

**DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ÇİMENTO SANAYİİ HAMMADDE OCAĞI
ÜRETİM PLANLAMASI**

Hayer YALNIZ

**Eylül, 2006
İZMİR**

ÇİMENTO SANAYİİ HAMMADDE OCAĞI ÜRETİM PLANLAMASI

**Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Doktora Tezi
Maden Mühendisliği Bölümü, Maden İşletme Anabilim Dalı**

Hayer YALNIZ

**Eylül, 2006
İZMİR**

DOKTORA TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

Hayer YALNIZ tarafından **Prof. Dr. Ahmet Hakan ONUR** yönetiminde hazırlanan “**ÇİMENTO SANAYİİ HAMMADDE OCAĞI ÜRETİM PLANLAMASI**” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir **Doktora Tezi** olarak kabul edilmiştir.

.....
Prof. Dr. İsmihan BAYRAMOĞLU

Danışman

.....
Prof. Dr. Serdar KURT

Tez İzleme Komitesi Üyesi

.....
Assis. Prof. Dr. Halil ORUÇ

Tez İzleme Komitesi Üyesi

.....
Prof. Dr. Ülkü GÜRLER

Jüri Üyesi

.....
Assoc. Prof. Dr. Güçkan YAPAR

Jüri Üyesi

.....
Prof. Dr. Cahit HELVACI
Director
Graduate School of Natural and Applied Sciences

TEŞEKKÜR

Bu çalışmada büyük pay sahibi olan ve daima olumlu yaklaşımları ile beni yönlendiren ve çalışmanın danışmanlığını yapan hocam Sayın Prof. Dr. Ahmet Hakan ONUR'a teşekkürü bir borç bilirim. Ayrıca çalışmanın tüm aşamalarında, gerek bilgi ve gerekse manevi desteklerini esirgemeyen, çalışmanın sistematik bir yapıyla yürütölüp tamamlanmasına katkı sağlayan tez izleme komitesi jüri üyesi hocalarım Sayın Prof. Dr. Ercüment YALÇIN'a ve Sayın Doç.Dr. Hülya İNANER'e çok teşekkür ederim.

Diğer yandan bu çalışmanın tamamlanabilmesindeki desteğin yanı sıra, tüm doktora eğitimim sırasında da maddi ve manevi olarak sürekli destek aldığım, kurulduğu günden bugüne Ülkemizin en önemli sanayi kuruluşları arasında yer alan BATIÇİM Batı Anadolu Çimento Sanayi A.Ş 'ye kurumsal olarak teşekkür ederim.

Bilgisayar programlarının hazırlanmasında bana yardımcı olan Serhat ÖZGEL'e ve çalışmalarım sırasında bana her konuda destek olan Maden Mühendisliği Bölümünde görevli Öğretim Elemanlarına teşekkür ederim.

Hayer YALNIZ

İzmir - 2006

ÇİMENTO SANAYİİ HAMMADDE OCAĞI ÜRETİM PLANLAMASI

ÖZ

Üretim planlaması, tüm açık işletme madenciliğinde olduğu gibi, çimento sanayinde de sağlanması gereken hammadde parametrelerinin çokluğundan dolayı oldukça önemlidir. Farklı yapılarda kalker, kil, marn v.b. hammaddelerin üretim bölgesinde harmanlanması amacı ile sondaj verilerinden yararlanılarak otomatik bir üretim planının gerçekleştirilmesi çok önemlidir.

İlk olarak genel hatları ile üretim planlaması programı ortaya konduktan sonra, problemin çözümünde kullanılacak bilgisayar programı hazırlanmıştır. Arazi modellemesinde, ülkemizde çok fazla geçmişi olmayan ve tahmin yöntemleri içerisinde en iyilerinden biri olarak tanımlanan jeostatistik yöntemi, hem kullanım zorluğu ve hem de konunun uzman olmayan ellerde hatalı sonuçlara yol açabileceği için, insan faktörünü minimum kılan mesafelerin tersi yöntemi kullanılmıştır.

Söke bölgesinden elde edilen mevcut sondaj karotları kullanılarak arazi modellemesi mesafelerin tersi yöntemi ile yapılarak sonuçlar geliştirilen bilgisayar programında kullanılmıştır. Bu çalışmada amaç, farklı kimyasal yapıya sahip hammaddelerin kullanıldığı bir proseste, üretim devamlılığını sağlamak amacı ile işletme ömrü boyunca hammadde kullanımının optimizasyonunu gerçekleştirecek bir algoritma ve bilgisayar programı üretilmesidir.

Anahtar Sözcükler: Otomatik Üretim Planlama, Hammadde Kullanımının Optimizasyonu, Bilgisayar Programı, Algoritma, Mesafelerin Ters Yöntemi

PRODUCTION PLANNING OF A CEMENT FACTORIES LIMESTONE QUARRY

ABSTRACT

Production planning as it is in all open pit mining has been very important in cement industry as well, because of the large numbers of raw material parameters need. It is essential to realise an automatic production plan using the drillhole data in order to blend the different structured raw materials such as limestone, clay, etc. on the production site.

After roughly defining the production planning program, the computer software that would be used for solving the problem is designed. The geostatistical method, which does not have much of a history in our country and also defined as one of the best estimation methods, was discarded due to complexity of application and due to high possibility of human error, in case of usage by untrained users. Instead, the employed method is the inverse of distances method, which minimizes the human factor.

Using the available drill samples obtained from the Soke area, terrain modelling is performed using the inverse of distances method, and the results are used in the designed software. The main aim is to produce an algorithm and a computer software to perform the optimization of the raw material usage throughout the plant lifetime, in order to provide production continuity in a process where raw materials with different chemical structures are employed.

Keywords: Automatic Production Planning, Optimization of the Raw Material, Computer Software, Algorithm, Inverse Distances Method

İÇİNDEKİLER

Sayfa

DOKTORA TEZİ SONUÇ	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÖZ	iv
ABSTRACT.....	v

BÖLÜM BİR-GİRİŞ.....	1
-----------------------------	----------

BÖLÜM İKİ - ÇİMENTO HAMMADDELERİ.....	3
--	----------

2.1 Çimentonun Kimyası.....	3
2.1.1 Çimentonun Kimyasal Bileşimi.....	3
2.1.2 Hammadde Hazırlamada Etkili Kimyasal Parametreler.....	4
2.2.1.1 Silikat Modülü (SM)	4
2.1.2.2 Alüminyum Modülü (AM)	5
2.1.2.3 Kireç Doygunluk Faktörü (LSF).....	6
2.1.2.4 Magnezyum Oksit (MgO).....	6
2.1.2.5 Alkali (Na ₂ O ve K ₂ O), Kükürt ve Klorürler	7
2.1.2.6 Serbest Silis.....	8
2.1.2.7 Sıvı Faz	9
2.1.2.8 Kızdırma Kaybı.....	11
2.1.2.9 Pişebilirlik İndeksi	11
2.1.2.10 Pişebilirlik faktörü	11
2.1.3 Klinker Oluşumu ve Klinker Fazları	12
2.1.3.1 Klinker Oluşum Reaksiyonları	12
2.1.3.1.1 Katı Faz Reaksiyonları ile Mineral Oluşumu.....	13
2.1.3.1.2 Sıvı Faz Reaksiyonları ile Mineral Oluşumu	14
2.1.3.2 Klinkerin Soğutulması	14
2.1.3.3 Klinker Fazları ve Özellikleri	15

2.1.3.4 Klinkerin Birleşimi ve Yapısını Etkileyen Olgular	17
2.1.3.4.1 Hammadde Karışımının Bileşimi Homojenliği ve İnceliği	17
2.1.3.4.2 Pişirme Koşulları.....	18
2.1.3.4.3 Soğutma Koşulları.....	19
2.1.3.4.4 Sıvı Faz ve Özellikleri.....	19
2.1.3.4.5 Kömür Külünün Etkisi	19
2.1.3.4.6 Fırın Koşulları	20

BÖLÜM ÜÇ - ÇİMENTO ÜRETİMİNDE KULLANILAN

HAMMADELER.....	21
3.1 Yerin Yapısı	21
3.1.1. Volkanik (Magmatik) Kayaçlar	22
3.1.2 Sedimanter (Tortul) Kayaçlar	23
3.1.3. Metamorfik Kayaçlar	23
3.2 Çimento Hammaddeleri	23
3.2.1 Kalker (Kireçtaşı)	24
3.2.1.1 Kalsit	25
3.2.1.2 Aragonit	26
3.2.1.3 Mermer	26
3.2.2 Dolomit	26
3.2.3 Marn	27
3.2.4 Kil	28
3.2.4.1. Kaolen Grubu	28
3.2.4.2. Montmorillonit Grubu	29
3.2.4.3. Alkali İhtiva Eden Kil Grubu	29
3.2.5 Düzeltici ve Yardımcı Katkı Maddeleri	30
3.2.5.1 Kum	31
3.2.5.2 Boksit	31
3.2.5.3 Prit	31
3.2.5.4 Hematit	31
3.2.5.5 Alçı Taşı	31
3.2.5.6 Puzolanlar	32

3.2.5.7 Granüle Yüksek Fırın Curufu	33
3.2.5.8 Uçucu küller	33
BÖLÜM DÖRT-HAMMADDE KAYNAKLARININ MODELLENMESİ	34
4.1. Maden Yatağının Modellenmesi	34
4.1.1 Geometrik Yöntemler	35
4.1.1.1 Poligon Yöntemleri	35
4.1.2 Mesafelerle Ağırlıklandırma Yöntemi (Mesafelerin Ters Yöntemi).....	37
4.1.2.1 Mesafe Üssünün (Ağırlık Faktörü) Belirlenmesi.....	38
4.1.2.1.1. Metod 1.	38
4.1.2.1.2. Metod 2	39
4.1.2.2 Mesafelerin Ters Yönteminin Uygulanması.....	40
4.1.2.2.1.Etki Alanı.	40
4.1.2.2.2 Mesafe Üssü.	41
4.1.2.2.3 Etki Açısı.....	43
4.1.3 Jeoistatistik Yöntemi	44
4.1.3.1 Uzaklığa Bağlı İlişki Fonksiyonu (Variogram)	45
4.1.3.2 Variogram Modelleri	48
4.1.3.2.1 Doğrusal Model.....	49
4.1.3.2.2 De Wijsian Model	49
4.1.3.2.3 Küresel Model	50
4.1.3.3 Jeoistatistiksel Metod-Kriging	52
BÖLÜM BEŞ - AÇIK İŞLETME PLANLAMASI	54
5.1 Genel Bilgiler	54
5.2 Maden Sahasının Planlaması	54
5.2.1 Uzun, Orta ve Kısa Dönem Üretim Planlaması.....	57
5.2.2 Grafik Metotlarının Kullanılması	61
5.2.3 Yollar	62
5.2.4 Ön Hazırlık Kazı Safhası	64
5.2.5 Diğer Planlanma Kriterleri	65

5.2.6 Ekipman Seçimi.....	67
5.3 Optimal Açık Ocak Dizaynı	68
5.3.1 Açık Ocak Optimizasyonu.....	69
5.3.2 Blok Boyutu.....	72
5.3.3 Uzun Dönem Nihai Sınır Belirleme Yöntemi (Lerchs- Grossmann Algoritması).....	74
5.3.3.1 Değişken Şev Açıları	75
5.3.3.2 Hesaplama Gereksinimleri.....	78
BÖLÜM ALTI -PROJE SAHASININ GENEL DURUM.....	80
6.1 Coğrafi Durum	80
6.1.1 Coğrafi Konum	80
6.1.2 Bitki Örtüsü	80
6.1.3 İklim.....	80
6.1.4 Topoğrafya.....	80
6.1.5 Ulaşım ve Yerleşim	82
6.2 Projenin Amaç ve Gerekçesi	82
6.3 Üretim Miktarı.....	82
6.4 Proje Sahasının Genel Jeolojisi	83
6.4.1 Giriş	83
6.4.2 Stratigrafi	83
6.4.2.1 Şist-Fillit Birimi	85
6.4.2.2 Cankurtaran Kalker Birimi	86
6.4.2.3 Metamorfik Şistler ve Mermerler	89
6.5. Jeotektonik Evrim.....	89
6.6 Cankurtaran Kalker Sahasının Özellikleri.....	92
6.7 Söke Çimento Cankurtaran Kalker Sahasının İstatistiksel Verileri	93
BÖLÜM YEDİ - ÜRETİM PLANLAMASI BİLGİSAYAR PROGRAMI.....	103
7.1 Açık İşletmede Üretim Planlaması.....	103
7.2 Yazılan Bilgisayar Programı	104
7.2.1 Genel Bilgiler	104

7.2.2 Bilgisayar Programının Tanıtımı	105
7.2.3 Bilgisayar Programı ile Poligonların Oluşturulması	115

BÖLÜM SEKİZ - CANKURTARAN KALKER SAHASI ÜRETİM

PLANLAMASI..... 132

8.1 Cankurtaran Kalker Sahasının CaO, MgO ve SiO ₂ Kalite İçeriği Modellemesi	132
8.2 Cankurtaran Kalker Sahası Üretim Planlaması	136
8.2.1 Cankurtaran Kalker Sahası 2006 -2007 Dönemi (Birinci Yıl) Üretim Planı	138
8.2.2 Cankurtaran Kalker Sahası 2007-2008 Dönemi (İkinci Yıl) Üretim Planı	145
8.2.3 Cankurtaran Kalker Sahası 2008-2009 Dönemi (Üçüncü Yıl) Üretim Planı.....	147
8.2.4 Cankurtaran Kalker Sahası 2009 -2010 Dönemi (Dördüncü Yıl) Üretim Planı.....	151
8.2.5 Cankurtaran Kalker Sahası 2010 -2011 Dönemi (Beşinci Yıl) Üretim Planı.....	164
8.2.6 Kısa Dönem Üretim Planlarının Değerlendirilmesi	170

BÖLÜM DOKUZ – SONUÇ..... 174

KAYNAKLAR 178

BÖLÜM BİR

GİRİŞ

Bir maden yatağında üretimin ilk aşaması, o maden yatağını oluşturan cevherin tür, tenör, miktar ve dağılımını belirlemektir. Cevher rezervi ve dağılımı, sondajlardan alınan örneklerin jeolojik yorumları ile tahmin edilmektedir.

Çimento üretiminde kullanılacak hammaddelerin de tür, tenör, miktar, rezerv ve kalite dağılımını belirlemek amacıyla sondajlar yapılmakta ve bu sondajlarla ilgili yapılan deneysel çalışmalar sonucunda da cevher ile ilgili özellikler tanımlanabilmektedir. Çimento hammaddesi ocağının üretim planlaması tüm açık işletme madenciliğinde olduğu gibi, çimento üretimde sağlanması gereken hammadde kriterlerinin çokluğundan dolayı oldukça önemlidir.

Çimentolar, portland çimentosu klinkerinin bir miktar alçı taşı ve/veya uygun oran ve özellikte katkı maddeleri ile birlikte öğütülmesi sonucu elde edilen, havada ve su karışımı ile sertleşen hidrolik bir bağlayıcıdır.

Portland çimento klinkeri, kireçtaşı, kil veya marn'ın gerektiğinde silisli kum, demir cevheri gibi hammaddelerin klinkerin mineralojik bileşimini oluşturacak oranda karıştırılıp öğütülmesi ve en az sinterleşme sıcaklığına kadar pışirilerek soğutulmasıyla elde edilen bir üründür.

Hammaddenin bileşimi, klinker bileşimini ve bu bileşimin oluşturduğu fırın performansını büyük ölçüde etkilemektedir. Tesisin en ekonomik şartlarda çalışmasını sağlamak ve iyi kalitede çimento üretiminin gerçekleştirilmesi için hammadde karışımı (farin) hazırlamada bir çok kimyasal parametreler etkilidir. Bunlar, Silikat Modülü, Alüminyum Modülü, Kireç Doygunluk Faktörü, Magnezyum, Serbest Silis, Sıvı Faz, Pışebilirlik İndeksi ve Pışebilirlik Faktörüdür (Duda,1985).

Bu projede imento sanayi hammadde ocağı üretim planlaması yapılabilmesi için farklı yapılarda kalker, kil, marn gibi hammaddelerin üretim bölgesinde harmanlanması amacıyla sondaj verilerinden yararlanarak otomatik bir üretim planlaması gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma ile genel bir planlama stratejisi geliştirilerek Söke yöresindeki imento fabrikasından elde edilen verilere uyarlanmıştır.

İlk olarak genel hatları ile üretim planlaması ortaya koyulmuştur. Daha sonra problemin çözümü için Visual Basic programlama dili kullanılarak üretim planlamasını yapacak bilgisayar programları hazırlanmıştır. Daha sonraki aşamada Söke bölgesinden temin edilen eldeki mevcut sondaj karotları kullanılarak arazi modellemesi mesafelerin tersi yöntemi yardımı ile yapılmış ve sonuçlar geliştirilen bilgisayar programında kullanılmıştır. Bu projede amaçlanan, farklı kimyasal yapıya sahip hammaddelerin kullanıldığı bir proseste üretim devamlılığını sağlamak amacıyla işletme ömrü boyunca hammadde kullanımının optimizasyonunu gerçekleştirecek bir algoritma ve bilgisayar programı üretilmesidir.

BÖLÜM İKİ

ÇİMENTO HAMMADDELERİ

2.1 Çimentonun Kimyası

2.1.1 Çimentonun Kimyasal Bileşimi

Çimento, ister normal ister çabuk donan türden olsun, çoğunlukla kalsiyum silikatlardan oluşur ve esas olarak kireç (CaO) ve silis (SiO₂) ile daha az miktarda alumin (Al₂O₃) ve demir oksit'in (Fe₂O₃) homojen ve önceden saptanmış miktarlara göre karışımının kısmi ergimeye kadar pişirilmesi ile oluşan klinkerin öğütülmesiyle elde edilmektedir.

İsteğe uygun hammadde karışımının kısmi ergime derecesine kadar (%20-30 sıvı faz) pişirilmesiyle elde edilen klinker başına 4 kristal yapıda kalsiyum bileşiği karışımından oluşur, bunların ikisi silis, biri alumin, ötekide alumin ve ferrit oksitlerinin birlikte bulunduğu kalsiyum bileşikleridir. Klinkerde bu başlıca dört ana yapı taşı olan kireç (CaO), silis (SiO₂), Alumin (Al₂O₃) ve Demir Oksit (Fe₂O₃)'dan başka, alkali metal oksitler (Na₂O, K₂ O), Magnezyum (MgO) ve Kükürt (başlıca alkali metal ve kalsiyum sülfatları olarak) içeren ve klinkerin % 2-6'sı oranında bir miktarını oluşturan bir çok ikincil bileşikler de bulunmaktadır. Çeşitli hammaddelerden değişik prosesler ile üretilen klinkerin içerdiği ana bileşimler şunlardır;

1- Trikalsiyum Silikat	C ₃ S	(3 CaO.SiO ₂)	Alit
2- Dikalsiyum Silikat	C ₂ S	(2 CaO.SiO ₂)	Belit
3- Trikalsiyum Aluminat	C ₃ A	(3 CaO.Al ₂ O ₃)	Selit
4- Tetrakalsiyum Alumina Ferit	C ₄ AF	(4CaO.Al ₂ O ₃ .Fe ₂ O ₃)	Barun Millerittir.

