	0	75	YK	YK	0
SK-28	75	80	ORT	ORT1	44,02
SK-28	80	80,01	ORT	ORT2	44,02
SK-28	80,01	111,5	YK	YK	0
SK-29	0	5	YK	YK	0
SK-29	5	204	YK	YK	0
SK-30	0	97	YK	YK	0
SK-30	97	99,5	TV	TV1	42,68
SK-30	99,5	99,51	TV	TV2	42,68
SK-30	99,51	99,52	TV	TV3	42,68
SK-30	99,52	104	YK	YK	0
SK-30	104	105	ORT	ORT1	36,54
SK-30	105	105,01	ORT	ORT2	36,54
SK-30	105,01	125	YK	YK	0
SK-31	0	207,25	YK	YK	0
SK-31	207,25	209	ORT	ORT1	23,66
SK-31	209	209,01	ORT	ORT2	23,66
SK-31	209,01	254	YK	YK	0
SK-32	0	157	YK	YK	0
SK-32	157	161,5	TV	TV1	25,93
SK-32	161,5	166	YK	YK	0
SK-32	166	166,75	TV	TV2	25,93
SK-32	166,75	166,76	TV	TV3	25,93
SK-32	166,76	176,7	YK	YK	0
SK-32	176,7	181	ORT	ORT1	29,41
SK-32	181	181,01	ORT	ORT2	29,41
SK-32	181,01	234	YK	YK	0
SK-33	0	80,5	YK	YK	0
SK-33	80,5	84,5	ORT	ORT1	44,89
SK-33	84,5	84,51	ORT	ORT2	44,89
SK-33	84,51	109	YK	YK	0
SK-34	0	125,5	YK	YK	0
SK-34	125,5	132,5	ORT	ORT1	31,76
SK-34	132,5	132,51	ORT	ORT2	31,76
SK-34	132,51	175	YK	YK	0
SK-35	0	38,8	YK	YK	0
SK-35	38,8	39,7	TV	TV1	26,93
SK-35	39,7	43,4	YK	YK	0
SK-35	43,4	46,25	TV	TV2	26,93
SK-35	46,25	49,15	YK	YK	0
SK-35	49,15	52,6	TV	TV3	26,93
SK-35	52,6	76,5	YK	YK	0
SK-35	76,5	77,15	ORT	ORT1	27,32
SK-35	77,15	77,16	ORT	ORT2	27,32
SK-35	77,16	100	YK	YK	0
SK-36	0	93	YK	YK	0

SONDAJ	GİRİŞ KOTU	ÇIKIŞ KOTU	TABAKA	ZON	TENÖR (%B ₂ O ₃)
SK-36	93	93,5	TV	TV1	35,17
SK-36	93,5	96,75	YK	YK	0
SK-36	96,75	97,35	TV	TV2	35,17
SK-36	97,35	97,36	TV	TV3	35,17
SK-36	97,36	101	YK	YK	0
SK-36	101	101,5	ORT	ORT1	39,2
SK-36	101,5	102,5	YK	YK	0
SK-36	102,5	104,3	ORT	ORT2	39,2
SK-36	104,3	109	YK	YK	0
SK-36	109	111,4	TB	TB1	35,24
SK-36	111,4	111,41	TB	TB2	35,24
SK-36	111,41	131	YK	YK	0
SK-37	0	176,5	YK	YK	0
SK-37	176,5	180,5	TV	TV1	23,72
SK-37	180,5	189,3	YK	YK	0
SK-37	189,3	192,3	TV	TV2	23,72
SK-37	192,3	193,9	YK	YK	0
SK-37	193,9	195	TV	TV3	23,72
SK-37	195	202,4	YK	YK	0
SK-37	202,4	204,5	ORT	ORT1	18,86
SK-37	204,5	204,51	ORT	ORT2	18,86
SK-37	204,51	224	YK	YK	0
SK-38	0	93,2	YK	YK	0
SK-38	93,2	94,4	ORT	ORT1	8,47
SK-38	94,4	94,41	ORT	ORT2	8,47
SK-38	94,41	113,2	YK	YK	0
SK-38	113,2	114	TB	TB1	21,74
SK-38	114	114,01	TB	TB2	21,74
SK-38	114,01	181	YK	YK	0
SK-39	0	152,5	YK	YK	0
SK-39	152,5	156	TV	TV1	23,13
SK-39	156	157	YK	YK	0
SK-39	157	160,9	TV	TV2	23,13
SK-39	160,9	160,91	TV	TV3	23,13
SK-39	160,91	167,5	YK	YK	0
SK-39	167,5	168,2	ORT	ORT1	20,23
SK-39	168,2	168,21	ORT	ORT2	20,23
SK-39	168,21	200	YK	YK	0
SK-40	0	52,75	YK	YK	0
SK-40	52,75	55,6	TV	TV1	28,15
SK-40	55,6	57,4	YK	YK	0
SK-40	57,4	59,4	TV	TV2	28,15
SK-40	59,4	59,41	TV	TV3	28,15
SK-40	59,41	64	ORT	ORT1	34,62
SK-40	64	71	ORT	ORT2	34,62
SK-40	71	121	YK	YK	0
SK-41	0	5	YK	YK	0
SK-41	5	60	YK	YK	0
SK-42	0	5	YK	YK	0
SK-42	5	80	YK	YK	0
SK-43	0	28	YK	YK	0