2.1.2 Hammadde Hazırlamada Etkili Kimyasal Parametreler

2.2.1.1 Silikat Modülü (SM)

Bu modül, çimentodaki SiO_2 miktarının , Al_2O_3 ve Fe_2O_3 toplamına oranı olup şöyle ifade edilir.

$$\text{Silikat Modülü (SM)} = \frac{\text{SiO}_2}{\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3} \quad (2.1)$$

Silikat modülü, farinin fırın içindeki durumunu ve klinker kalitesini etkilemesi açısından en önemli parametrelerden biridir. Al_2O_3 ve Fe_2O_3 aleyhine SiO_2 miktarının artması pişme gücüne, daha fazla yakıt kullanımına, sinterleşmenin güç olması nedeniyle daha yüksek ısılarda pişirme gereğine neden olur. Yüksek silikat modülü, aynı zamanda fırın astarının aşınmasına da yol açtığı gibi donma başlangıcını geciktirmesi ve çimentonun dayanım kazanmasının yavaşlatması gibi istenmeyen bir takım etkilerde yapar. Silikat modülü düşük farinler kolay sinterleşir, kolay anzast oluşturur ve erken dayanım değerleri veren çabuk sertleşen çimento üretimine uygundur. Bu tür çimentolarda dayanım değerlerinde zamanla büyük bir artış olmamaktadır. Buna karşılık silikat modülü çok düşük olan hammadde karışımları ile çalışıldığında zaman zaman üretimi kesintiye uğratabilecek kadar kemer oluşumu nedeniyle fırının bloke olma tehlikesi ortaya çıkmaktadır. Silikat modülü içinde ideal bir değer vermek olanaksızdır, fakat genellikle bu modülün 2,2-2,6 arasında bulunması uygun görülür. Gerek farinin minerolojik bileşimi, gerekse öteki kimyasal parametreler bu değerlerin her fabrikaya göre değişik olmasına neden olmaktadır. Bundan dolayı en uygun silikat modülünü her fabrika hammadde karakteristiklerine göre, optimum pişme koşullarına ve klinker özelliklerine göre saptamalıdır (Duda,1985).

2.1.2.2 Alüminyum Modülü (AM)

Bu modül, çimentodaki alüminyum oksit-in demir okside oranı olup şöyle ifade edilir:

$$\text{Alüminyum Modülü (A.M)} = \frac{Al_2O_3}{Fe_2O_3} \quad (2.2)$$

Alüminyum modülünün düşük olması, çimento bileşiklerinin düşük ısılarda oluşumunu, dolayısı ile daha az yakıt kullanılmasını sağlar. Genellikle demir oksit, çimento bileşiklerinin oluşumunu kolaylaştırır, demir oranının yüksek olması pişmeyi kolaylaştırarak maliyetin düşmesine yol açar. Demir oranının yüksek olması ise sert ve yoğunluğu fazla bir klinker oluşturur ve dolayısı ile öğütmede zorluklara neden olarak üretim maliyetini artırır. Düşük alüminyum modüllü ham karışımlar, aynı zamanda sıvı fazın oluşmasını artırarak fırın verimini de olumlu yönde etkiler ve ortamda çok fazla serbest kireç oluşmayacağından yüksek C_3S veren çimento elde edilmesini sağlarlar. Diğer taraftan Alüminyum Modülü çok düşük ve hammadde karışımında yeterli silis de bulunmuyorsa klinkerde topaklanmalar gözlenir.

Bu modülün yüksek olması halinde pişme güçleşir ve yakıt sarfıyatı fazla olur. Yüksek alüminyum içeren bir farin, çimentonun çabuk donmasına ve ilk dayanımların yüksek olmasına yol açar.

Genellikle iyi kalitede bir klinker elde etmek ve en ekonomik sinterleşmeyi sağlamak için, Alüminyum Modülünün 1,5-2,5 arasında olması istenir. Yapılan çalışmalar ve gözlemler en iyi klinkerleşmenin, en düşük ısıda en çok sıvı faz oluşumunun sağlandığı alüminyum modülünün 1.38 değerinde meydana geldiğini göstermiştir (Duda,1985).

2.1.2.3 Kireç Doygunluk Faktörü (LSF)

Genelde amaç, mümkün olduğu kadar yüksek C_3S içerikli bir klinker üretmektir, tabiki bu, mevcut malzemenin toplam kompozisyonuna ve işletme koşullarına bağlı olan bir husustur. Bu potansiyel kireç doygunluk faktörü cinsinden ifade edilir.

$$\text{Eğer Alüminyum Modülü} > 0.64 \quad LSF = \frac{CaO}{2,8SiO_2 + 1,65Al_2O_3 + 0,35F_2O_3} \quad (2.3)$$

$$\text{Eğer Alüminyum Modülü} < 0.64 \quad LSF = \frac{CaO}{2,8SiO_2 + 1,1Al_2O_3 + 0,7F_2O_3} \quad (2.4)$$

Hammadde karışımının en önemli bileşeni olan CaO miktarının çok dikkatle hesaplanması gerekmektedir.

Kireç doygunluk faktörü yüksek hammadde karışımlarında, pişmenin sağlanabilmesi için yüksek yakıt miktarı gerekir, malzeme zor pişer, serbest kireç fazla olur ve ilk günlerdeki dayanımlar yüksektir ancak fazla serbest kireç hacim genleşmelerini artırır.

Düşük kireç doygunluk faktörü olan ham karışımlarda ise pişme kolaydır, ancak C_3S fazının az, C_2S fazının çok fazla oluşmasından dolayı dayanımlarda düşük olur.

Genellikle Portland çimentosu üretiminde iyi kalitede bir klinker elde etmek için kireç doygunluk faktörü 0,90-0,95 arasında tutulur (Duda,1985).

Modüllerin birbirleri ile de uyumlu olması iyi bir klinker üretimi için en önemli koşuldur.

2.1.2.4 Magnezyum Oksit (MgO)

MgO, sinterleşme ısını düşürerek pişmeyi kolaylaştıran bir maddedir. MgO miktarı yüksek olan hammadde karışımları, pişme bölgesinde topaklanarak fırının

çalışmasını etkilediği gibi, soğutucularda klinkeri çok iyi soğutma imkanı yoksa, MgO'in genleşme özelliğinden dolayı üretilen çimentonun düşük dayanımlı olmasına yol açar, MgO belli bir oranda CaO gibi davranır ve böylece çimentonun Kireç Doygunluk faktörünü etkin bir şekilde arttırır ve kompozisyonu büyük ölçüde etkiler. Bu bileşiğin C₃S'in yapısına katı çözelti olarak Alüminyum Oksidin bir kısmı ile birlikte reaksiyona girdiği bilinmektedir, magnezyum ve alüminyum oksit ikisi birlikte, mevcut Alite'in %5'ini oluşturabilir. Pişirme ısısında sıvı faz C₃A ve C₄AF'den oluşur, bu faza biraz silis ve kireç fazlası ile %5'e kadar MgO girebilmektedir. Klinker soğuduğu zaman MgO, C₃A ve C₄AF'nin yapısına girer ve bir ölçüye kadar da C₂S'de CaO'ya ikame edebilir. %2'ye kadar MgO'nun bu şekilde bünyede kalabildiğine ve çimento ana bileşikleri arasına girebildiğine inanılmaktadır (Brown; Bye,1989).

Hidratasyon sonucu MgO iki şekilde görülür (Öney, 1999).

- 1- Camsı halde; klinkerin ani soğutulması sonucu oluşur.
- 2- Kristal halde (periklas); hidrate olarak Mg(OH)₂ verir ve serbest kireçde olduğu gibi şişme yaptığından dolayı bu şekli tehlikelidir.

Bu serbest MgO, hidratasyona uğramış çimento harçları ve betonun harabiyetine yol açar, çünkü hidratasyonun yavaş olması nedeniyle zaten sertleşmiş olan materyalde tahrip edici genleşme kuvvetleri doğacaktır. İşte sırf bu yüzden çimentoda MgO için maksimum %5 sınırı getirilmiştir (Brown; Bye, 1989).

2.1.2.5 Alkali (Na₂O ve K₂O), Kükürt ve Klorürler

Fırına verilen farinin ve kullanılan yakıtın gaz fazındaki reaksiyonları nedeni ile ayrışma ve buharlaşma sonucu oluşan alkali, kükürt ve klorür bileşiklerinin fırın proses sistemi ve klinker kalitesine olan etkileri çok önemlidir. Bu bileşikler fırına beslenen farinle reaksiyona girdiği veya fırının soğuk bölgelerinde, ön ısıtma sistemlerinde yoğunlaştıkları zaman bir iç sirkülasyon meydana getirirler.

Alkali ve kükürt, klinker ve baca tozlarında genellikle alkali sülfat olarak bulunurlar. Stokiyometrik bir alkali fazlası bulunması durumunda baca gazlarındaki SO_2 miktarı düşük olmaktadır. Ortamda fazla miktarda kükürt varsa, atmosfere SO_2 çıkışı artacağı gibi, fırın sisteminde sülfat spurrit kemeri oluşumu da hızlanmaktadır ($2\text{CaO}.\text{SiO}_2.\text{CaSO}_4$). Bu durumda alkalice zengin hammadde kullanılmakla klinkerde kükürt absorplaması artar ve üretim olumlu yönde etkilenir.

Az uçucu alkali sülfatların aksine, alkali klorürler daha kolay buharlaşmakta ve pek az kısmı klinkere bağlanmaktadır. Farinde klorür miktarı %0.015'i aşar ve K_2O 20 g/kg klinkeri aşarsa fırında bypass yapılması gereklidir (Öney,1999).

Çimentolarda az miktarda alkali ve alkali sülfatların bulunması 28 günlük dayanımların artmasına neden olur.

Eğer toplam alkali miktarı ağırlıkça %1'den fazla ise 28 günlük dayanımlarda azalma olmaktadır.

Kükürdün (farin ve yakıttan SO_3 olarak gelen) toplam alkalilere moleküler oranı 0.80-1.25 arasında ise , fırın prosesi ve klinker kalitesi yönünden en uygun şartlar sağlanmış olur.

2.1.2.6 Serbest Silis

Hammadde ve dolayısı ile farinde serbest silis miktarı (kuvars) yüksekse ya da farinde silis kaynağı olarak kum kullanılıyorsa, kırıcıdan başlayarak fırın sistemine kadar pek çok sorunla karşılaşılır. Bu sorunların başlıcaları:

- a) Kırıcı aksamı çok çabuk aşınır,
- b) Farin değirmeni öğütme ortamı çok çabuk aşınır ve yıpranır,
- c) Farinin ince öğütülmesi gerektiğinden, değirmen sistemi buna uygun olarak dizayn edilmemişse enerji tüketimi yüksek olur,

d) Yeterince flax (genellikle demir) kullanılmadığı takdirde fırında anzast oluşmaz ve tuğlalar çabuk dökülür, çünkü, serbest silisin fırın astarını aşındırıcı etkisi tuğla ömrünün azalmasına yol açmakta olup, radyasyonla fırın cidarından ısı kaybını da artırmaktadır,

e) Pişme zorluğundan dolayı yakıt tüketiminin artması, gerek fırın ağzının gerek fırın gazlarının ısılarının artmasına neden olmaktadır.

Bütün bu yukarıda sayılan faktörler, üretim maliyetini artırır. Uygun oranda demir oksitin hammaddeye katılması ile yüksek silisli hammaddenin daha kolay erimesi sağlanarak yakıt tüketimini önemli ölçüde azaltmak mümkündür.

Üretim maliyetlerini etkilememesi açısından genellikle fırına verilen farinde serbest silisin %3'den fazla olmamasına dikkat edilir. Ancak yine bu yüzden miktarı da serbest silisin tane büyüklüğüne ve farinin inceliğine göre değişebilmektedir (Öney, 1999).

2.1.2.7 Sıvı Faz

Alumina, demir, magnezya ve alkaliler gibi düşük ısıda ergiyen elementler genellikle klinkerde oluşan sıvı fazın miktarını belirlerler. Ortamda bol miktarda bu oksitler bulunuyorsa klinker bileşenlerinin oluşum reaksiyonu çok daha kolay cereyan eder.

Silikat ve alüminyum modülü düşük olan hammadde karışımlarında:

- a) Fazla miktarlarda flax ve sıvı faz oluşur.
- b) Kolay anzast tutturulur (eğer ortamdaki serbest silis miktarı çok fazla değilse)
- c) Sinterleşme kolay olur.
- d) Oldukça yüksek yoğunluk gösteren bir klinker meydana gelir.

Ama, eğer bu oranlar çok fazla düşük ise o kadar fazla flax meydana gelir ki klinker, klinkerleşme ısısında adeta viskoz bir görünümde olup yapışma ve topaklaşmalara yol açar (Öney, 1999).

Sıvı fazın optimum miktarında olduğu bir farinde yüzey gerilimi yüksek olduğundan malzeme kolay akar, sinterleşme ve tanecikler arası reaksiyonlar hızlanır. Böyle bir farinden elde edilen klinker eğer randımanlı bir soğutucuda süratle soğutulmuş ise çok iyi bir mikro yapıya sahip olur.

Silikat ve alüminyum oranları yüksek olan hammadde karışımlarında:

- a) Sıvı faz ve flax miktarları düşüktür,
- b) Kolay anzast tutmadığından fırın cidarından radyasyonla fazla miktarda ısı kaybı olur,
- c) Güç sinterleşir,
- d) Elde edilen klinker oldukça poroz yapıda olup öğütmesi kolaydır.

Genellikle, fırında iyi anzast tutturma, yakıttan azami tasarruf sağlama ve elde edilen klinkeri en az enerji sarfı ile öğütebilme açısından ideal bir hammadde karışımından %25 dolaylarında sıvı faz elde edilir (Öney, 1999). Sıvı fazın hesabı aşağıda verilen Lea-Parker formülüne göre yapılmaktadır:

1450 °C ve Alüminyum modülünün 1,38'den yüksek olduğu durumlarda sıvı faz formülü:

$$Lf = 3.0 \text{ Al}_2\text{O}_3 + 2.25 \text{ Fe}_2\text{O}_3 + \text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O} + \text{MgO} \quad (2.5)$$

1450 °C ve Alüminyum modülünün 1,38'den düşük olduğu durumlarda sıvı faz formülü:

$$Lf = 8.5 \text{ Al}_2\text{O}_3 - 5.22 \text{ Fe}_2\text{O}_3 + \text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O} + \text{MgO} \quad (2.6)$$

2.1.2.8 Kızdırma Kaybı

Bu faktör, su ve CO₂'den oluşur. En basit şekliyle, su kısmen ilave edilen alçıtaşıdan gelen CaSO₄'e bağlı bulunur, kısmen de serbest kirecin bir kısmına Ca(OH)₂ olarak bağlanmıştır. CO₂ miktarı az olabilir, bu da serbest veya bağlı kirecin öğütme sırasında kısmi bir karbonasyonundan meydana gelir, ya da %1'e kadar bir kısım, genel ilave edilen alçıtaşıda mevcut olabilecek CaCO₃ ten ileri gelebilir (Brown; Bye, 1989).

2.1.2.9 Pişebilirlik İndeksi

Klinker için pişme kolaylığını gösterir. Bu index sayısının yükselmesi klinkerin daha zor pişeceğini gösterir (Peray, 1979).

$$\text{Pişebilirlik İndeksi} = \frac{C_3S}{C_4AF + C_3A} \quad (2.7)$$

2.1.2.10 Pişebilirlik faktörü

Pişebilirlik faktörü fırın işletmecisi için klinkerin zor veya kolay piştiğini göstermek için kılavuz olarak kullanılır. Daha yüksek pişebilirlik faktörü güç pişen bir klinker verir (Peray, 1979).

Pişebilirlik Faktörü: Kireç Doygunluk Faktörü (LSF) + 10 Silis Modülü (SM)

$$- 3 (\text{MgO} + \text{Alkaliler}) \quad (2.8)$$

2.1.3 Klinker Oluşumu ve Klinker Fazları

2.1.3.1 Klinker Oluşum Reaksiyonları

Döner fırına verilen hammaddeler kalsiyum karbonat, bir miktar magnezyum karbonat, kil veya marn ve su içerir. Meydana gelen reaksiyonlar basitçe şöyle sınıflandırılabilir (Öney, 1999).

- 1- Serbest suyun buharlaşması,
- 2- Kil bünyesinde bulunan bağlı suyun serbest kalması,
- 3- $MgCO_3$ 'ün ayrışması,
- 4- $CaCO_3$ 'ün ayrışması,
- 5- Kireç ile kilin birleşmesi

Bu reaksiyonlar tamamen ayrı ayrı olarak meydana gelmezler, çoğunlukla 4 ve 5 nolu reaksiyonlar beraber oluşur, ancak başlangıç birinci reaksiyondur.

Serbest suyun buharlaşması 100 °C'de, kilin bünyesindeki bağlı suyun serbest kalması ise 500 °C'de başlar. Killer değişik miktarlarda birleşmiş SiO_2/Al_2O_3 oranı (2-5)/1 arasında değişen aluminasilikatlardır. Bazı killerde demir oksit esas bileşendir. Kil bileşenlerinin en basitlerinden biri olan kaolinit $2SiO_2Al_2O_3.2H_2O$, 500-600 °C'de suyunu kaybeder. Kil mineral cinslerine göre suyun serbest kalma dereceleri farklıdır.

$MgCO_3$ yaklaşık 600-700 °C'lerde ayrışmaya başlar, yine kullanılan hammadde cinsine göre sıcaklık değişebilir.

Klinker minerallerinin oluşumu, katı faz ve sıvı faz reaksiyonları olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır:

2.1.3.1.1 Katı Faz Reaksiyonları ile Mineral Oluşumu. Klinker minerallerinin oluşumu, C_3S oluşumu hariç katı faz reaksiyonları sonucu olur. Bu reaksiyonların kinetikleri aşağıdaki önkoşullar tarafından belirlenir (Öney, 1999).

- Reaksiyona giren partiküllerin tane büyüklüğü
- Sıcaklıklar
- Kristal kafesteki bozukluklar.

Pişecek hammadde de kalsiyum karbonat ve diğer önemli komponentler arasındaki reaksiyonlar yaklaşık $550\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de başlar, yani kesin olarak CaCO_3 'ün ayrışma sıcaklığı olan $900\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'nin altındadır. Bu durumda gösterir ki $550\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de bile çok düşük olan kalsitin ayrışma basıncı, diğer önemli komponentler tarafından kesinlikle yükseltilir, bu önemli komponentler SiO_2 , Al_2O_3 ve Fe_2O_3 'dür.