SONDAJ	GİRİŞ KOTU	ÇIKIŞ KOTU	TABAKA	ZON	TENÖR (%B ₂ O ₃)
SK-43	28	28,75	TV	TV1	36,76
SK-43	28,75	31,75	YK	YK	0
SK-43	31,75	33	TV	TV2	36,76
SK-43	33	33,01	TV	TV3	36,76
SK-43	33,01	44	YK	YK	0
SK-43	44	45,2	ORT	ORT1	34
SK-43	45,2	45,21	ORT	ORT2	34
SK-43	45,21	75	YK	YK	0
SK-44	0	5	YK	YK	0
SK-44	5	71	YK	YK	0
SK-45	0	160,5	YK	YK	0
SK-45	160,5	164	TV	TV1	22,97
SK-45	164	164,01	TV	TV2	22,97
SK-45	164,01	164,02	TV	TV3	22,97
SK-45	164,02	209	YK	YK	0
SK-46	0	5	YK	YK	0
SK-46	5	72	YK	YK	0
SK-47	0	51,35	YK	YK	0
SK-47	51,35	53,1	ORT	ORT1	41,76
SK-47	53,1	53,11	ORT	ORT2	41,76
SK-47	53,11	70	YK	YK	0
SK-48	0	124	YK	YK	0
SK-48	124	124,5	TV	TV1	28,6
SK-48	124,5	128,3	YK	YK	0
SK-48	128,3	129,15	TV	TV2	28,6
SK-48	129,15	129,16	TV	TV3	28,6
SK-48	129,16	133	YK	YK	0
SK-48	133	139,5	ORT	ORT1	29,15
SK-48	139,5	139,51	ORT	ORT2	29,15
SK-48	139,51	170	YK	YK	0
SK-49	0	208	YK	YK	0
SK-49	208	213	TV	TV1	21,23
SK-49	213	217,6	YK	YK	0
SK-49	217,6	221	TV	TV2	21,23
SK-49	221	223,6	YK	YK	0
SK-49	223,6	224,25	TV	TV3	21,23
SK-49	224,25	230,6	YK	YK	0
SK-49	230,6	235,25	ORT	ORT1	30,62
SK-49	235,25	235,26	ORT	ORT2	30,62
SK-49	235,26	242,75	YK	YK	0
SK-49	242,75	243,75	TB	TB1	15,09
SK-49	243,75	246,8	YK	YK	0
SK-49	246,8	248	TB	TB2	15,09
SK-49	248	386	YK	YK	0
SK-50	0	5	YK	YK	0
SK-50	5	33	YK	YK	0
SK-51	0	5	YK	YK	0
SK-51	5	120	YK	YK	0
SK-52	0	209,7	YK	YK	0
SK-52	209,7	211,35	TV	TV1	23,84
SK-52	211,35	211,36	TV	TV2	23,84

SONDAJ	GİRİŞ KOTU	ÇIKIŞ KOTU	TABAKA	ZON	TENÖR (%B ₂ O ₃)
SK-52	211,36	211,37	TV	TV3	23,84
SK-52	211,37	233	YK	YK	0
SK-52	233	235,5	ORT	ORT1	26,55
SK-52	235,5	235,51	ORT	ORT2	26,55
SK-52	235,51	267	YK	YK	0
SK-53	0	106,6	YK	YK	0
SK-53	106,6	107,5	ORT	ORT1	32,19
SK-53	107,5	107,51	ORT	ORT2	32,19
SK-53	107,51	130	YK	YK	0
SK-54	0	99	YK	YK	0
SK-54	99	99,5	ORT	ORT1	32,19
SK-54	99,5	99,51	ORT	ORT2	32,19
SK-54	99,51	123	YK	YK	0
SK-55	0	204	YK	YK	0
SK-55	204	206	TV	TV1	17,24
SK-55	206	212,3	YK	YK	0
SK-55	212,3	215,5	TV	TV2	17,24
SK-55	215,5	215,51	TV	TV3	17,24
SK-55	215,51	233	YK	YK	0
SK-55	233	238,5	ORT	ORT1	21,56
SK-55	238,5	238,51	ORT	ORT2	21,56
SK-55	238,51	241,5	YK	YK	0
SK-55	241,5	248,1	TB	TB1	15,29
SK-55	248,1	256,5	YK	YK	0
SK-55	256,5	259,5	TB	TB2	15,29
SK-55	259,5	280	YK	YK	0
SK-56	0	5	YK	YK	0
SK-56	5	35	YK	YK	0
SK-57	0	110,3	YK	YK	0
SK-57	110,3	117	TV	TV1	27,22
SK-57	117	122	YK	YK	0
SK-57	122	125	TV	TV2	27,22
SK-57	125	125,01	TV	TV3	27,22
SK-57	125,01	133,1	YK	YK	0
SK-57	133,1	134,7	ORT	ORT1	28,36
SK-57	134,7	134,71	ORT	ORT2	28,36
SK-57	134,71	154,3	YK	YK	0
SK-57	154,3	161	TB	TB1	44,81
SK-57	161	161,01	TB	TB2	44,81
SK-57	161,01	181	YK	YK	0
SK-58	0	5	YK	YK	0
SK-58	5	50	YK	YK	0
SK-59	0	64,5	YK	YK	0
SK-59	64,5	66,4	TV	TV1	33,76
SK-59	66,4	66,41	TV	TV2	33,76
SK-59	66,41	66,42	TV	TV3	33,76
SK-59	66,42	70	YK	YK	0
SK-59	70	72,1	ORT	ORT1	39,6
SK-59	72,1	76,25	YK	YK	0
SK-59	76,25	76,75	ORT	ORT2	39,6
SK-59	76,75	83,55	YK	YK	0

SONDAJ	GİRİŞ KOTU	ÇIKIŞ KOTU	TABAKA	ZON	TENÖR (%B ₂ O ₃)
SK-59	83,55	85,1	TB	TB1	45,87
SK-59	85,1	85,11	TB	TB2	45,87
SK-59	85,11	90	YK	YK	0
SK-60	0	5	YK	YK	0
SK-60	5	40	YK	YK	0
SK-61	0	5	YK	YK	0
SK-61	5	24	YK	YK	0
SK-62	0	68,6	YK	YK	0
SK-62	68,6	71	TV	TV1	35,52
SK-62	71	72	YK	YK	0
SK-62	72	74,2	TV	TV2	35,52
SK-62	74,2	74,21	TV	TV3	35,52
SK-62	74,21	80	ORT	ORT1	32,72
SK-62	80	82,1	YK	YK	0
SK-62	82,1	83,4	ORT	ORT2	32,72
SK-62	83,4	115	YK	YK	0
SK-63	0	103,8	YK	YK	0
SK-63	103,8	105,75	TV	TV1	36,81
SK-63	105,75	107,9	YK	YK	0
SK-63	107,9	111	TV	TV2	36,81
SK-63	111	111,01	TV	TV3	36,81
SK-63	111,01	116,5	ORT	ORT1	31,32
SK-63	116,5	116,51	ORT	ORT2	31,32
SK-63	116,51	145	YK	YK	0
SK-64	0	175,2	YK	YK	0
SK-64	175,2	176	TV	TV1	18,97
SK-64	176	176,01	TV	TV2	18,97
SK-64	176,01	176,02	TV	TV3	18,97
SK-64	176,02	198,5	YK	YK	0
SK-64	198,5	201	ORT	ORT1	32,19
SK-64	201	201,01	ORT	ORT2	32,19
SK-64	201,01	214	YK	YK	0
SK-64	214	218	TB	TB1	21,23
SK-64	218	218,01	TB	TB2	21,23
SK-64	218,01	250	YK	YK	0
SK-65	0	5	YK	YK	0
SK-65	5	146	YK	YK	0
SK-66	0	17	YK	YK	0
SK-66	17	19	TV	TV1	32,36
SK-66	19	21	YK	YK	0
SK-66	21	22,55	TV	TV2	32,36
SK-66	22,55	22,56	TV	TV3	32,36
SK-66	22,56	24,3	YK	YK	0
SK-66	24,3	27,5	ORT	ORT1	36,24
SK-66	27,5	27,51	ORT	ORT2	36,24
SK-66	27,51	28	YK	YK	0
SK-66	28	40	TB	TB1	34,97
SK-66	40	40,01	TB	TB2	34,97
SK-66	40,01	128	YK	YK	0
SK-67	0	187,35	YK	YK	0
SK-67	187,35	190,85	TV	TV1	25,4