Kil minerallerinin dehidratasyon ($400\text{-}750^{\circ}\text{C}$) ve bozunması ($700\text{-}1000^{\circ}\text{C}$) ile yüksek reaktivitede oksitler meydana gelir. Kil minerallerinin ve CaCO_3 'ün bozulması ile yeni fazların katı reaksiyonlarla oluşumu aynı anda olur. Montmorillonit ve illit kaolene nazaran çok daha az reaktiftir ve benzer reaksiyonlar için çok daha yüksek sıcaklıklara ihtiyaç vardır.

Farindeki kuvars kristalleri, $800\text{-}1000\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de Na, K, Fe ve Al iyonları katalizörlerinin etkisi altında reaktif Cristobalite dönüşür.

Sonuçta açığa çıkan bu komponentler, CO_2 'i zincirinden (molekül grubundan) çıkarak, dikalsiyum silikat, düşük kireç miktarı ile mono kalsiyum aluminat ve kalsiyum alumina ferritleri meydana getirirler. Serbest CaO, proses sırasında meydana gelen CaO diğer komponentlere bağlandığı için, henüz oluşmamıştır.

Önemli miktardaki serbest kireç ancak sıcaklık 900°C 'yi geçtiği zaman meydana gelir, çünkü o zaman ayrışma basıncı atmosferik basınca ulaşır ve karbon dioksit, CaO başka bir komponente bağlanmadan daha çabuk ayrılır. $1000\text{-}1100\text{ }^{\circ}\text{C}$ arasında C_2AS gibi geçici bileşikler oluşurken, C_3A ve C_4AF 'in oluşumu $1000\text{-}1200\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de

büyük ölçüde tamamlanır ve oldukça fazla miktarda serbest kireç oluşur. 1200-1250 °C de katı faz reaksiyonları tamamlanmış olur.

2.1.3.1.2 Sıvı Faz Reaksiyonları ile Mineral Oluşumu. 1250-1280 °C civarında klinker erimesi olarak nitelenen pişecek malzemede sıvı faz oluşur. Burada oluşan tek reaksiyon CaO ile C₂S'in birleşmesi olup, oluşan ürün C₃S'dir.

Serbest kirecin konsantrasyonu, 1280 °C civarında sıvı klinker faz oluşumu başladığı zaman önemli miktarda azalır. Serbest kirecin çok belirgin azalması 1250 °C üzerinde sabit olan ve yalnız sıvı faz varlığında çabucak oluşan trikalsiyum silikatın oluşumundan sonra olur.

C₃S oluşumu 1450 °C'de tamamlanır. Reaksiyon ürünleri C₃S, C₂S, C₃A, C₄AF ve birleşime girmeyen serbest kireçtir (Öney,1999).

2.1.3.2 Klinkerin Soğutulması

Klinker, fırın içinde sinter bölgesinden sonraki soğutma bölgesinden başlayarak soğutma ünitesi sonuna kadar soğutma işlemine tabi tutulur.

Soğutma esnasında 1250 °C altındaki sıcaklıklarda C₃S tersinir bir reaksiyon gösterir:



Burada oluşan C₂S dayanımları azaltacağı gibi, serbest kireç de betonda tehlikeli genleşmelere neden olur. Yukarıdaki reaksiyonda denge 1450 °C dolayında sabittir ve ani soğutma ile tersinir reaksiyon önlenir. Klinker soğutma hızı kristal ve cam faz arasındaki bağıntıyı etkiler ve hızlı soğutma durumunda yeniden kristallenme önlenir.

Genel olarak klinker oluşum reaksiyonları aşağıdaki tabloda belirtildiği gibi sınıflandırılır (Öney,1999):

800 °C altında	:CaO.Al ₂ O ₃ ve 2CaO.SiO ₂ oluşumunun başlaması,
800-900 °C	:C ₂ AS oluşur ve tekrar parçalanır. C ₃ A ve C ₄ AF oluşumu başlar ve serbest CaO maksimum değere ulaşır.
100-1200 °C	:C ₃ A ve C ₄ AF'nin büyük kısmı oluşur ve C ₂ S maksimuma'a ulaşır, ilk likit oluşumu başlar.
1260-1450 °C	:Serbest kirecin gittikçe kaybolması ile C ₃ S oluşur.

Bu tablo ancak bir yaklaşımdır ve klinker bileşiklerinin oluşumuna geniş ölçüde uyar. Yukarıdaki kademeler birbirleri ile çakışabilir ve hammaddedeki herhangi bir homojensizlik gelişmeyi önler. Karışımda 1260°C ve daha üstünde likit mevcut oluncaya kadar C₃S'in oluşumu 1350-1450 °C'de, kalan CaO değeri çok azaldığı zaman tamamlanır. Klinkerleşme sıcaklığına ulaşıldığında, alumin, demir oksit ve minör elementlerin büyük bir kısmı likit faza geçer ve katı C₃S, C₂S ve bazen serbest kireç de içerir. Soğutmakla bu likitin kristilazasyonu, minör komponentlerden ileri gelenler çeşitli komponentler gibi C₃A ve C₄AF bileşiklerini tekrar verirler.

2.1.3.3 Klinker Fazları ve Özellikleri

Klinker fazlarının genel kalitesi, hammadde içinde bulunan farklı safsızlıklar ve ikinci derecedeki bileşenler nedeniyle, fazlar içinde aşağıda sıralanan olgulardan tümünün veya bir kısmının aynı anda meydana gelmesinden muhtemelen etkilenmektedir (Öney, 1999).

- 1- Katı çözeltilinin oluşması
- 2- Farklı polimorfik formların stabilizasyonu
- 3- Düzenlilik-Düzensizlik olgusu
- 4- Yapısal bozukluklar
- 5- Katı çözeltilinin aşırı doygunluğu veya ayrışması
- 6- Oksitlerin stokiometrisindeki değişim

Klinker fazlarında oluşan ve yukarıda sözü edilen bu olguların etkileri tek tek ele alınınca farklı, bir arada düşünüldüğündeyse oldukça karmaşıktır.

C_3S , trikalsiyum silikat, $(3CaO.SiO_2)$ klinkerin hidrolik özelliği en yüksek olan ve klinkere yüksek dayanım özelliği kazandıran en önemli mineralidir. Trikalsiyum silikat, portland çimento klinkerinin en önemli yapı taşı olup kristal yapısındaki özellik nedeniyle çimentonun erken dayanım kazanmasını sağlamaktadır. C_3S 'nin artması ile çimento değirmenlerinde öğünme kolaylaşır. Normal portland çimentosu klinkerinde C_3S 'in %55-64 arasında olması gerekir, Klinkerde C_3S , %65'den fazla ise pişme zorluğunun yanında çimento dayanımı da düşer. Ayrıca iyi anzast da oluşmaz.

C_2S , dikalsiyum silikat $(2CaO.SiO_2)$, ilk dayanımı ve hidrasyon ısısı düşük bir mineraldir. Portland çimentosu klinkerinde %20-25 kadar C_2S bulunur. C_3S çimentonun geç dayanım kazanmasında etkindir. C_3S ve C_2S miktarları farin bileşiminin ve pişme ısısının bir fonksiyonudur. Düşük ısıda sinterleşme C_2S 'in fazla, C_3S 'in az oluşmasına yol açtığı gibi serbest kireç yüzdesi de yüksek olmaktadır. Sinterleşme ısısı farin özelliklerinin bir fonksiyonudur. Yüksek C_3S (düşük C_2S), hem hidrasyon ısısının hem de ilk dayanım değerlerinin yüksek olmasına neden olur C_3S düşük (C_2S yüksek) ise hidrasyon ısısı düşüktür ve ilk dayanımlar yavaş kazanılır.

C_3A , trikalsiyum aluminat $(3CaO.Al_2O_3)$, hidrasyon hızı en yüksek olan bir klinker mineralidir ve ilk dayanımlar üzerinde etkisi olumludur. C_3A , klinkerin işlenebilirliğini sağlar. Portland çimentosu klinkerin optimum C_3A 'nın %8-12 arasında olması istenir; bu değer üzerinde C_3A bulunması çimentonun dayanımını azaltmaktadır.

C_4AF , tetrakalsiyum alumina ferrit $(4CaO.Al_2O_3.Fe_2O_3)$ çimentonun rengini etkileyen bir komponenttir. Dayanım üzerinde olumlu bir etkisi yoktur. Optimum C_4AF miktarı %10-13'tür, ancak bunu aşan değerlerde çimentonun dayanımını azalttığı bilinir.

Serbest kireç, (Serbest CaO) pişme sırasında silis, aluminyum ve demir oksite bağlanmamış olan kireçtir.

Serbest kireç oluşum nedenleri:

- 1- Çok düşük ısıda sinterleşen ve pişme güçlüğü gösteren bir hammadde karışımı,
- 2- Farinin kaba öğütülmüş olması,
- 3- Hammadde karışımında serbest silis bulunması,
- 4- Teorik olarak tüketilebilecek miktardan fazla kireç kullanılmış olması.

2.1.3.4 Klinkerin Birleşimi ve Yapısını Etkileyen Olgular

Klinkerlerde arzu edilen minerolojik ve mikro yapısal özelliklere ulaşabilmek çok sayıda parametrenin kontrolüne bağlıdır. En önemli olanları (Öney, 1999):

- 1- Ham karışımın bileşimi, homojenliği ve inceliği
- 2- Pişirme koşulları
- 3- Soğutma programı
- 4- Sıvı faz ve özellikleri
- 5- Kömür külünün etkisi
- 6- Fırın atmosferi

2.1.3.4.1 Hammadde Karışımının Bileşimi Homojenliği ve İnceliği.

Hammaddeleri reaksiyona girme özellikleri, klinkerlerin iyi bir şekilde pişmesini sağlayan temel koşuldur. Homojenlik iyi bir şekilde sağlanmamışsa, klinkerde uniform bir mikro yapının gelişmesi güçleşir. Tam anlamı ile homojen bir karışım sağlamak çok zordur. Daima alumina-alumina, alumina-kuvartz, kuvartz-kuvartz v.b. tanecik teması söz konusu olacaktır. O halde bir ham karışımında temel oksitler makro düzeyde olsalar bile mikro düzeyde homojenlik olmayacaktır. Ancak çok elverişli yakma koşulları altında, ham karışımın mikro hacimlerdeki sıvı damlacıklarının uniform bileşime sahip olmaları ve mikro yapının uniform gelişmesi mümkündür.

Ham karışımların homojenliği ve inceliği, büyük ölçüde birbiriyle ilişkilidir. Genel tecrübe, fırına verilen beslemede 100-120 mikrondan büyük parçacıklar bulunmadığı taktirde, döner fırınlarda yakma işlemi sırasında mineral oluşumunun kolayca tamamlandığını göstermektedir. Aksi halde üniform bir yapı oluşmamaktadır. İri kuvars taneciklerinin olduğu bir durumda, fırında mümkün olandan çok daha uzun süreli bir pişirme işlemi ile olumsuzluk giderilebilecektir. Eğer fırına yapılan beslemede ham karışım parçacıklarından %5-10 kadarı 100 mikron üzerindeyse bu durum iyi bir kristal yapının oluşmasında sorunlar yaratmaktadır. Yüksek dayanımlı ve çabuk sertleşen çimentolar için genellikle ham karışımın inceliğini 60 mikronun altında tutmak gerekmektedir. Ham karışımın inceliği mikro yapı dışında kristal büyüklüğünü de etkilemektedir. İnce öğütülmemiş hammaddeler, bazen iki aşamalı dekarbonizasyon ve iki aşamalı silikat fazı oluşturduğu gözlenmiştir. Böyle iki aşamalı oluşan belit kristallerinin ortalama ve maksimum boyutları tek aşamalı oluşuma göre daha büyüktür. Bunun sonucu olarak belitlerin ayrışması ve alit oluşumu da çok aşamalı ve normal olarak daha yüksek sıcaklıklarda meydana gelmektedir. Bu durum mikro yapıyı ve oluşan çimentonun kalitesini etkilemektedir.

2.1.3.4.2 Pişirme Koşulları . Klinker pişirmede sıcaklık en azından alit fazının oluşması için yeterli olmalıdır. Pratik stabilite göz önüne alındığında, sinterin minimum sıcaklığı 1250°C'dir. Alit oluşumunun çok hızla gerçekleştirilmesi gerektiğinden, pişirme işlemi genellikle daha yüksek, 1400-1500°C'ye varan sıcaklıklarda yürütülür.

Sinterleşme bölgesinde belit ve serbest kireçten alit olduğu sırada reaksiyonun hızı ve ortam sıcaklığı bu fazın büyüklük ve kalitesini kontrol etmede oldukça önemlidir. Sıcaklık ne kadar yavaş yükselirse, belit fazıda o derece büyük olacaktır. Serbest kireç kristallerinin büyümesi hızlandıkça belit, serbest kireç ve sıvının birbirleriyle reaksiyonu yavaşlayacaktır. Bunun sonucu olarak alit kristalleri büyüyecektir. Fırında malzemenin kalış süresini uzatmak da alit kristallerinin büyüklüğünün arttırılmasına neden olur.

2.1.3.4.3 Soğutma Koşulları. Yapılan araştırmalarda, çabuk soğutulan klinkerin, özellikle ilk kademelerde çimentonun dayanımını oldukça artırdığı görülmüştür.

Ayrıca, soğutmanın klinkerin kalitesi üzerindeki çeşitli etkileri de gözlenmiştir, bunlar (Öney, 1999):

- 1) Çabuk soğutma, tümüyle veya kısmen C_4AF fazının kristalleşmesini önlemektedir, Nispeten daha yavaş yapılan soğutmalarda C_4AF kristalleşmektedir.
- 2) Klinkerin çabuk soğutulması C_3A 'nın daha aktif olmasına yol açar.
- 3) %2,5'dan daha fazla MgO içeren çabuk soğutulmuş klinkerler daha az otoklav genişmesi yaratır, çünkü, MgO 'ın büyük bir kısmı klinker bileşenlerinin içinde katı çözelti olarak kalır ve periklas olarak kristalleşen MgO daha az genişleme yaratan küçük kristaller halindedir.
- 4) Çabuk soğutulan klinkerlerde elde edilen alit ve belit kristalleri yüksek hidrolik özellik gösterir.

Tüm bu gözlemler daha iyi bir klinker mikro yapısı ve alite için çabuk soğutmanın arzu edilir olduğunu göstermektedir.

2.1.3.4.4 Sıvı Faz ve Özellikleri. Sıvı fazın klinkerlerin oluşmasında önemli bir rol oynadığı çok iyi bilinmektedir. Ayrıca, optimum sıvı içeriği, daha yüksek sıvı yüzey gerilimi ve daha düşük viskozitenin daha iyi klinkerleşme sağladığı da bilinmektedir.

O halde, optimum sıvı içeriğine ulaşabilmek veya eriyiğinin fiziksel özelliklerini geliştirmek için atılan adımların, daha iyi bir klinker mikro yapısı sağlayacağı açıktır.

2.1.3.4.5 Kömür Külünün Etkisi. Fırınlarda kullanıldığında, mikro yapısal ve minerolojik bakımdan klinker kalitesi değerlendirilirken kömür külünün etkisi göz önüne alınmak zorundadır. Kömür külü klinkerleri iki şekilde etkiler (Öney,1999):

- Mineral faz içeriğini önemli ölçüde değiştirerek,
- Bunların mikro yapısını düzelterek.

Ergimiş külün, küçük temas açısı olan klinker topakları üzerinde oldukça belirgin bir örtme kapasitesi vardır. Bu nedenle kül dış yüzeyden klinkerdeki çatlak ve açıklıklara hızlı nüfuz edebilmekte ve bu şekilde reaksiyon için gerekli alanı arttırmaktadır. Temas yüzeylerinde direkt reaksiyonlarla kireç yavaş yavaş klinkerden küle aktarılır. Bu klinkerlerde kül tabakası ile bir bölgesel reaksiyona yol açabilir. Bu tür kül-klinker reaksiyonunun bir sonucu olarak daima klinkerlerde mikro düzeyde homojen olmayan bir oluşum söz konusudur. Bu olumsuzluğu yenmek için reaksiyon hızı arttırılmalıdır, bu da pişirme bölgesinde sıcaklık yükseltilerek yapılabilir.

2.1.3.4.6 Fırın Koşulları. Denemeler, klinkerin pişirilmesi için oksitleyici bir atmosfer gerektiğini ortaya koymuştur. Fırının özellikle sinterleşme ve soğutma bölgelerinde bol miktarda hava bulunması gereklidir. Fırın çıkış gazında ön ısıtıcıya girmeden önce hacmen %1-2 O₂ bulunması fırında indirgen koşulların bulunmadığını kabul etmek için yeterli bir veri değildir. Bu alevin biçimine, yakıtın atomize edilmesine, yakıtın sıcak hava ile fırına verilen malla tam olarak temas etmeden önce tam olarak yanmasına geniş ölçüde bağlı olan bir husustur.

İndirgen ortamda pişirilen klinkerin en belirgin özelliği renginin kahverengi olmasıdır. İndirgen ortamda pişen ve yavaş soğuyan klinkerlerde donma zamanı kısaldığı gibi son dayanım değerleri de oldukça düşük olmaktadır. İlk dayanım değerleri ise o kadar etkilenmemektedir. Donmanın çabuk olmasının nedeni, hesaplamalardan daha fazla C₃A teşekkül etmiş olmasıdır. C₃A'nın fazla miktarda oluşumunun nedeni de demirin bir kısmının indirgenmesinden ötürü alüminaferritin bileşimine girmemesidir. Dayanımların düşmesi de , iki değerlikli demirin pişme sırasında C₃S yapısında tutulması ile açıklanabilir (Öney, 1999).

BÖLÜM ÜÇ

ÇİMENTO ÜRETİMİNDE KULLANILAN HAMMADDELER

3.1 Yerin Yapısı

Çimento üretiminde ara bileşen klinkerdir. Klinker, kireçtaşı, kil veya marn'ın gerektiğinde silisli kum, demir cevheri gibi hammaddelerin klinker mineralojik bileşimini oluşturacak oranda karıştırılıp öğütülmesi ve en az sinterleşmeye kadar pişirilmesiyle elde edilen bir üründür.

Çimento üretiminde doğada bol miktarda bulunan hammaddeler kullanıldığına göre, öncelikle dünyanın kimyasal yapısı hakkında bilgi edinmek faydalı olacaktır.

Dünyanın ekvator kuşağından kesip içine bakıldığında, başlıca beş tabakadan meydana geldiği görülür (Perçin,1984).

Bu tabakalar sırası ile :

- En içteki tabaka yaklaşık 1300 km yarı çapında bir iç çekirdekten oluşmuştur.
- Bu iç çekirdeğin etrafında, muhtemelen 2200 km kalınlığında bir çekirdek kabuğu vardır. Bu tabakanın özgül ağırlığının 8 civarında olduğu ve demir nikel gibi elementlerce zengin olduğu tespit edilmiştir. Nife tabakası da denir.
- 2800 km kalınlığında yoğun kayalar kitlesi, Silikon ve magnezyumca zengin olup Sima tabakası denir.
- Bu kitlenin etrafında mono-jeolojik bir tabaka vardır.
- En üstte, ortalama kalınlığı 16km. olan taşlı bir tabaka vardır ki bu kabuğun kalınlığı dağlık arazide daha fazla ve deniz diplerinde daha azdır. Silikon-Aluminyum ağırlıklı olup Sial'de denir.

Bu tabaka litosferin dış kabuğudur. Litosfer yer yer su ile kaplanmıştır (hidrosfer) ve tamamı bir gaz tabakası içindedir.

Yer küresi, ilk önceleri yanıcı bir gaz kümesi şeklinde idi. Bu gazın soğuması ile “Mağma” oluşmuş (Nebula hipotezi), daha sonra, çekirdek üzerindeki yüksek basınç ve kristalizasyon neticesinde katılaşmaya başlamıştır.

16 km. derinliğe kadar olan yer kabuğunun kompozisyonu, 500 çeşit volkanik kayacın yapılan analizleri neticesinde ortaya çıkarılmıştır. Bu analizlerin neticesine göre, sadece 9 elementin miktarı %1’den fazladır. Diğer bütün elementlerin toplam miktarı %2 civarındadır. Bu elementler şunlardır:

<u>%1’den fazla olanlar, %</u>	<u>%1’den az olanlar, %</u>
O : 49.13	Ti : 0.61
Si : 26.00	C : 0.35
Al : 7.45	Cl : 0.20
Fe : 4.20	P : 0.12
Ca : 3.25	S : 0.10
Na : 2.40	Mn : 0.10
K : 0.35	
Mg : 2.35	
H : 1.00	

Mineraller denge halindeki özel sıcaklık ve basınç ortamında meydana gelirler. Bunlardan biri değiştiğinde denge bozulacağı için yeni mineraller oluşur.

Yeryüzündeki kayaçlar, oluşum şekillerine göre aşağıdaki şekilde sınıflandırılırlar (Perçin, 1984).

3.1.1 Volkanik (Magmatik) Kayaçlar

Bunlar, mağmanın soğuması ve katılaşması ile meydana gelirler. Yanardağların püskürmesi sırasında lavlar dışarı atılır ve soğuyarak katılaşır. Volkanik kayaçlara örnek olarak; granit, bazalt ve andezit sayılır.

3.1.2 Sedimenter (Tortul) Kayaçlar

Genellikle primer kayaçların bozunmaları ve bunların rüzgar, su, dalga, akıntı veya yerçekimi gibi nedenlerle taşınarak birikip paralel katmanlar oluşturması ile meydana gelirler.

Sedimenter kayaçlar yeryüzünün dörtte üçünü oluşturmaktadır. Bu kayaçların en önemlileri kireç taşı, marn, kum, kil ve silttir.

Sedimenter kayaçlar üç şekilde meydana gelirler:

a- Detrital: Kayaçların mekanik ufalanması ve sonradan farklı partiküllerin betonlaşmasıyla oluşur.

b- Organik : Canlı organizmalara ait biyokimyasal aktivitelerin, şeylerin zamanla birikimiyle oluşur

c- Kimyasal: Suda çözülmüş kalsiyum bikarbonat, demir, silikon ve alkali içeren bileşiklerin çökmesi sonucunda meydana gelir.

3.1.3 Metamorfik Kayaçlar

Lavların yüksek sıcaklıkları, sıcak mevsimler ve tabii gazların sebep olduğu ısı, basınç ve gerilim gibi etkenler neticesinde yer kabuğu içinde bulunan katı maddelerdeki mineral ve kayaçların yapı ve bünyelerinin değişmesi neticesinde meydana gelirler. Bu kayaçlara örnek olarak mermer, kuvarsit, mikaşist ve serpantin gösterilebilir.

3.2 Çimento Hammaddeleri

Portland çimentosu %70'den fazla Ca silikatlardan oluşan bilhassa dikalsiyum ve trikalsiyum silikat ve diğer aluminaferit ve aluminatlardan oluşmaktadır. Bu nedenle çimento imal etmek için element olarak Ca, Si, Al ve Fe gerekmektedir. Bu hammaddelerin fazla miktarlarda kullanıldığını düşünürsek maliyetin düşük olması için yukarıdaki elementleri içeren mineralleri doğal olarak bünyesinde bulunduran

hammadelerin kullanılması gereği ortaya çıkar. Bu nedenle kayalar ve mineraller çimento endüstrisinin başlıca hammadde kaynaklarını oluşturmaktadır.

Klinker hammadde karışımının öğütülmesi ve en az sinterleşme sıcaklığına kadar pişirilmesi ile elde edildiğine göre, çimento üretiminde, hammaddelerin kimyasal ve minerolojik özelliklerinin önemi büyüktür.

Bilindiği gibi klinkeri oluşturan hammadde karışımı esas iki bileşenden oluşur. Bunlar doğada bol miktarda bulunan kalsiyum karbonat ve aluminasilikatlardır. Bu hammaddelerde aranılan temel nitelikler ise:

- Kompozisyonların uygunluğu
- Üretim süreçlerindeki fiziksel uyum(kırma, öğütme, harmanlama vs.)
- Isısal birleşebilme yetenekleridir.

3.2.1 Kalker (Kireçtaşı)

Kalker, detrital, organik veya kimyasal orjinli bir sedimenter kayadır. Çimento klinkerinin elde edilmesinde, CaCO_3 'ün bütün jeolojik oluşumları kullanılabilir. Portland Çimentolarda kullanılan kireçtaşlarının kimyasal özelliklerini gösteren Tablo 3.1 de verilmiştir.

Tablo 3.1 Portland çimentosunda kullanılan kireçtaşlarının kimyasal kompozisyonları (Duda, 1985)

	1	2	3	4
% İçeriği	Kireçtaşı	Kireçtaşı	Kireçtaşı	Kireçtaşı
SiO ₂	3.76	6.75	4.91	4.74
Al ₂ O ₃	1.10	0.71	1.28	2.00
Fe ₂ O ₃	0.66	1.47	0.66	0.36
CaO	52.46	49.80	51.55	51.30
MgO	1.23	1.48	0.63	0.30
K ₂ O	0.18	Çok az	Çok az	0.16
Na ₂ O	0.22	Çok az	Çok az	0.28
SO ₃	0.01	1.10	0.21	-
Kızdırma Kaybı	40.38	39.65	40.76	40.86
Toplam	100.00	99.96	100.00	100.00

Kalkerlerin sertlik dereceleri Mohs skalasına göre 1.8-5.0 arasında değişmektedir.

Özgül aralıkları 2.2.-2.9 gr/cm³ arasındadır.

Kalkerler tabiatta saf olarak bulunmazlar. Bünyelerinde bulunan düşük miktarlardaki SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃ gibi yabancı maddeler, kalkerlerin saflığını ve rengini etkiler. Kalker; kalsit ve aragonit diye bilinen iki mineral halinde bulunur.

3.2.1.1 Kalsit

Doğada en çok bulunan kalker mineralidir. Oldukça değişik bir kristal yapıya sahiptir. Kalsitin sertlik derecesi 3, özgül ağırlığı 2.7 gr/cm³ tür.

Mükemmel bir rombohedral dilinimi bulunmaktadır. Kalsit saf olduğunda bazen berrak olmasına rağmen genelde opak ve beyazdır. Asit içerisinde çözündüğünde CO₂ kabarcıkları çıkarır. Kalsitin ana oluşumları aşağıda verilmiştir.

Beyaz mermer	= Çok ince kristallerden oluşmuş saf kalsittir.
Traverten	= Betonumsu ve kesif bir yapıya sahip olup genelde mağaralarda bulunur. Yoğun ve serttir, opaktır.
Tüf	= Beyaz olup travertenin gözenekli kalıntılarından meydana gelir.
Tebeşir	= Beyaz ve yumuşak olup, mikro organizmalardan meydana gelmiştir.
Albathır (albatre)	= Bir traverten çeşidi olup serttir. Süs eşyaları yapımında kullanılır.
Oniks (onyx)	= Bir albatre çeşidi olup, albatre göre daha parlak ve yarı şeffaftır.
Saten Taşı	= Liflerden oluşmuş, ipek gibi görünümü vardır.

3.2.1.2 Aragonit

Kimyasal yönden kalsitten farklı olmayan aragonit kristal yapısı değişik olup ortorombik özellik gösterir. Doğada yaygın olarak bulunan kalsitlere nazaran daha sert ve daha ağırdır. Sertlik derecesi 3.5-4 olup, özgül ağırlığı 2.9 gr/cm^3 'tür. Rengi beyaz veya gridir.

3.2.1.3 Mermer

Kalkerin değişimi ile meydana gelmiş bir kayadır. Mermerin esas minerali kalsittir. Mermerler, ısı ve basınç altında değişime uğramış kalkerlerdir. Saf minerallerden meydana gelmiş mermerler genellikle sert olup aşınma mukavemetleri yüksektir. İçerisinde saf CaCO_3 bulunmasından dolayı beyaz portland çimentosu üretiminde aranan bir hammaddestir.

3.2.2 Dolomit

Kimyasal formülü $\text{MgCa}(\text{CO}_3)_2$ olan bir kayadır. Geniş yataklar halinde veya sedimenter kayalar arasında bölümler halinde bulunur.

Sertlik derecesi 3.5-5 olup özgül ağırlığı 2.8 gr/cm^3 'tür. Asitlerle olan reaksiyonu çok yavaştır. Genellikle rengi mat beyaz olmakla birlikte içindeki safsızlıklardan dolayı diğer renklerde olabilir. Çimento klinkeri üretiminde istenilen bir hammadde değildir.

3.2.3 Marn

Marn, sedimentasyon neticesi meydana gelmiş kil kalker karışımı bir hammaddedir. Kalsiyum karbonat ve killi maddelerin simültane bir şekilde çökmesi ile oluşmuştur. Yoğunluğu $2.0-2.9 \text{ gr/cm}^3$ arasındadır. Marn içindeki kil ve kalker miktarı aralıkları oldukça geniştir.

Marn içinde ayrıca kuvars partikülleri, mika tabakaları, alüminyum ve demir oksitleri de bulunabilir.

Marn, çimento sanayi için önemli bir hammaddedir, kalker ve kilin homojen bir şekilde içinde bulunduğu doğadaki tek maddedir.

Marnın sertlik derecesi kalkere nazaran daha azdır. Ocak işletmesinin, kırılmasının, öğütülmesinin ve pişirilmesinin kolay oluşu, marnı çimento sektöründe aranılan bir hammadde durumuna getirmiştir.

Özellikle kalkerli marnın kompozisyonu farin kompozisyonunun hemen hemen aynısıdır. Bu yüzden ki kalkerli marna “tabii çimento” denilmektedir. Portland çimentosunda kullanılan marnın kimyasal kompozisyonları Tablo 3.2 de verilmiştir.

Tablo 3.2 Portland çimentosunda kullanılan marn'ın kimyasal kompozisyonu (Duda, 1985)

	1	2	3
% İçerik	Marn	Marn	Marn
SiO ₂	27.98	33.20	21.32
Al ₂ O ₃	10.87	8.22	4.14
Fe ₂ O ₃	3.08	4.90	1.64
CaO	30.12	27.30	39.32
MgO	1.95	1.02	0.75
K ₂ O	0.20	0.12	0.06
Na ₂ O	0.33	0.18	0.08
SO ₃	0.70	0.37	-
	24.68	24.59	32.62
Toplam	99.91	99.90	99.93

3.2.4 Kil

Killer, içlerindeki ana maddeler alkali de içeren alüminyum silikat hidratlardır. Killer içinde feldispat, kuvars, mika ve turmolin gibi maddeler bulunabilir. Kilin rengini içerisinde bulunan maddeler oluşturur. Kırmızı killerde demir oksit miktarı yüksektir. Mavimsi ve sarımsı killerde organik maddeler, sarı killerde alüminyum oksitleri bulunur. Kil mineral grupları aşağıda verilmiştir.

3.2.4.1 Kaolen Grubu

- a) Kaolinit $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
- b) Dikit $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
- c) Nakrit $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
- d) Halloysit $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

3.2.4.2 Montmorillonit Grubu

a) Montmorillonit	$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{H}_2\text{O} \cdot \text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$
b) Beydelit	$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$
c) Nontronit	$(\text{AlFe})_2\text{O}_3 \cdot 3\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$
d) Saponit	$2\text{MgO} \cdot 3\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$

3.2.4.3 Alkali İhtiva Eden Kil Grubu

İçerisinde illit bulunan killi mikada değişik oranlarda K_2O - MgO - Al_2O_3 - SiO_2 - H_2O bulunmaktadır.

Killerin erime noktaları 1150-1870 °C arasındadır.

550 °C ye kadar ısıtıldıklarında bileşik suyunu kaybeder ve bundan sonra su absorplama özelliğini yitirerek yapısı tamamen değişir. İçerisinde yüksek miktarlarda demir oksit, kum ve kalsiyum karbonat gibi maddeler bulunan killerin kimyasal kompozisyonları saf kil minerallerine nazaran farklılık gösterir. İçinde yabancı maddeler bulunmayan killer beyaz olur.

Montmorillonit, genelde amorf olup kum görünüşündedir. Suyla karıştırıldığında şişip kabarmasına rağmen plastik özellik göstermez. İçinde her zaman bir miktar kalsiyum ve magnezyum bulunmaktadır.

Kaolenler, feldispatların hidrotermal etki neticesinde değişime uğramış alüminyum silikat ürünleridir. İçlerinde genellikle koloidal silika ve killi maddeler bulunur. Beyaz veya sarımsak renkte olurlar. Kesitleri lif karakterlidir.

Şistler, kil orijinli kayaların değişim neticesi meydana gelmiş kayalardır. Killere göre daha serttir, yaprak halinde ince tabakalardan oluşurlar. Koyu renkli olanların içerisinde kömür ve bitümlü maddeler bulunabilir. İçinde bitümlü maddeler bulunan şistlere bitümlü şist denir. Şistler mikroskop altında incelendiklerinde, içersinde çok

düzgün kuvars tanecikleri, mika pulları, toz halinde kalker ve pirit benzer demir filizleri görülebilir. Hammaddelere göre CaCO_3 yüzdeleri Tablo 3.3 de verilmiştir.

Tablo 3.3 CaCO_3 % lerine göre hammaddelere verilen adlar (Duda, 1985)

Hammaddelerdeki CaCO_3 % si	Madde Adı
0-2	Kil
3-10	Marnlı kil
11-40	Killi marn
41-75	Marn
76-90	Kalkerli marn
91-98	Marnlı kalker
99-100	Kalker

Şistler aşağıdaki gruplara ayrılabilirler:

- 1) Killere çok yakın benzer özellikleri olan şistler,
- 2) Kil ihtiva eden şistler,
- 3) Şist ihtiva eden killer içinde kuvars olduğundan sertlik dereceleri çok yüksektir.

3.2.5 Düzeltici ve Yardımcı Katkı Maddeleri

Düzeltici ve yardımcı katkı maddesinin kimyasal yapısı Tablo 3.4’de verilmiştir.

Tablo 3.4 Düzeltici katkı maddelerinin kimyasal yapısı (Duda, 1985)

Bileşen	Kum	Boksit	Kavrulmuş Pirit	Hematit	Uçucu Kül
SiO_2	99.2	16-22	6-25	20-25	26-36
Al_2O_3	-	44-58	2-16	3-9	6.5-9.5
Fe_2O_3	0.5	10-16	62-87	45-60	5-8
CaO	-	2-4	07-09	0.5-2.5	42-50
MgO	-	0.2-1.0	02-2.0	1.5-7.0	3-4
SO_3	-	-	08-8.0	0.3-0.6	2.5-3.0
K.Kaybı	0.2	15-20	-	5-12	0.2-4.0

3.2.5.1 Kum

Sedimenter bir kayaç olan kumun tane büyüklüğü 0.025-2 mm arasındadır. Genellikle sert silis ve kuvars (SiO_2) partiküllerinden oluşmuştur.

3.2.5.2 Boksit

Sert ve düzgün partiküllerden oluşmuş kil şeklinde bulunur ($\text{Al}_2\text{O}_3\text{-H}_2\text{O}$). İçinde limonit, opal gibi jellerle kaolen, kuvars ve diğer mineral partikülleri bulunmaktadır.

Sertlik derecesi 1-3, yoğunluğu 2,55-3,50 gr/cm^3 tür. Esas itibariyle SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 ve H_2O dan oluşan boksit içinde %3 oranına kadar TiO_2 de bulunabilir.

3.2.5.3 Pirit

FeS_2 yandığında demiroksit ve SO_3 'e ayrışır. Kimyasal bir yan ürün olarak kavrulmuş pirit, Fe_2O_3 ihtiyacı için Çimento sektöründe kullanılır.

Piritin sertlik derecesi 6-6,5 özgül ağırlığı 5-5,2 gr/cm^3 tür.

3.2.5.4 Hematit

Bir demir filizidir (Fe_2O_3). Rengi siyah, kırmızı veya kahverengidir. Özgül ağırlığı 2,9-5,3 gr/cm^3 arasındadır.

3.2.5.5 Alçı Taşı

Çimentonun üretimi sırasında çimentonun diğer bileşenlerine prizi kontrol için az miktarda ilave edilen yardımcı bir maddedir.

Alçı taşı, kuru iklim şartlarında deniz suyunun buharlaşması neticesinde çökelerek meydana gelmiş sedimanter kayadır.

Çökelmiş bir mineral olduğu için asitlerde kolayca çözünmez. Formülü, $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ dır. 120 °C de bir miktar suyunu kaybederek dehidratasyona uğrar. Özgül ağırlığı 2,3 gr/cm³ ve sertlik derecesi 2.0-2.5 dir.

3.2.5.6 Puzolanlar

Puzolanlar, silisli veya alüminyum silikatlı veya bunların bileşiminden oluşan doğal veya endüstriyel maddelerdir.

Puzolanlar kendi başlarına hidrolik özellik göstermezler, fakat kireç veya çimento ile karıştırıldıklarında, su ve havanın etkisiyle suda, çözünmeyen hidrolik bileşikler meydana getirirler.

Puzolanlar, çimento üzerinde aşağıdaki olumlu etkileri meydana getirirler:

- Çimentonun hidratasyon ısını düşürürler,
- Betonda geçirimsizlik sağlarlar,
- Çimentoların ileri yaşlardaki dayanımlarını artırır.
- Çimentonun hidratasyonu sırasında ortaya çıkan serbest kireci bağlarlar.

Puzolanlar ikiye ayrılır.

a)Tabii Puzolanlar

Volkanik hareketler neticesi parçalanmış maddelerdir. Örnekleri, doğal curuf, tras ve volkanik cam gibi volkanik kaynaklı maddeler veya tortul kayalardır.

b)Endüstriyel Puzolanlar

Endüstriyel puzolanlar, silis ve alüminyum silikatlı ısı muameleye tutulmuş ve aktifleştirilmiş killeri ve şistlerdir.