SONDAJ	GİRİŞ KOTU	ÇIKIŞ KOTU	TABAKA	ZON	TENÖR (%B ₂ O ₃)
SK-67	190,85	197	YK	YK	0
SK-67	197	198,5	TV	TV2	25,4
SK-67	198,5	198,51	TV	TV3	25,4
SK-67	198,51	204,15	YK	YK	0
SK-67	204,15	209,25	ORT	ORT1	27,84
SK-67	209,25	209,26	ORT	ORT2	27,84
SK-67	209,26	223	YK	YK	0
SK-67	223	224,8	TB	TB1	32,54
SK-67	224,8	224,81	TB	TB2	32,54
SK-67	224,81	260	YK	YK	0
SK-68	0	229,4	YK	YK	0
SK-68	229,4	231,75	ORT	ORT1	11,31
SK-68	231,75	231,76	ORT	ORT2	11,31
SK-68	231,76	235,5	YK	YK	0
SK-68	235,5	236,5	TB	TB1	16,3
SK-68	236,5	237,8	YK	YK	0
SK-68	237,8	239,2	TB	TB2	16,3
SK-68	239,2	295	YK	YK	0
SK-69	0	12,5	YK	YK	0
SK-69	12,5	15,1	TV	TV1	32,66
SK-69	15,1	17	YK	YK	0
SK-69	17	19	TV	TV2	32,66
SK-69	19	19,01	TV	TV3	32,66
SK-69	19,01	60	YK	YK	0
SK-70	0	5	YK	YK	0
SK-70	5	61	YK	YK	0
SK-71	0	209	YK	YK	0
SK-71	209	211	TV	TV1	21,58
SK-71	211	211,01	TV	TV2	21,58
SK-71	211,01	211,02	TV	TV3	21,58
SK-71	211,02	234,2	YK	YK	0
SK-71	234,2	236,5	ORT	ORT1	22,27
SK-71	236,5	236,51	ORT	ORT2	22,27
SK-71	236,51	255,8	YK	YK	0
SK-71	255,8	258,2	TB	TB1	14,62
SK-71	258,2	258,21	TB	TB2	14,62
SK-71	258,21	300	YK	YK	0
SK-72	0	3	YK	YK	0
SK-72	3	6,8	ORT	ORT1	33,58
SK-72	6,8	6,81	ORT	ORT2	33,58
SK-72	6,81	20,35	YK	YK	0
SK-72	20,35	23,55	TB	TB1	21,23
SK-72	23,55	23,56	TB	TB2	21,23
SK-72	23,56	45	YK	YK	0
SK-73	0	6,1	YK	YK	0
SK-73	6,1	7,25	ORT	ORT1	32,02
SK-73	7,25	7,26	ORT	ORT2	32,02
SK-73	7,26	25,5	YK	YK	0
SK-73	25,5	27,5	TB	TB1	40,19
SK-73	27,5	27,51	TB	TB2	40,19
SK-73	27,51	49	YK	YK	0