3.2.5.7 Granüle Yüksek Fırın Curufu

Demir-çelik endüstrisi yan ürünüdür. Granüle yüksek fırın curufu, uygun şekilde aktifleştirildiğinde hidrolik özellikler gösteren ve kütlece en az 2/3 oranında camı faz ihtiva eden gizli hidrolik maddedir.

3.2.5.8 Uçucu küller

Uçucu kül, pülverize kömür yakılan fırınlardan atılan baca gazından, toz partiküllerinin elektrostatik veya mekanik olarak çöktürülmesi ile elde edilen puzolanik maddedir.

Silisli uçucu kül, puzolanik özelliklere sahip, esasen reaktif SiO_2 ve Al_2O_3 'den oluşan esas olarak küresel partiküllerden ibaret ince bir tozdur.

Kalkersi uçucu kül, hidrolik ve/veya puzolanik özellikleri olan, esas olarak reaktif kalsiyum oksit (CaO), reaktif silisyum dioksit (SiO_2)ve alüminyum oksit (Al_2O_3)'den oluşan ince bir tozdur.

BÖLÜM DÖRT

HAMMADDE KAYNAKLARININ MODELLENMESİ

4.1. Maden Yatağının Modellenmesi

Üretimi gerçekleştirilecek bir cevher yatağı rezervi ve ortalama tenörüyle tanımlanır. Bu değerlerin hesaplanmasında bazı gerekli temel bilgiler şunlardır.

- 1- Sağlıklı ve yeterli sayıda örnek
- 2- Planlar ve kesitler
- 3- Cevher, gang ve yan kayaç için özgül ağırlık ölçümleri
- 4- Litolojik ve yapısal sınır
- 5- Limit tenör
- 6- Cevher çıkarma yüzdesi
- 7- Toplam cevher minerali üretiminde az veya hiç artma olmamasına karşın toplam hafriyat yüzdesindeki artış.

Bir maden sahasının modellenmesinin amacı bölgesel olarak özellikleri (tenör, kimyasal kompozisyonlar, nem, kalınlık vb. gibi) bilinen bir maden yatağının daha geniş bölgeler ve hatta tüm yatak için tahmininin yapılmasıdır. Modelleme de bilinen değerler olarak ele alınan cevher yatağında yapılan sondajlar ile bilinmeyen bölgelerdeki cevher ile ilgili tüm parametrelerin tahmini, cevherin harmanlama çalışmalarının temelini oluşturur. Genel olarak tahmin yöntemleri üç ana grup altında incelenir.

Bunlar;

- Geometrik Yöntemler,
- Mesafelerle Ağırlıklandırma Yöntemi (Mesafelerin Ters Yöntemi)
- Jeostatistik Yöntemler

Cevher yatağının 3 boyutlu modeli, fizibilite, planlama ve üretim aşamasında cevher yatağı ile ilgili işlemlerin bilgisayar yardımı ile yapılmasına imkân sağlayan

bir veri tabanıdır. Örneğin, nihai sınır analizleri, üretim planlaması gibi işlemler için bilgisayar destekli yöntemlerin kullanılabilmesi cevher yatağının üç boyutlu modelin varlığına bağlıdır.

Bir rezervin miktar, kalite ve mineralleşme özelliklerinin tam olarak saptanması, cevher yatağının özelliklerinin değerlendirilmesi ile mümkündür.

4.1.1 Geometrik Yöntemler

Geometrik yöntemlerin esası cevher yatağının belli geometrik şekillerde tanımlanmasıdır. Geometrik yöntemler geleneksel olarak el ile hesaplama yöntemleri olarak anılmasının yanında bilgisayar uygulamaları da oldukça gelişmiş bir yöntemdir. Geometrik yöntemler aşağıdaki gibi sınıflandırılmıştır.

- 1- Düzenli bloklar
- 2- Poligon Yöntemleri
- 3- Üçgen yöntemi
- 4- Eş kalınlık eğrileri yöntemi
- 5- Kesit Yöntemi ve kesit blok yöntemi

Geometrik yöntemlerde en popüler yöntem poligon yöntemi olduğu için bu bölümde sadece poligon yöntemi anlatılacaktır.

4.1.1.1 Poligon Yöntemleri

Poligon yöntemleri bir maden sahasının planlanmasında yatağın özellikleri göz önüne alınarak geliştirilen kurallar dizisi çerçevesinde çok kenarlılardan oluşan yöntemlerdir. Genellikle 4 farklı çok kenarlardan oluşan yöntemler kullanılır.

- 1- Kare bloklar
- 2- Düzenli dikdörtgen bloklar
- 3- Üçgen bloklar
- 4- Poligon bloklar

Öncelikle bu yöntem için belirlenen kurallar maden sahasını teyit eder nitelikte olmalıdır. Dikey sondaj kuyuları kullanıldığı gibi eğimli sondaj kuyuları ile iki ve üç boyutlu uygulamaları da mevcuttur. Kurallar dizisi belirlendikten sonra interpolasyon aşağıdaki şekilde uygulanır.

- 1) Sondaj verileri ve diğer numunelerin yerleri ile birlikte içerdikleri ayrıntılı bilgiler yatay kesitler halinde ortaya konmalıdır.
- 2) Sondajlardan elde edilen veriler, basamak yüksekliklerine karşılık gelecek şekilde sınıflanır. Numunelerin yükseklikleri, basamakların orta noktalarına gelecek şekilde belirlenmelidir.
- 3) Etki alanı veya etki yarıçapı, jeolojik ve madencilik deneyimleri göz önüne alınarak belirlenir.
- 4) Birbirinden etki yarıçapının iki katı kadar mesafede olan sondajlar birbirleri ile bir çizgi ile birleştirilir.
- 5) Bu birleştirme çizgilerinin orta noktalarından bir dik çizilir ve orta noktalardan çizilen dikler birbirlerini kesinceye kadar uzatılır.
- 6) Eğer iki doğru birbirlerine paralel veya yaklaşık olarak paralel bir konumda bulunuyorlar ise bunların kesişmeyecekleri açıktır ve böyle bir durumun oluşması halinde sondaja en yakın doğru, poligon sınırı olarak tespit edilir ve aralarında etki alanından iki kat mesafe farkı bulunan sondajlarda sekiz kenarlı bir poligon, maksimum etki alanını temsil etmek için kullanılır.

Poligon Yönteminin bazı avantajları şunlardır: Poligon yöntemi daha basit olup, cevher yatağı yüzeyi geometrik şekillerle ifade edilebilmektedir. Yatağın belli bir bölümü için ayrı ayrı tenör ve tonajları verilebilmektedir. Yatay ve yataya yakın yataklarda başarıyla uygulanmaktadır.

Poligon yönteminin dezavantajları ise şunlardır. Yatağın şeklini tam temsil etmemektedir. Yatağın uzayda duruşunu göstermektedir. Sondajlar arası uzaklık etki alanını belirler. Bu da yatağın toplam tonajını ve ortalama tenörünü etkilemektedir. Sondaj aralıkları düzensiz ise poligon şekli ve boyutları düzensiz olmaktadır. Diğer sistemlere göre her bloğun tek bir nokta ile temsil edilmesi güvenilir değildir.

Düzenli bloklar ve poligon yöntemlerindeki alan, kalınlık ise sondajda kesilen kalınlıktır. Gerçek kalınlık değildir (Köse, Yalçın, Şimşir, Konak, Onargan ve Kızıl, 2002).

4.1.2 Mesafelerle Ağırlıklandırma Yöntemi (Mesafelerin Ters Yöntemi)

Bu yöntem gelişen bilgisayar teknolojisi ile popüler hale gelmiştir. Çok fazla sayıda ardışık hesaplamalara olan gereksinimi nedeni ile bilgisayarlardan faydalanma kaçınılmaz olmuştur. Yöntemin aslı, cevherleşme aşamasında meydana gelen cevher yatağı ile ilgili tüm parametrelerin mesafenin fonksiyonu olarak tanımlanmasından ibarettir. Eğer bu fonksiyon belirlenebilir veya tahmin edilebilirse, örnek alınamayan bölgelerin büyük bir hassasiyet ile tahmini sağlanabilir. Mesafelerle Ağırlıklandırma Yöntemi'nin amacı, bilinmeyen bir bölge veya noktadaki cevher ile ilgili tüm özelliklerin, çevresindeki bilinen noktaların lineer kombinasyonlar üzerine oturtulmuş bir değer atamasıdır. Özellikle sedimanter tipteki yatak oluşumlarında herhangi bir noktaya çevre noktalarının etkisi mesafenin artması ile azalır, diğer bir deyişle bölgesel özelliklerdeki değişim mesafe ile ters orantılıdır. Mesafelerle ağırlıklandırma yönteminde olduğu gibi bazı kurallar geliştirilebilir ve bu çerçevede tahmin yapılabilir. Yöntem ile iki ve üç boyutlu tahminlerin yapılması mümkündür. Genel proses aşağıdaki gibi açıklanabilir:

- 1) Her bir sondaj için, basamak yüksekliklerini göz önüne alarak maden yatağı ile ilgili bilgilerin tamamı lokasyonları ile birlikte bilgisayar ortamına aktarılır.
- 2) Değerlendirilecek olan noktadan etki yarı çapı içerisindeki tüm sondajlar belirlenir.
- 3) Bu sondajlar içerisinde birbirleri ile çok küçük açı yapan sondajlar belirlenir ve bunlar değerlendirmeden çıkarılır. Diğer bir deyişle birbirlerine çok küçük açılarla yaklaşan sondajlar tek bir sondajmış gibi alınır.

4.1.2.1 Mesafe Üssünün (Ağırlık Faktörü) Belirlenmesi

Mesafenin üssünün belirlenebilmesi için iki yöntem genel uygulama olanağı bulmuştur.

4.1.2.1.1. *Metod 1.* Bu yöntemde $f(d)$ ilişkisi bulunmaya çalışılmıştır.

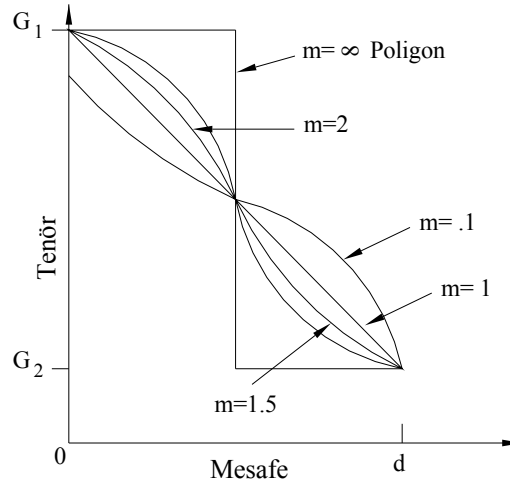
$$G = G_1 / f(d) \quad (4.1)$$

Burada G bilinmeyen değer, G_1 bilinen değer, d ise G ile G_1 arasındaki mesafedir.

Bununla beraber

$$G = G_1 / f d^m \quad (4.2)$$

Denkleminde m üssü, değişik değerler kullanılarak maden yatağına en uygun değer bulunabilir. Uygulamadaki deneyimler, yakındaki örneklerin, uzaktaki örneklere göre daha fazla etkili olduklarını göstermiştir. Bu yüzden m için genel bir yaklaşım bu değeri 2 kabul ederek mesafelerin tersinin karesi problemine dönüştürmektir. Şekil 4.1 bilinen iki değer arasında kalan bir noktanın tahmininde kullanılacak m değerlerini göstermektedir (Onur, 1994).



Şekil 4.1 Değişkenlerin m değerlerine bağlı olarak mesafeye göre tenör değişimleri (Couzens, 1979).

Şekil 4.1 den de görüleceği üzere m değeri ∞ (sonsuz) olduğu zaman mesafenin tersi metodu poligon metoduna, m'in 1 olması durumunda ise lineer interpolasyona dönüşmektedir.

4.1.2.1.2. Metod 2. Bu metod, seçilen interpolasyon modelinin yakınındaki bilinen noktalara ağırlık atayarak bilinmeyen bir noktanın tahminini içermektedir. Bu metod, herhangi bir lokasyondaki bir örneğin değerinin hesaplanması için çevredeki örneklerin değerini kullanan bir yöntemdir. Bunun yapılması için en uygun işlem değişik üs değerleri için aşağıdaki formülü kullanarak bilinen bir noktanın değerini, yine bilinen çevre sondajları ile saptamaktadır. Burada önemli olan tahmini değer ile gerçek değer arasındaki fark, yani tahmin esnasında yapılan hatanın saptanmasıdır. Bu hata değişik üs değerleri için hesaplanıp, maden yatağı için en uygun model seçilmesi sağlanmalıdır. Bilinen değerler yardımı ile (4.3) nolu formül kullanılarak hesaplama işlemi yapılır (Onur, 1994).

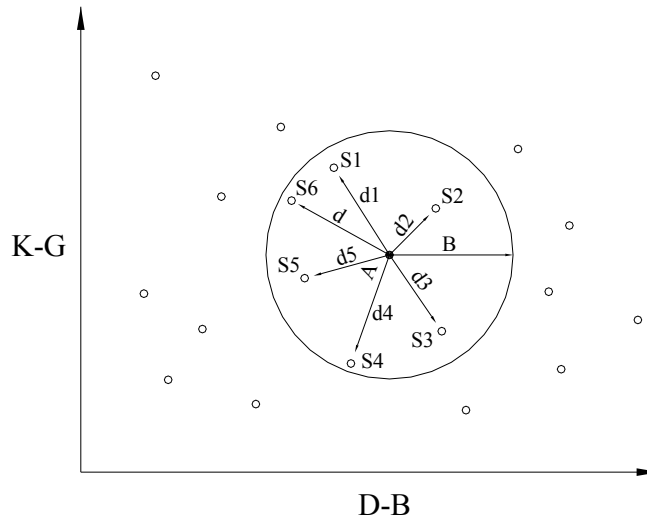
$$G = \frac{\sum_{i=1}^n G_i / d_i^m}{\sum_{i=1}^n 1 / d_i^m} \quad (4.3)$$

Burada G bilinmeyen değeri, G_i etki yarıçapı içerisinde bulunan bilinen değerler, n bilinen değerler adedi, d_i bilinen değerlerin bilinmeyen G noktasına uzaklıkları ve m ise ağırlık faktörüdür. Hesaplanan değer bloğa veya istenen noktaya atanır (Hughes ; Davey, 1979).

4.1.2.2 Mesafelerin Ters Yönteminin Uygulanması

Aşağıda verilen genel kurallar göz önünde bulundurularak mesafelerin tersi yönteminin uygulanması işleminde göz önüne alınması gereken noktalar şunlardır.

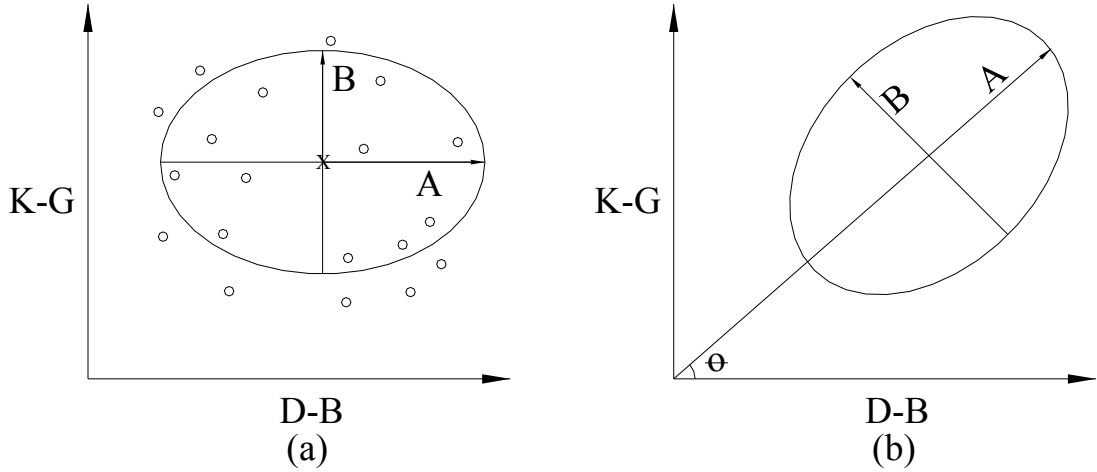
4.1.2.2.1 Etki Alanı. Etki alanı, bir bölgenin tahmininin yapılabilmesi için hangi uzaklıktaki bilinen örnek değerinin kullanılacağını belirleyen bir parametredir. Tahmin işleminde, etki alanı R yarıçaplı bir daire olarak düşünülürse, bu daire içerisinde kalan bilinen örnek değerleri kullanılmaktadır. Bir maden yatağının homojen bir dağılıma sahip olması her zaman mümkün olmamaktadır. Bu yüzden belirli bir etki alanı dışındaki örneklerin etkisi ihmal edilebilir veya gerçekten yoktur. Şekil 4.2’de etki alanı dairesi gösterilmiştir (Onur, 1994).



Şekil 4.2 Etki alanı dairesi.

Etki alanı her zaman dairesel olmayabilir. Anizotropi olarak adlandırılan ve cevherleşmenin belirli bir doğrultuda meydana geldiğini gösterir bir durumda ise etki alanı bir daire ile değil, uzun kenarı cevherleşme yönünde meydana getirilen bir elips

ile oluşturulmaktadır. Şekil 4.3. (a) da meydana getirilen elipsoidin eksenleri koordinat sistemine paraleldir. Şekil 4.3. (b) de ise anizotropinin belirli bir (Θ) açısı ile meydana geldiği durum gösterilmektedir (Onur, 1994).



Şekil 4.3 Anizotropik etki alanı elipsleri.

Her iki durumda da etki alanını meydana getirecek olan elipsler içerisindeki bilinen değerler, bilinmeyen değerin tahmininde kullanılacaktır.