SONDAJ	GİRİŞ KOTU	ÇIKIŞ KOTU	TABAKA	ZON	TENÖR (%B ₂ O ₃)
SK-74	0	21	YK	YK	0
SK-74	21	23	TV	TV1	34,18
SK-74	23	25	YK	YK	0
SK-74	25	27,5	TV	TV2	34,18
SK-74	27,5	27,51	TV	TV3	34,18
SK-74	27,51	65	YK	YK	0
SK-75	0	5	YK	YK	0
SK-75	5	360	YK	YK	0
SK-76	0	192	YK	YK	0
SK-76	192	193	TV	TV1	8,96
SK-76	193	193,01	TV	TV2	8,96
SK-76	193,01	193,02	TV	TV3	8,96
SK-76	193,02	216	YK	YK	0
SK-76	216	219	ORT	ORT1	15,31
SK-76	219	219,01	ORT	ORT2	15,31
SK-76	219,01	226,5	YK	YK	0
SK-76	226,5	242,1	TB	TB1	28,01
SK-76	242,1	242,11	TB	TB2	28,01
SK-76	242,11	253	YK	YK	0
SK-77	0	108,3	YK	YK	0
SK-77	108,3	109,3	TV	TV1	23,22
SK-77	109,3	110,5	YK	YK	0
SK-77	110,5	111	TV	TV2	23,22
SK-77	111	112,1	YK	YK	0
SK-77	112,1	112,7	TV	TV3	23,22
SK-77	112,7	113,2	YK	YK	0
SK-77	113,2	118,5	ORT	ORT1	40,05
SK-77	118,5	120	YK	YK	0
SK-77	120	123	ORT	ORT2	40,05
SK-77	123	160	YK	YK	0
SK-78	0	9	YK	YK	0
SK-78	9	12,5	TV	TV1	23,66
SK-78	12,5	18,5	YK	YK	0
SK-78	18,5	20	TV	TV2	23,66
SK-78	20	20,01	TV	TV3	23,66
SK-78	20,01	26	YK	YK	0
SK-78	26	33	ORT	ORT1	22,76
SK-78	33	34,8	YK	YK	0
SK-78	34,8	36	ORT	ORT2	22,76
SK-78	36	38	YK	YK	0
SK-78	38	40	TB	TB1	25,29
SK-78	40	47	YK	YK	0
SK-78	47	49,5	TB	TB2	25,29
SK-78	49,5	90	YK	YK	0
SK-79	0	5	YK	YK	0
SK-79	5	331	YK	YK	0
SK-80	0	226,5	YK	YK	0
SK-80	226,5	227	TV	TV1	11,75
SK-80	227	227,01	TV	TV2	11,75
SK-80	227,01	227,02	TV	TV3	11,75
SK-80	227,02	227,8	YK	YK	0

SONDAJ	GİRİŞ KOTU	ÇIKIŞ KOTU	TABAKA	ZON	TENÖR (%B ₂ O ₃)
SK-80	227,8	229,5	ORT	ORT1	13,92
SK-80	229,5	229,51	ORT	ORT2	13,92
SK-80	229,51	231,5	YK	YK	0
SK-80	231,5	232,5	TB	TB1	27,58
SK-80	232,5	232,7	YK	YK	0
SK-80	232,7	233,5	TB	TB2	27,58
SK-80	233,5	273	YK	YK	0
SK-81	0	129	YK	YK	0
SK-81	129	130	TV	TV1	32,19
SK-81	130	130,01	TV	TV2	32,19
SK-81	130,01	130,02	TV	TV3	32,19
SK-81	130,02	135,5	YK	YK	0
SK-81	135,5	136	ORT	ORT1	36,95
SK-81	136	139,3	ORT	ORT2	36,95
SK-81	139,3	204	YK	YK	0
SK-82	0	5	YK	YK	0
SK-82	5	270	YK	YK	0
SK-83	0	230,95	YK	YK	0
SK-83	230,95	233,4	ORT	ORT1	13,05
SK-83	233,4	233,41	ORT	ORT2	13,05
SK-83	233,41	248,5	YK	YK	0
SK-83	248,5	249,9	TB	TB1	8,7
SK-83	249,9	249,91	TB	TB2	8,7
SK-83	249,91	274	YK	YK	0
SK-84	0	5	YK	YK	0
SK-84	5	260	YK	YK	0
SK-85	0	5	YK	YK	0
SK-85	5	285	YK	YK	0
SK-86	0	5	YK	YK	0
SK-86	5	50	YK	YK	0
SK-87	0	5	YK	YK	0
SK-87	5	50	YK	YK	0
SK-88	0	5	YK	YK	0
SK-88	5	50	YK	YK	0
SK-89	0	46,5	YK	YK	0
SK-89	46,5	46,8	ORT	ORT1	8,5
SK-89	46,8	52,4	YK	YK	0
SK-89	52,4	54,6	ORT	ORT2	8,5
SK-89	54,6	56	YK	YK	0
SK-89	56	56,3	TB	TB1	12
SK-89	56,3	56,31	TB	TB2	12
SK-89	56,31	75	YK	YK	0
SK-90	0	5	YK	YK	0
SK-90	5	50	YK	YK	0
SK-91	0	5	YK	YK	0
SK-91	5	50	YK	YK	0
SK-92	0	5	YK	YK	0
SK-92	5	50	YK	YK	0
SK-93	0	5	YK	YK	0
SK-93	5	50	YK	YK	0

YK: Yan Kayaç, TV: Tavan Cevheri, ORT: Orta Cevher, TB: Taban Cevheri

Tablo A.3. Lerchs-Grossmann Algoritması Analiz Sonuçları (100\$/ton Cevher İçin)

```

*****
      *                               *
      *   SOFTWARE  VULCAN           *
      *                               *
      *   LERCHS & GROSSMANN 3-D OPTIMISER   *
      *   Pit Optimiser Program             *
      *                               *
      *   LG_OPTIPIT Version 2.500         *
      *                               *
      *   - BASE POLYGONAL SUBREGIONS -     *
      *                               *
*****

***** PARAMETERS *****

**** General
- Parameters file name.....: eti_pit_100.opf
- Parameters version.....: 1.000
- Run ID for this project.....: eti_pit_100
- Optimisation engine.....: Lerchs & Grossmann 3D
- Resulting pit variable.....: result
- User comment.....:
- Build a report with resulting pits.....: Yes
- Delete files after optimisation.....: No
- Block model name.....: eti_blok_100.bmf
- Block model type.....: Sub-blocked
- Block model bearing.....: 90.00 deg.
- Block model dimensions.....: 138 x 138 x 30 = 571320
- Block size.....: 16.000 x 16.000 x 10.000 = 2560.000
**** Dynamic reblock
- Reblock on X direction.....: 1
- Reblock on Y direction.....: 1
- Reblock on Z direction.....: 1
- Reblocked block model type.....: Regular
- Reblocked block model dimensions.....: 138 x 138 x 30 = 571320
- Reblocked block size.....: 16.000 x 16.000 x 10.000 = 2560.000
**** Financials
- The economic block value is.....: Supplied
- Block value variable.....: netvalue
**** Air Criteria
- Use air blocks.....: All air blocks
- Fix air blocks after optimisation.....: No
**** Slope Interpolation
- Interpolation option.....: Apply total interpolation.
- Number of benches to create arcs.....: 8
- Slope angle accuracy.....: Precise
**** Multiple Pit
- Perform multiple pit analysis.....: No
**** Subregions
- Number of subregions.....: 1
----- Parameters for Subregion 1 -----

```

```

- Name.....: Default Subregion
- Default dollar value.....: -100.0000
- Number of vertices.....: 4
  List:
    1: 32500.000  22200.000
    2: 32500.000  24408.000
    3: 34708.000  24408.000
    4: 34708.000  22200.000
- Subregion bench limits.....: -110.000 -> 190.000
- Block Model bench limits indices.....: 1 -> 30
- Benches to create arcs.....: 8
- Number of angles.....: 2
- Angle List (With Respect to Block Model in North Direction)..:
    1: 0.00  18.00
    2: 180.00  32.00

```

```

-----
*****
***** Lerchs & Grossmann 3-D Results *****

```

```

- Run Identifier for this project.....: eti_pit_100
- User comment.....:
- Block model name.....: eti_blok_100.bmf
- Resulting pit variable.....: result
- Block model dimensions (nx,ny,nz).....: (138,138,30)
- Number of blocks in the block model.....: 571320 blocks.
- Lowest and highest feasible bench.....: 2 - 30
- Number of feasible blocks for the optimiser: 193415 blocks.
  - 9383 Ore blocks (+),
  - 184032 Waste blocks (-),
  - 0 Air blocks (0).
- Maximum arcs for each block.....: 115 arcs.
- Number of arcs evaluated.....: 65701800 arcs.
- Number of feasible arcs to the optimiser...: 15197944 arcs.
- Number connections/disconnections made.....: 303706 connections.
- Processing time.....: 0:1:34 Hrs.
- Economic value from the optimum pit.....: 699272611.00
- Number of blocks to be mined.....: 167803 blocks.
  - 8675 Ore blocks (+),
  - 159128 Waste blocks (-),
  - 0 Air blocks (0).
- Statistics saved in log file.....: eti_pit_100.log
- Resulting pit saved in file.....: eti_pit_100.respit