4.1.2.2.2 Mesafe Üssü. (4.3) nolu denklemde d_i^m terimi ağırlık faktörü ve $1/d_i^m$ ise örnek değerini lineer kombinasyona yaklaştıran ağırlık faktörünün etkisini azaltan normalleştirme faktörüdür. Bu özelliklerinden dolayı (4.3) nolu eşitlik,

$$G = \sum_{i=1}^n a_i G_i \quad (4.4)$$

şeklinde yazılabilir. Burada a_i normalleştirilmiş ağırlık katsayısıdır. Bu ağırlık katsayıları aşağıdaki özelliklere sahiptirler.

$$\sum_{i=1}^n a_i = 1 \quad (4.5)$$

$$0 \leq a_i \leq 1 \quad (4.6)$$

Mesafelerle ağırlıklandırma yönteminde etki yarıçapı R 'nin belirlenmesi kadar önemli olan d^m terimindeki m 'nin doğru tespit edilmesidir. Zira m değeri 0 ile ∞ arasında değer alabilir ve bunun etkisi şekil 4.1.'de gösterildiği gibidir. $m=1$ için lineer interpolasyon olurken $m=\infty$ için mesafelerle ağırlıklandırma yöntemi poligon yöntemine yaklaşır. m değeri yataktan yatağa değişen bir değerdir ve bu yöntem ile interpolasyona başlamadan önce yatağın jeolojisine bağlı olarak en uygun değer tespit edilmelidir. m değerinin tespiti için en uygun yöntem ortalama mutlak hata (OMH) veya hataların karelerinin ortalamasının (HKO) bulunmasıdır (Ural, Anıl, Onur, Bayat ve Yıldırım, 1998).

$$OMH = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n | \text{Tahmin Değeri} - \text{Gerçek Değer} | \quad (4.7)$$

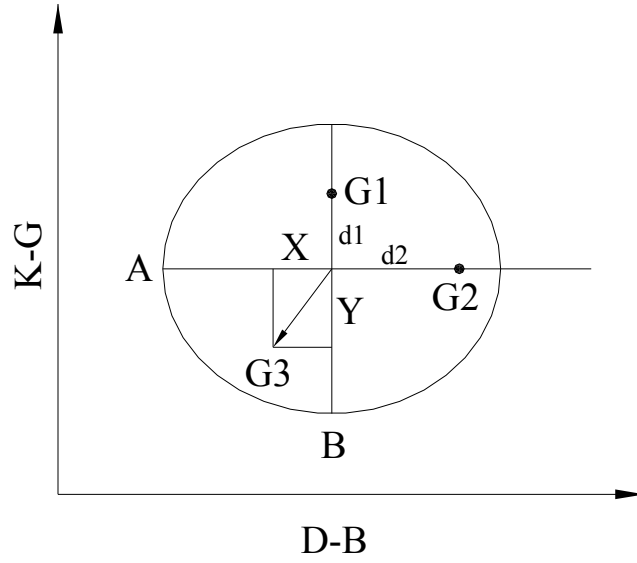
$$HKO = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n | \text{Tahmin Değeri} - \text{Gerçek Değer} |^2 \quad (4.8)$$

Anizotropik durumda mesafenin etkisi daha değişik bir şekilde hesaplanmaktadır. Belirli zonlarda meydana gelmiş anizotropluk boyunca, elipsoidin kısa eksen yönünde noktanın etkisi az, uzun eksen boyunca daha fazla olmaktadır. Bu durum Şekil 4.4'de sunulmuş ve (4.9) nolu formül yardımı ile daha iyi açıklanmıştır.

$$b = A/B$$

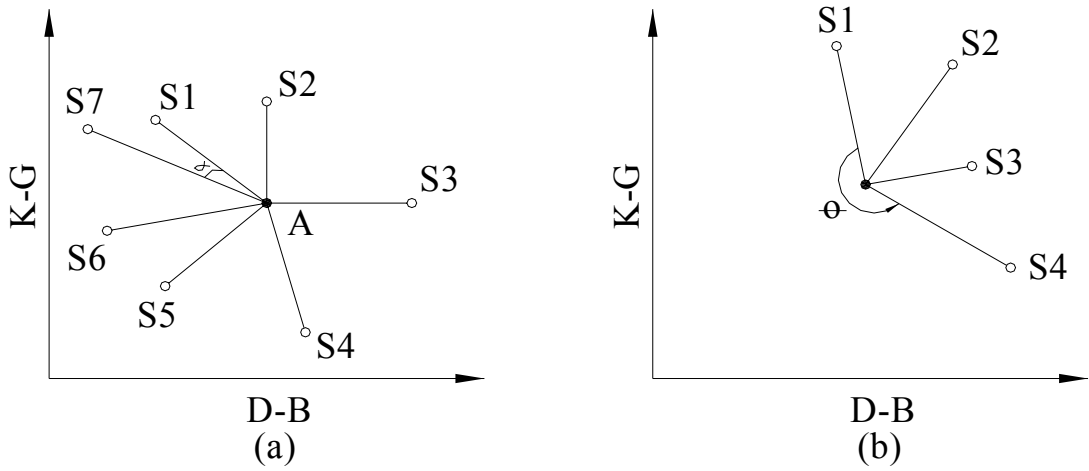
$$G = \frac{(G_1 / b.d_1^2) + (G_2 / b.d_2^2) + (G_3 / (x^2 + by^2))}{1/b.d_1^2 + 1/d_2^2 + 1/(x^2 + by^2)} \quad (4.9)$$

Bu denklem ile anizotropi durumunda, bu durumun maden yatağının simulasyonuna etkisi daha az hata ile belirlenmiştir. Bu iki denklemi göz önünde bulundurarak yine maden yatağını en iyi şekilde tanımlayabilecek m değerinin tespit edilmesi gerekmektedir.



Şekil 4.4 Anizotropik durumda tahmin değeri.

4.1.2.2.3 Etki Açısı. (4.5) ve (4.6) nolu denklemleri kullanırken, dikkatle üzerinde durulması gereken nokta interpolasyonun, ekstrapolasyona dönüştürülecek hatanın yapılmamasıdır. Bu tip hatanın önemli kaynaklarından biri, birbirlerinden çok küçük bir açı ile ayrılarak, tahmin işleminde kullanılmasıdır. Bu tip bir hatanın ortadan kaldırılması için bahsedilen tipteki noktalardan uzak olanının tahminde kullanılmaması gerekir. Bu durum şekil 4.5 (a) da gösterilmiştir. Ayrıca önemli olan ikinci bir nokta ise, özellikle maden yatağının kenarında gözlenen bir olaydır. Tahmin edilecek noktanın en azından 160° lik bir açı içerisinde kapsayan bölümünde veri bulunmalıdır. Aksi takdirde yapılan tahminde büyük hatalar olacağından dolayı hiç tahmin yapmamak gerekir, bu bölgede bilgi eksikliğini gösterir ve uğranılabilecek yanlışları engeller. Şekil 4.5 (b) de bu durum açıklanmaktadır (Onur, 1994).



Şekil 4.5 İki tip etki açısı.

Şekil 4.5.(a)'da α açısı etki açısı olarak tanımlanmıştır ve S7 değeri, A noktasının tahmininden çıkartılmıştır. Şekil 4.5.(b)'de ise kenar sondajlarda meydana gelebilecek durum gösterilmektedir.

4.1.3 Jeostatistik Yöntemi

Mineral yataklarının tahmininde kullanılan en yeni ve güçlü metodlardan olan bu metod Jeostatistik başlığı adı altında anılır ve kayaçların mineral kısımları üzerinde çalışmak için uygulanan 2-3 boyut üzerine dağılmış ve değeri komşu değerlerle değişen değişkenler teorisi olarak anılır. Bu teori 1962'de George Matheron tarafından geliştirilmiştir.

Bu metod:

- 1- Örneğin etki alanı,
- 2- Maden yatağındaki mineralleşmenin devamlılığı yada azlığı,
- 3- Maden yatağının yönelim doğrultusundan kaynaklanan yansal değişiklikler ve onun ortagonal elemanları, başka bir deyişle yataklama içerisindeki anizotropi ölçümü gibi jeolojik kavramları nitelendirir.

Tenör değerlerindeki farkların uzaklığa bağlı bir modelin oluşturulmasında en gerçekçi yaklaşım, ilgili yatağın verilerini kullanan ve özelliklerini yansıtan bir yaklaşımdır. Maden yataklarının değerlendirilmesinde kullanılan tenör, kalınlık gibi değişkenlerin temel bir özelliği bunların belirli bir bölgeye özgü olmaları ve en azından bir koordinatla ifade edilebilmeleridir. Bu özelliğinden dolayı bütün değişkenler bölgesel değişkenler olarak adlandırılır. Bölgesel değişkenlerin aldığı değerler maden yatağının yalnızca örneklenmiş noktalarında bellidir. Örneklenmemiş noktalardaki bilinmeyen değerleri hesaplamak gerekir. Bilinmeyen bir değer hesaplanması, örneklenmiş noktalardaki bilinen değerler yardımıyla yapılır ve bu işlem kestirim (estimation) olarak adlandırılır. Sondaj ile elde edilen herhangi bir örnek, bölgesel bir değişkendir, diğer bir deyişle incelenen zonda diğer örnekler ile gözle görünür bir yapısal ilişki içerisindedir. Ancak bölgesel değişkenin önemli özelliği rast gele olmasıdır.

Royle (1971), Jeostatistiğin amaçlarını şöyle tanımlar :

1. Bütün yatağın değerini yada yatağın içindeki blokların değerini hesaplamak
2. Hesaplardaki hataları hesaplamak

2. madde nerede daha çok değer atama işine ihtiyaç olduğunu gösterdiği için önemlidir.

4.1.3.1 Uzaklığa Bağlı İlişki Fonksiyonu (Variogram)

Jeostatistiğin temel aracı daha önce belirtilen jeolojik parametrelerin nitelendirilmesine olanak tanır ve semivariogram yada basitçe variogram olarak adlandırılır. Birbirine yakın ve birbirini çeken 2 örnek birbirine en çok benzeyen 2 örnek olmalıdır. Örnekler arasındaki uzaklık arttıkça değerleri arasındaki fark da daha büyük olacaktır. Bölgesel değişkenler, istatistiksel varyans analizi ve bunun “Variogram” olarak adlandırılan grafiksel bir gösterimi ile belirlenir. Variogram bir maden yatağı içerisindeki mesafeye karşı madenin özelliklerinin değişimini gösterir. İki değer arasındaki farkı negatif yada pozitif olabileceğinden dolayı klasik istatistik ve

uzaklık kareleme, toplama ve çiftlerin 2 katıyla bölme tekniklerinin uygulanması gerekir. Madenin özelliklerinin varyansının fonksiyonu $\gamma(h)$ (gamma fonksiyonu) olarak adlandırılan aşağıdaki ifade ile açıklanabilir.

$$\gamma(h) = \sum_{x=1}^n (D_x - D_{x+h})^2 / 2_n \quad (4.10)$$

Burada : n çiftlerin sayısı, D_x herhangi bir x noktasındaki değer, D_{x+h} ise D_x noktasından h mesafesi kadar uzaklıkta olan örneklerin değeri, h ise örnekler arasındaki uzaklıktır.

Variogram fonksiyonu, maden yatağının ilgili bölgesel değişkeni için ne gibi özellikler gösterdiğini belirlemede kullanılır. Örneğin bu fonksiyon bilindiğinde değişkenin homojenlik ve izotropluk dereceleri, düzenliliği ve bir örneğin etkili olduğu uzaklık, sayısal olarak belirlenebilir.

Örneğin etki alanı, lokalleştirilmiş eleman üzerinde her yönde gerçekleşen uzaklık ya da mesafedir. Ne zaman ki örnek diğer noktalardan etki alamayacak kadar uzakta bir noktaya ulaşırsa, bizler örneğin etkili olduğu alanın sınırlarına yada mesafeye ulaşırız. Bu etki alanının niceliksel ölçümü, yatak içinde delik açılırken mesafelerin ayarlanması ve dizayn edilmesi sırasındaki önemli uygulamalardır. Matheron yada küresel grafiğin gösterdiği üzere, toplam etki alanı, $\gamma(h)$ 'ın yani eğrinin düzlüğe ulaştığı nokta ile gösterilmiştir.

Yataklanmaların çeşitli biçimlerinde görülen mineral anizotropizmi etkisi uzun süreden beri bilinmektedir. Burada örneğin etki alanının yayılımı yatağın doğrultusu yada yüzeysel yönü boyunca yayılımı, normal yönelimden daha fazladır. Çoğu zaman, dikey boyutta gelişen bir başka anizotropizm bunun kanıtıdır. Variograma göre örneğin etkisinin 3 boyutlu alanının hesaplanabilmesi için tatmin edici bir yol yoktur. Variogramların hesaplarının basit işlemlerinde gerek tüm açılardan gerekse de dikey olarak, işlemi gerçekleştiren sadece mineralojik yönelimi olduğu kadar etki alanının çeşitli açılardan değişimlerini de tanımlayabilir. Mineralojik mesafenin

niceliksel olarak 3 boyutlu olarak bilinmesi değeri biçilen blok yada noktadan örneğin konumuna göre onların doğru ağırlıklarını veren yönelimsel anizotropizm faktörlerini saptamayı kolaylaştırır. Örneğin, mesafenin yönelim üzerindeki etkisi normal etki değerinden 2 kat daha büyükse , geometrik izotropiyi ana yönelim doğrultularına göre yenileyebilmek için normal doğrultudaki uzaklığı 2 çarpanı ile çarpabiliriz.

Pratikte bir variogram aşağıdaki gibi belirlenir:

1) Herhangi bir örnek ile, bölge içerisindeki diğer tüm örnekler arasındaki mesafe ölçülür veya hesaplanır.

2) $(D_x - D_{x+h})^2$ terimi her değişik mesafe aralığı için hesaplanır (Örneğin 25, 50,75,100,125 m gibi). Mesafeler arasındaki fark gereğinden az tutulursa her bir aralık için yeterli sayıda çift mevcut olmaz. Genellikle $n>30$ olumlu sonuç verir.

3) İlk iki aşama geride kalan tüm sondajlar için tekrarlanır ve aynı h mesafesi içerisindeki tüm $(D_x - D_{x+h})^2$ terimleri toplanır.

4) Bütün sondajlar bu şekilde analiz edildikten sonra bir önceki aşamada toplanan değerleri $2n$ değerine bölerek h mesafesine bağlı γ hesaplanır ve h'a karşı γ grafiksel olarak gösterilir. Farklı deneysel variogramların davranışlarını tarifleyen olasılık fonksiyonlarını temsil eden birkaç değişik matematiksel model vardır. Ancak bunlardan en çok kullanılanı küresel modeldir.

Variogramların en büyük özellikleri herhangi bir maden yatağının yapısal değişimi ve jeolojisi hakkında çok detaylı bilgi vermesidir. Genellikle aşağıdaki bilgileri sunarak bu özelliği sağlarlar(Ural, 1999).

1) Cevherleşmenin devamlılığının bir ölçüsüdür. Çizilen variogramlarda herhangi bir değişken için variogramın yavaş ve düzenli olarak artması stratiform tipli düzenli oluşumların bir göstergesidir. Cevherleşme üniform bir devamlılık derecesi gösterir.

Variogramda ani yükselişler ve eğimin dik olması bölgesel olarak cevherin özelliklerinde farklılıklar olduğunu ortaya koyar.

2) Bir değişkenin etki alanının ölçüsüdür. Herhangi bir değişkenin etki mesafesi ne kadar uzun olursa değişkenlerin daha fazla mesafelerde etkili olduğunu belirtir. Bunun anlamı geliştirme sondajları açılacağı zaman sondaj lokasyonlarının yeri hakkında ayrıntılı bilgi vermesidir.

3) Cevherleşmedeki eğilimlerin veya yataktaki anizotropinin ölçüsüdür. Bazı durumlarda yatağın değişik yönlerdeki etki mesafeleri farklı olabilir. Bu durumun varlığı farklı yönlerde variogramlar oluşturularak bulunabilir. Elde edilen bu variogramlar sayesinde, yatak içerisinde davranışı tespit edilen cevher için, istenilen boyuttaki üretilebilir bloklara bilinen sondaj değerleri kullanılarak tahmin yapılabilir.

4.1.3.2 Variogram Modelleri

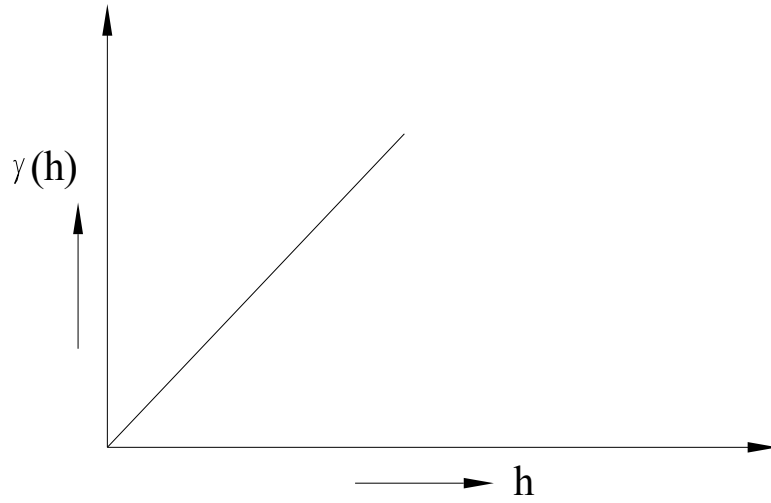
Deneyisel variogram örneklerden yada lokelleşmiş değişkenlerin uzaysal davranışlarını tanımlayan mineral yataklarından alınan karıştırılmış örneklerden hesaplanır. Deneyisel variogramın yatak içindeki blokların derecesini hesaplamak için kullanılan faydalı bir araç olabilmesi için, uzaysal davranışlara uyan genelleştirilmiş bir model formüle edilmelidir. Böyle bir model deneyisel verileri çevreleyen devamlı bir matematiksel fonksiyon olacaktır. Bu matematiksel fonksiyona gerçek fonksiyon denir çünkü bu fonksiyon lokalleşmiş değişkenin uzaysal davranışını tanımlar. Bu teorinin uygulama aşamasında değişkenin uzaysal davranışları hakkında ciddi varsayımlara ihtiyaç duyulur. Pratikte asla elde edilemeyecek olan doğru variogram lokalleşmiş değişkenin kuramsal davranışlarından başka bir şey değildir.

Yıllar boyunca çeşitli deneyisel variogramları gösterebilmek için birçok gerçek plan ve matematiksel modeller oluşturuldu. Bu matematiksel modellerin yada gerçek planların her biri kendi variogramına sahiptir. Fazla sayıda variogram modeli olmasına rağmen en çok kullanılan 3 variogram modeli vardır.

4.1.3.2.1 Doğrusal Model. En basit modeldir. Eğer bölgesel değişken sürekli artıyorsa veya azalıyorsa variogram artan uzaklığı ile artar. Bu durum Şekil 4.6’da gösterilmiştir.

$$\gamma(h) = \alpha(h) \quad (4.11)$$

$$\gamma(h) = C_0 + C_1 \left(1 - e^{-(h^2 / 2b^2)}\right) \quad (4.12)$$

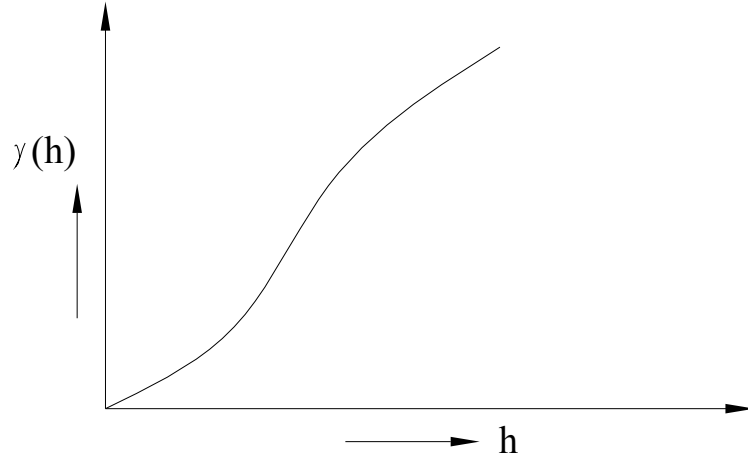


Şekil 4.6 Doğrusal model.

4.1.3.2.2 De Wijsian Model

$$\gamma(h) = 3 \alpha \log(h) \quad (4.13)$$

$$\gamma(h) = C_0 + C_1 (1 - e^{-(h/a)}) \quad (4.14)$$



Şekil 4.7 De Wijsian modeli.

De Wijsian modelde de uzaklık arttıkça $\gamma(h)$ sonsuza gider (Şekil 4.7). Hem doğrusal hem de De Wijsian modelde de deneysel variogram datalarının orijin yakınlığında yanlışsız olarak uyduğunu gösterir ancak h arttıkça bu uyum bozulur. De Wijsian modeli genel olarak hidrotermal yataklar için kullanılır.

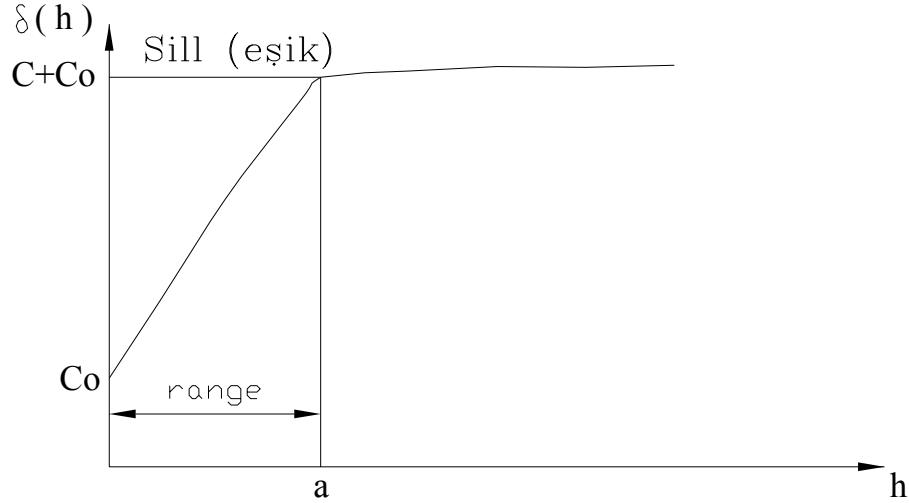
4.1.3.2.3 Küresel Model. Yaygın şekilde kullanılan variogram modelidir. Bu model değişkenlerin birbirinden bağımsız olduğu bütün yataklarda doğal olarak ortaya çıkar. İlk önce verilen mesafeye, a 'ya ulaşılır. Bu neredeyse bütün sedimanter yataklarda ortaya çıkabilen bir modeldir. Ayrıca porfiri ve masif bakır yatakları için de geçerlidir. Bu model ayrıca “Matheron Model” olarak da bilinir ve geçişi tanımladığı söylenir.

Üç modelden küresel modelde (h) arttıkça variogramın belirli bir değere ulaştığı tek modeldir. Bu sayı küresel variogramın eşik değerini (sill) verir (Şekil 4.8). Küresel model zamanla en önemli gerçek model haline gelmiştir ve birçok jeostatistikçi küresel bir model haline gelen bu modele adapte olmuştur

Bu model şu şekilde formüle edilir.

$$\gamma(h) = C \left(\frac{3}{2} \left(\frac{h}{a} \right) - \frac{1}{2} \left(\frac{h}{a} \right)^3 \right) + C_0 \quad h \leq a \quad (4.15)$$

$$\gamma(h) = C + C_0 \quad h > a \quad (4.16)$$



Şekil 4.8 Küresel model.

C parametresi, variogramın en yüksek değerini, a parametresi ise yapısal uzaklığı (range) veya maksimum etki zonunu göstermektedir. C_0 külçe değeri olup $C + C_0 =$ Sill (eşik) değeridir. Küresel variogram, orijinden başlayarak artan h uzaklığı ile artar. Yapısal uzaklığa ulaşıldığında artışını durdurur. Bu uzaklıkta variogramın değeri C 'ye eşittir.

Süreksizliğin bu iki kaynağını birbirinden ayırt etmek mümkün değildir ve variogramda bu durum külçe (nugget) etkisi C_0 şeklinde ortaya çıkar C_0 eldeki sondaj sayısına, cevherleşmeye ve mineralleşme yönüne bağlı olarak alınan numune noktalarına göre oluşan hatadır.

Bölgesel değişken zengin ve yoksul bölgeler şeklinde geçişli bir yapı gösteriyorsa variogram belirli bir uzaklıktan sonra artışını durdurur sill ($C_0 + C$) değeri çevresinde değerler almaya başlar. Variogramın sill değerine ulaştığı uzaklık yapısal uzaklık (range) olarak adlandırılır ve fiziksel olarak bir örneğin etki zonu kavramına denk gelir.

4.1.3.3 Jeostatistiksel Metod-Kriging

Jeostatistik teknikleri kullanılarak en az hata ile blokların tahmin edilmesi işlemine “Kriging” denir. Kriging (David 1974; Barnes, 1979), istenilen bir noktanın veya bloğun çevresindeki sondajların ağırlıklı etkilerini bularak, tahmin hatasını en aza indirgeyen bir yöntemdir. Kriging ile tahminde sırası ile yapılması gerekli olan işlemler aşağıda verilmiştir:

1) Örnek i ve j’ler arasındaki kovaryans σ_{ij} ’leri hesaplanır. Eğer örnek olarak küresel bir variogram modeli kullanılıyorsa kovaryans $\sigma_{ij} = C_0 + C_1 - (h)$ şeklinde hesaplanır.

2) $\sigma_{A,xi}$, bilinmeyen nokta ile diğer tüm bilinen sondaj değerleri arasındaki kovaryans hesaplanır. Bunun için aranan nokta ile bilinen bölge arasındaki h uzaklığı hesaplanarak, küresel variogram grafiğinden bu uzaklığa karşılık gelen değer kolayca bulunur.

3) Birbirinden etki mesafesinden daha büyük uzaklıkta olan değerler hesaplama dışı çıkarılır.

4) n etki alanı içerisinde kalan örnek sayısı olmak üzere, n+1 bilinmeyeni ve n+1 denklemi olan bir sistem elde edilir (Journel ve Huibregts, 1991).

$$|\Sigma||A| = |D| \quad (4.17)$$

$$\Sigma = \begin{vmatrix} \sigma_{11} & \sigma_{12} & \sigma_{1n} & 1 \\ \sigma_{21} & \sigma_{22} & \sigma_{2n} & 1 \\ . & . & . & . \\ \sigma_{n1} & \sigma_{n2} & \sigma_{nn} & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 0 \end{vmatrix} A = \begin{vmatrix} a_1 \\ a_2 \\ . \\ a_n \\ \mu \end{vmatrix} D = \begin{vmatrix} \sigma_{AX_1} \\ \sigma_{AX_2} \\ . \\ \sigma_{AX_n} \\ 1 \end{vmatrix} \quad (4.18)$$

Bu sistemden $|A|$ katsayılar matrisi çekilirse

$$|A| = |\Sigma|^{-1} |D| \quad (4.19)$$

elde edilir. Burada; m hatanın minimuma indirilmesinde kısmi türev alınırken ortaya çıkan bir Lagrange sabitidir. Aşağıdaki

$$\sum_{i=1}^n a_i = 1 \quad 0 \leq a \leq 1 \quad (4.20)$$

özelliği taşıyan ağırlık katsayıları hesaplandıktan sonra bilinmeyen bir noktanın değeri :

$$A = D_1 a_1 + D_2 a_2 + D_3 a_3 + \dots + D_n a_n \quad (4.21)$$

Olarak ortaya çıkar. D_i 'ler etki mesafesi içerisindeki bilinen değerlerdir. Yukarıdaki işlemler tüm sondaj değerleri için tekrarlanarak (4.18) nolu ifadedeki matris her bir tahmin noktası için çözülür. Yapılması gerekli olan işlemlerin çokluğu ve karmaşıklığından dolayı kriging ancak bilgisayar yardımı ile uygulanabilen bir yöntemdir.

BÖLÜM BEŞ

AÇIK İŞLETME PLANLAMASI

5.1 Genel Bilgiler

Açık işletme planlaması, işletmenin her aşamasının bir biri ile uyum içinde olacağı şekilde yapılmalıdır. Açık işletme planlaması sırasında göz önünde bulundurulması gereken bir çok faktör vardır ve bu faktörler cevher ve yan kayaçların özellikleri ile çevre koşullarını tam olarak yansıtmalıdır.

Açık işletme planlaması, cevherleşme ve yataklanma farklılıklarından dolayı metal ve kömür madenlerinde bir takım farklılıklar göstermektedir. Planlaması, sırasında dikkate alınması gereken parametreler genel olarak jeoloji, jeoteknik ve hidrojeolojik koşullar, rezerv yayılımı, topoğrafya, ekipman, ekonomik faktörler ve maliyet, yatırım tutarı, kar miktarı, cevher çeşidi, ocak ve basamak şev açıları, basamak yüksekliği, yol eğimleri, üretim kapasiteleri, cevher zenginleştirme ve pazarlama olanakları gibi parametrelerdir.

Açık işletmelerde kısa, orta ve uzun dönemli üretim planlaması, nihai sınırı bilinen açık işletme içerisinde haftalık, aylık ve yıllık bazda yapılacak üretimin kalite ve miktar bakımından gereksinimleri karşılaması demektir. Üretim planlaması konusu açık işletme dizaynında, göz önünde bulundurulması gereken parametrelerin ve ele alınması gereken alternatiflerin fazlalığından dolayı çok karmaşık ve sonuca kolay ulaşılamayan bir işlemdir.

5.2 Maden Sahasının Planlaması

Bu bölümde incelenen konular; yollar, ön hazırlık kazı safhası, tumba planlanması, drenaj, üretim planlanmasında; ekipman seçimi ve kısa dönem veya ocak planlama prosesi işletilmesi arasındaki ilişkilerdir. Maden planlaması içinde bulunan özel problemler son derece çeşitlidir ve bir çoğunun bu bölümde gösterilmesine olanak

yoktur. Bu yüzden sadece açık ocak işletme planlanmasındaki problemlerin bazı önemli kuralları incelenmiştir.

İlk önce, açıkça belirtilen amaçlarımızı korumalı bunu da tesviye oranları ile uğraşarak, jeolojik iz düşümlerle ve ekonomik tahminlerle gerçekleştirmektir. Plan yeteri kadar açık değilse, planlama anlaşılabilir. Üçüncü olarak hatırlanması gereken kaldırılacak hacimlerle uğraşıldığı için planlamada geometri çok önemlidir. Dördüncü olarak üretim hedeflerini gerçekleştirmek için zamanla ilişki önemli olduğundan bu hacimlerin zamanında kaldırılması gereklidir. Burada en önemli etken üretim kapasite hedeflerinin bir çimento fabrikasının hammaddeden istediği kimyasal özellikleri ve bu özelliklere bağlı olarak tesisin ekonomik şartlarda çalışmasını sağlamak ve iyi kalitede çimento üretiminin gerçekleştirilmesi için ham karışım (farin) hazırlamada aşağıdaki kimyasal parametreler etkilidir.

Tablo 5.1 Çimento kalitesini belirleyen, modüller, formüller ve sınır değerler (Duda, 1985)

Modül Adı	Formüller	Sınır Değerler
Silikat Modülü (SM)	$\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3+\text{Fe}_2\text{O}_3$	2,2 -2,6
Alüminyum Modülü (AM)	$\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Fe}_2\text{O}_3$	1,5 – 2,5
Kireç Doygunluk Faktörü (KDF)	$\text{CaO}/2,8 \text{ SiO}_2+1,65$ $\text{Al}_2\text{O}_3+0,35 \text{ Fe}_2\text{O}_3$	0,90 – 0,95
Hidrolik Modül (HM)	$\text{CaO}/\text{SiO}_2+\text{Al}_2\text{O}_3+\text{Fe}_2\text{O}_3$	1,7 – 2,3

Bu parametrelerin çimento üretimindeki etkileri Bölüm 2.1’de anlatıldığı için burada bir daha tekrarlanmamıştır. Kısa ve orta dönem planlamada evrelerin yer aldığı temel noktalar (Mathieson, 1982) aşağıda verilmiştir.

1- Kısa ve orta dönemlerin planlama işine başlamadan önce, bazı ön kararlar şu noktalarda gözden geçirilmelidir.

- Herhangi bir evrede istenen olası maksimum cevher ve atık çıkarılma oranı,
- Kullanılacak ekipmanların kapasitesi ve tipi. Bu istenenler üretim basamaklarının minimum genişliğini belirler,

- Uygun çalışma, basamaklar arası yolların eğimleri ve nihai şev açıları.

2- Birinci aşamada verilen kısıtlamaları kullanarak, planlamacı nakliye yollarının da tamamlandığı bir dizi evreyi detaylı düzenlemeye başlayabilir. Planlamacı her çalışan basamağa giden yolların hazır edildiğinden emin olur. Evreler arasındaki geçiş dikkatle planlanır. Dizaynı yapan kişi her evrede üretilen belirli miktardaki cevheri ya da bu evrelerdeki yıl sayısını planlamaya dahil etmek zorunda kalmamaktadır.

3- Bunlar tamamlandığında evre dizaynları basamak planlarına transfer edilir. Basamak tonajları ve eğimler değerlendirilir. Mantıksal olarak belirlenen işletme gelişim düzeni, her evre için bir tonaj-eğim envanterine sahip olduğunda uygundur.

4- Son olarak yapılacak şey, üretim ihtiyaçlarına veya tesisi beslemeye dayalı yıllık maden üretim programlamalarını belirlemektir. Yeterli bir plan oluşuncaya kadar, bu prosesi defalarca tekrarlamak gerekebilir.

Evrelerin gelişimi, istenen ön üretim öncesi örtü kazı oranlarını belirlemeye yöneliktir. Maden üretim işleminin başlangıcında, para akışında önemli bir olumsuzluk oluşturduğu için bu gibi örtükazı miktarını minimumda tutmak gibi doğal bir eğilim olmasına rağmen, yeterli çalışmaların yapılması şu noktalarda önemlidir;

- 1) Mevcut cevheri ortaya çıkartmak,
- 2) Madenin her zaman verimli şekilde üretilmesini sağlayacak biçimde koşulların sağlanması ve korunmasını sağlamak.

Bazen ön üretim işi kısaltılır. Ancak yeni geniş tonajlı kamyon-ekskavatör çalıştıran madenlerde ön üretim periyodu, bir organizasyon oluşturmada ve çalışma deneyimi kazanmak için bir fırsat oluşturmaktadır.

5.2.1 Uzun, Orta ve Kısa Dönem Üretim Planlaması

Üretim planlama süreci üç farklı periyoda ayrılabilir. Bu periyotlar kısa dönem planlama, orta dönem planlama ve uzun dönem planlamadır.

Bir madenin üretimi boyunca iki farklı üretim planlaması düşünülür. Bunlar kısa dönem ve uzun dönem planlamalardır. Ayrıca bu iki planlama periyodu arasında, orta dönem planlama adı verilen bir madencilik periyodu da tanımlanabilir. Kısa dönem maden planlama, gerçek madencilik durumu içindir (Onur; Kumral, 1997). Kısa süreli periyotta jeolojiden kaynaklanan değişikliklerin kalite esnekliklerine cevap vermesi mümkündür. Homojen olmayan maden yataklarında, bu süre, gün veya hafta gibi çok kısa bir süredir. Homojen olan maden yataklarında ise bu süre 1 yıla kadar uzayabilir. Ayrıca, bu periyot kapasite farklılığı gibi teknik değişikliklere karşı da yararlıdır. Kısa süreli dönem, detaylı planlamaya ve maden makinalarının çalışma alanlarında esnekliğine izin verir (Wright, 1989; Onur and Down,1993).

Uzun dönem maden planlama, açık ocak limitleri optimize olana kadar açık ocak için madencilik stratejilerini tanımlar ve 10 ya da 20 yıldan fazla bir zaman periyodunu kapsar. Bir açık ocak için, bu periyot da başka zaman periyotlarına bölünür ve bu zaman periyotları içerisinde sahalar “çalışan sahalar” diye adlandırılır. Her çalışma ocağı, 2 ile 5 yıl arasında bir üretim zamanına sahiptir. Uzun dönem maden planlama, ömür boyu planlama olarak da adlandırılır. Bu periyotta makinaların çalışma kapasiteleri tek tek değil genel olarak değerlendirilir. Bu da açık işletmenin toplam kapasitesindeki değişime etki eder.

Bu iki periyot arasında, başka bir periyot orta süreli maden planlama periyodu olarak tanımlanabilir. Bu periyot bir sonraki çalışma ocağının daha küçük çalışma evrelerine bölünmesi işlevine sahiptir. Bu çalışma evreleri, kısa dönem maden planlaması için kullanılır (Wright, 1984).

Maden sahasının iyi planlanabilmesi için tek ortak kriter maden cevheri için net şimdiki değerin maksimum olmasıdır. İdeal olarak, optimum açık ocak sınırları,

şimdiki net değerin optimizasyonu temel alınarak belirlenmelidir. Fakat, bir bloğun ne zaman çıkarılacağı bilinene kadar o bloğa bir net şimdiki değer tayin etmek mümkün değildir ve ocak dizayn edilene kadar da bloğun çıkarılacağı zaman bilinemez.