```

```

*****

```

Tablo A.4. Lerchs-Grossmann Algoritması Analiz Sonuçları (40\$/ton Cevher İçin)

```

*****
          *                               *
        *   SOFTWARE  VULCAN             *
          *                               *
      *   LERCHS & GROSSMANN 3-D OPTIMISER   *
        *   Pit Optimiser Program           *
          *                               *
      *   LG_OPTIPIT Version 2.500         *
          *                               *
      *   - BASE POLYGONAL SUBREGIONS -     *
          *                               *
*****

***** PARAMETERS *****

**** General
- Parameters file name.....: eti_pit.opf
- Parameters version.....: 1.000
- Run ID for this project.....: eti_pit
- Optimisation engine.....: Lerchs & Grossmann 3D
- Resulting pit variable.....: result
- User comment.....:
- Build a report with resulting pits.....: Yes
- Delete files after optimisation.....: No
- Block model name.....: eti_blok.bmf
- Block model type.....: Sub-blocked
- Block model bearing.....: 90.00 deg.
- Block model dimensions.....: 138 x 138 x 30 = 571320
- Block size.....: 16.000 x 16.000 x 10.000 = 2560.000
**** Dynamic reblock
- Reblock on X direction.....: 1
- Reblock on Y direction.....: 1
- Reblock on Z direction.....: 1
- Reblocked block model type.....: Regular
- Reblocked block model dimensions.....: 138 x 138 x 30 = 571320
- Reblocked block size.....: 16.000 x 16.000 x 10.000 = 2560.000
**** Financials
- The economic block value is.....: Supplied
- Block value variable.....: netvalue
**** Air Criteria
- Use air blocks.....: All air blocks
- Fix air blocks after optimisation.....: No
**** Slope Interpolation
- Interpolation option.....: Apply total interpolation.
- Number of benches to create arcs.....: 8
- Slope angle accuracy.....: Precise
**** Multiple Pit
- Perform multiple pit analysis.....: No
**** Subregions
- Number of subregions.....: 1

----- Parameters for Subregion 1 -----

```

```

- Name.....: Default Subregion
- Default dollar value.....: -100.0000
- Number of vertices.....: 4
  List:
    1: 32500.000  22200.000
    2: 32500.000  24408.000
    3: 34708.000  24408.000
    4: 34708.000  22200.000
- Subregion bench limits.....: -110.000 -> 190.000
- Block Model bench limits indices.....: 1 -> 30
- Benches to create arcs.....: 8
- Number of angles.....: 2
- Angle List (With Respect to Block Model in North Direction)..:
    1: 0.00  18.00
    2: 180.00  32.00

```

***** Lerchs & Grossmann 3-D Results *****

```

- Run Identifier for this project.....: eti_pit
- User comment.....:
- Block model name.....: eti_blok.bmf
- Resulting pit variable.....: result
- Block model dimensions (nx,ny,nz).....: (138,138,30)
- Number of blocks in the block model.....: 571320 blocks.
- Lowest and highest feasible bench.....: 2 - 30
- Number of feasible blocks for the optimiser: 191400 blocks.
  - 8995 Ore blocks (+),
  - 182405 Waste blocks (-),
  - 0 Air blocks (0).
- Maximum arcs for each block.....: 115 arcs.
- Number of arcs evaluated.....: 65701800 arcs.
- Number of feasible arcs to the optimiser...: 15027723 arcs.
- Number connections/disconnections made.....: 503313 connections.
- Processing time.....: 0:8:23 Hrs.
- Economic value from the optimum pit.....: 163695688.00
- Number of blocks to be mined.....: 149814 blocks.
  - 7563 Ore blocks (+),
  - 142251 Waste blocks (-),
  - 0 Air blocks (0).
- Statistics saved in log file.....: eti_pit.log
- Resulting pit saved in file.....: eti_pit.respit

```

ÖZGEÇMİŞ

Murat Özkan, 1979 yılında İstanbul'da doğmuştur. 1996 yılında Fatih Vatan Lisesi'nden (İstanbul) mezun olmuştur. 1998–2002 yılları arasında Dumlupınar Üniversitesi (Kütahya) Maden Mühendisliği Bölümü'nde lisans öğrenimi görmüştür. 2003 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü'nde yüksek lisans öğrenimine başlamıştır. 2006 yılında da İstanbul Teknik Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü Açık İşletmeler Anabilim Dalı'nda araştırma görevlisi olarak göreve başlamıştır.