Açık ocak planlayıcısının işinin (Couzens, 1979) çoğu, basamak haritaları veya planlama yapılması şeklinde gerçekleştirilir. Bu ikisi şunları gösterir:

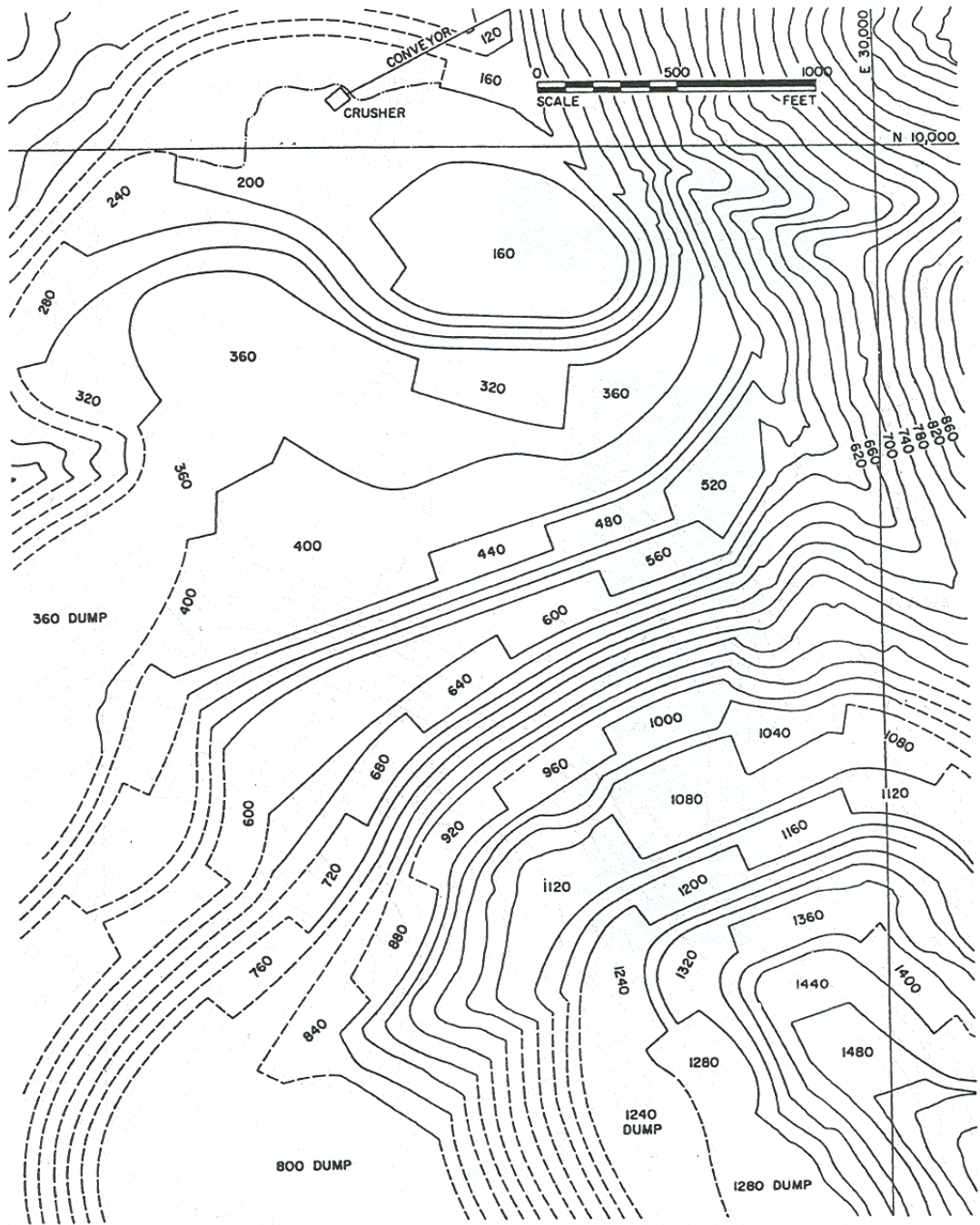
- Topoğrafya ya da yüzey konturları
- Cevher yeri
- Jeolojik sınırlar
- Dizayn limitleri

Madenin her planlama periyodunun sonundaki şeklini gösteren açık ocak kompozit haritaları güncel tutulmalıdır. Böylelikle:

- Planın özellikleri arasında çakışmaların önlenmesi,
- Gelişmenin her aşamasının resimlenmesi,
- Gerçek çalışma eğimleri, operasyon odası, cevher ve atıklar arasındaki konumsal ilişkinin gösterilmesi, mümkün olmaktadır.

Evre planından zaman periyot planına geçişler, evre dizaynlarının bütün paterni tamamlayacak kadar yeterli olduğu anda gerçekleştirilmelidir. Yıllık planlar:

- Kesin üretim amaçlarının yer açısından ve de taşınacak malzeme açısından belirlenmesini,
- Evre ortalamasından daha iyi ekonomik değerlendirmelerin yapılmasını,
- Evreler bütün maden operasyonunda kesiştikçe kendi aralarındaki ilişkinin daha iyi tanımlanmasını sağlamaktadır.



Şekil 5.2 Açık maden ocağındaki basamakların belirli periyotta ilerlemesini gösterir harita (Couzens, 1979).

Şekil 5.2’de basamak ortası konturları çizilmiştir. Ek olarak servis yolları, örtükazı alanları ve atık alanları da gösterilmiştir.

Bu sitemde, yükseltilerin etiketlenmesi şu şekildedir (Couzens, 1979).

a) Ocak sahasının dışındaki konturlar gerçek yükseltileriyle haritalanmıştır.

b) Ocak sahasının içindekiler:

- Haritalanmış yükselti basamak ayna yüksekliğini gösterir,
- Basamak orta çizgilerin yüksekliği basamak ayna yüksekliğinin bir buçuk katıdır.

Böylelikle, orta çizgilerin arasındaki düz bölgeler işaretlenmiştir.

- Rampaların üzerinde, basamak orta çizgileri basamakların arasındaki rampayı orta noktadan keser.

İşletilen bir madende, değişik periyotları kapsayan birkaç değişik plan olacaktır. Planlamacıların sorumlulukları şu şekildedir:

- Yıllık cevher rezervi tahmini
- Açık ocak sahasının ilerlemesi, servis yollarındaki değişiklikler, v.b. hakkında yıllık yada birkaç yıllık planlar.
- Üç aylık planlar,
- Aylık planlar.

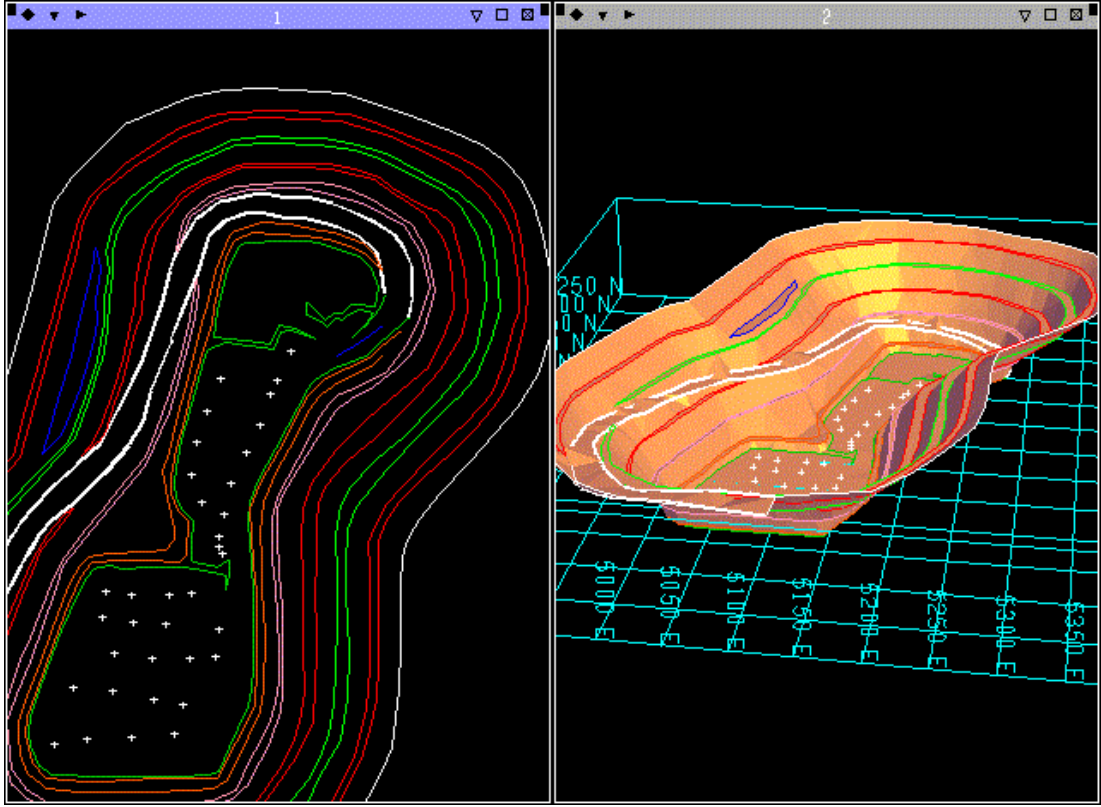
Planlamacı daha geniş vadeli çerçevedeki haftalık planları ve günlük planları da geliştirir.

Madenlerin işletilmesinde; genellikle uzun ve kısa dönem planlama arasında makul olarak iyi bir etkileşim vardır, fakat yeni arazi çalışmaları veya fizibilite çalışmalarında üretim tipi planlama ihmal edilebilir. Fizibilite çalışmasının üretim planlaması aşamasına ulaşıldığı zaman, muhtemelen, hesaplamalar yapılarak bir ön hazırlık fizibilite raporu oluşturulur. Bu noktada; üretim planlama aşaması boyunca bazı kesintiler yapmak için doğru yoldan sapma durumu vardır. Bazı kişiler; toplam tonaj, ortalama kazanma verimi ve ortalama kalite temelinde bazı çalışma maliyeti hesaplamaları yaparlar ve bunlar; en son, nihai ocak tanımlamasının ekonomisine başlamakta. Fizibilite çalışması; hem zaman hem de maliyet açısından orijinal programı aşabilir ve rakamları sunmak planlamacılar üzerinde bir baskı yaratabilir.

Bu aşamada, üretim yönteminin planlanmasının önemsenmesi önemlidir; çünkü, bu planlar üretim aşamasında kullanılacak ise bu üretimin değerlendirilmesinin başarısı için verilecek bazı önemli kararları etkileyecektir. Uzun dönemde , bu noktada , acele verilen kararların çok yüksek maliyetlere sebep olduğunu yada daha sonra uygulanamayacağı ispat edilen çalışma koşullarına sebep olmaktadır. Fizibilite çalışma aşamasında yapılan üretim planlaması, detaylı bir operasyon planı olmamasına rağmen, operasyonun nasıl devam edeceğini gerçeğe uygun olarak tahmin edebilmek için olabildiğince operasyon planına yakın olacak şekilde yapılmalıdır. Planlamacı, tamamen uygulanabilir bir maden ocağı planına sahip olduğu konusunda tatmin oluncaya kadar ; çalışma eğimlerini, örtü-kazı oranlarını yada üretim öncesi rakamların çıkarmasını sınırlandırmayacak bir tutuma sahip olmalıdır. Böyle bir plan; giriş, taşıma, maden üretim makinalarının verimli çalışması için yeteri kadar çalışma alanı ve bazı belirsizlikler karşısında bile uygun değirmen beslemesini sağlamak için yeteri kadar maden cevheri üretimine izin vermelidir (Couzens, 1979).

5.2.2 Grafik Metotlarının Kullanılması

Herhangi bir ocak planlamasının en önemli yönlerinden biri grafik sunumudur. Diğer faktörlerden başka, yetersiz ya da var olmayan çizimlerden dolayı çok fazla yanlış anlamalar ortaya çıkabilir. Üst yönetime planlama hedeflerinin iletilmesi, açık ve presentabl çizimler gerektirir. Şekil 5.3'de bir maden sahasının 2 boyutlu ve 3 boyutlu grafiklerle gösterilmesi görülmektedir. Pek çok durumda, kaba ya da düzensiz yapılmış çizimler sadece acele yapılmış bir çalışmayı göstermez aynı zamanda iş başladıktan sonra çıkabilecek problemleri de gizleyebilir. Planlamanın her adımının ince detaylarıyla sunulması sadece planların satılması için estetik kaygıyı içermez aynı zamanda operasyon başlamadan planlamacının yapabileceği değişiklikleri fark etmesini sağladığı gibi kısa dönemli çalışacak olan planlamacılara yön gösterir (Couzens,1979).



Şekil 5.3 Maden sahasının 2 ve 3 boyutlu olarak grafikte gösterimi (Surpac,2006).

Plan haritalarının ölçeklendirilmesi önemli bir seçimdir. Ana plan mümkünse bütün maden ocağını içerecek bir ölçekte hazırlanmalıdır ve yeterli ve gerçekçi bilgileri içermelidir. Orta veya büyük ölçekli metal veya endüstriyel mineral ocakları için ortalama ölçekler 1:1000 veya 1:2000 dir.

5.2.3 Yollar

Yol planlaması maden ocağı için açık işletme planlarının en önemli kısmıdır. Çünkü yollar maden ocağındaki her şeyi etkiler. Yolların planlanması olabildiğince erken aşamalarda gerçekleştirilmelidir, çünkü maden ocakları yollar olmadan tasarlanamaz. Maden sahası tasarımında ekonomik olarak optimum yakalansa bile yollar dahil edilmediği takdirde sahayı gerçekçi bir hale getirmek için gerekli olan değişimler (tonaj ve maden ocağının konumu) çok sıkıntılı olabilir (Couzens,1979).

Nakliye ve erişilebilirlik uzun dönem planlarına dahil edilirse bir çok problem kendiliğinden hallolur, aksi takdirde nakliye ve erişilebilirlik yüzünden yapılan değişiklikler uzun vadeli planları kimsenin tanıyamayacağı bir noktaya getirir. Yeni bilgiler ışığında maden ocağının son hali bir çok kez değişir, ekstra üretim planlarına sebep olur ve maliyetteki değişimler yeniden tasarım yapılmasına yol açar. Planlamada yolun son hali gösterilmelidir çünkü bu gerekli tonaj hakkında bilgi verir ve tespit edilen maden rezervinin başlangıçta yapılan tahminlerin çok üstüne çıkmasını engeller(Couzens,1979).

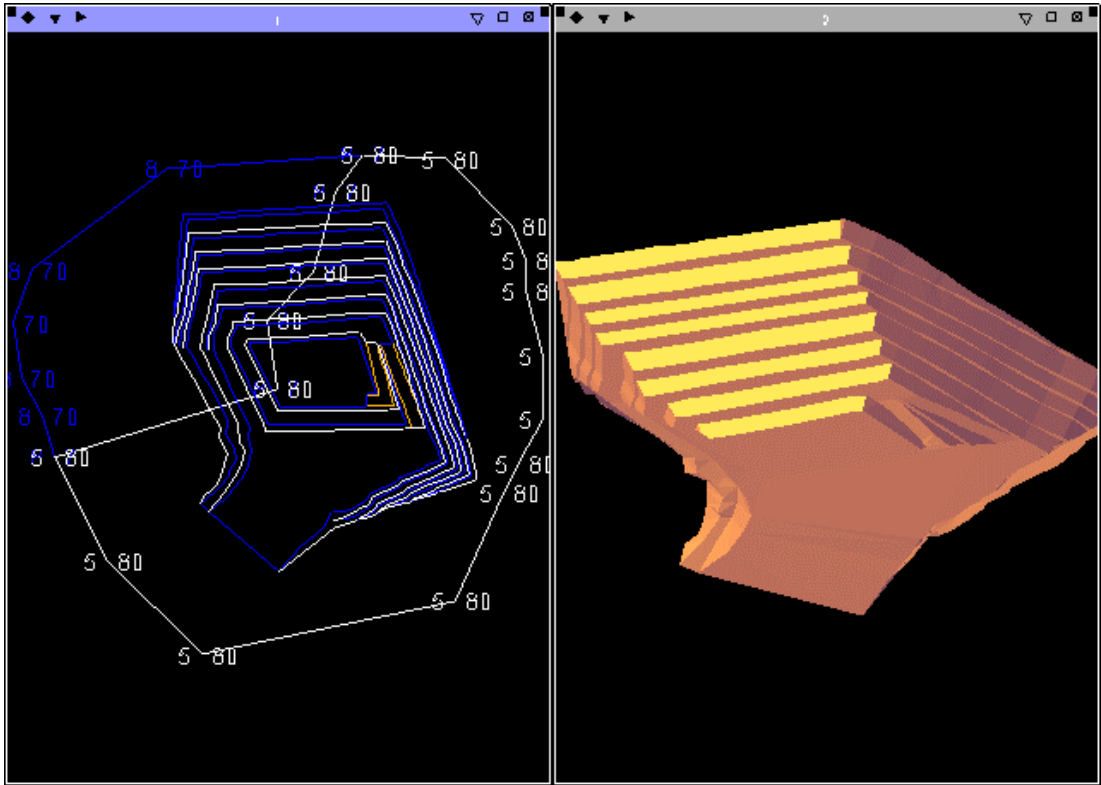
Yeni bir madenin planlanmasında ilk aşama yolların madenden nereden çıkacağını belirlemektir. Yollar kırma tesisi veya tumba alanlarının yerlerinden bağımsızdır ve daha çok topografya ile ilgilidir. Bu çıkışların seçimine büyük önem verilmelidir. İhtiyaca göre bir veya daha fazla çıkış noktası olabilir (Couzens,1979).

Uzun dönemli planlarda yolların yerleştirilmesinde, bazen cevherin geometrisi çok az seçenek bırakır, mesela hafif eğimli bir arazideki bir madenin çıkarılması için virajlı çalışmak gerekir ki bu ekstra kazı maliyeti getirir. Planlama yapılırken bu tip şeylerin avantajlarından yararlanmalı ve her zaman maden ocağı, madene göre tasarlanmalıdır. Genel olarak virajlı çalışma düzeninden kaçınmak gerekir çünkü bu tip çalışma trafiği yavaşlatır, daha çok tekerlek aşınmasına ve daha başka bakım problemlerine neden olur ve spiral yollardan daha çok güvenlik açığı barındırır. Eğer maden ocağına doğru alçak bir alan varsa o tarafa viraj yapmak, yüksek tarafta giden bir yol veya seri yollar açmayı kabul etmekten daha iyidir. Eğer viraj yapmak gerekliyse, kamyonların rahatça dönebilmeleri için virajlara yeterli uzunlukta düz alanların yapılması önem taşır (Couzens,1979).

Nakliye yollarının yapılmasında önemli noktalardan birisi de genişliktir. Emniyetli ve kullanılabilir bir yolun genişliğinin kamyonun genişliğinin en az 4 katı olması gereklidir. Bu iki yönlü trafiğin akmasına izin verir ve gerekli olduğu takdirde hendek ve dış tümseğin yapımı için de yer bırakır. Geniş maden ocakları genellikle 25-30 metrelik nakliye yolları içerirler ve kırıcının yanına gelen yollar gibi daha

geniş alanların gerekli olduğu nakliye yollarının genişlediği yerler bulundurulur (Couzens,1979).

İkinci temel nokta yolun eğimidir. Maden ocağında nakliye ihtiyaçlarına bağlı olarak bir çok dikey bileşen olduğu için yolun uzunluğunu kısaltmak ve yol için gerekli olan malzeme maliyetini azaltmak için yolun eğiminin dik olması gerekmektedir. Pratik olarak maksimum eğim %10 dur. Fakat maliyetleri çok artırmayacaksa veya karmaşık yol düzenine yol açmayacaksa %8 eğim tercih edilir; çünkü bu durum yolun inşasında ve dik alanların birleştirilmesinde biraz daha serbestlik sağlar. Ocak kademelerini ve yol bağlantılarını gösterir açık ocak görüntüsü Şekil 5.4’de verilmiştir.

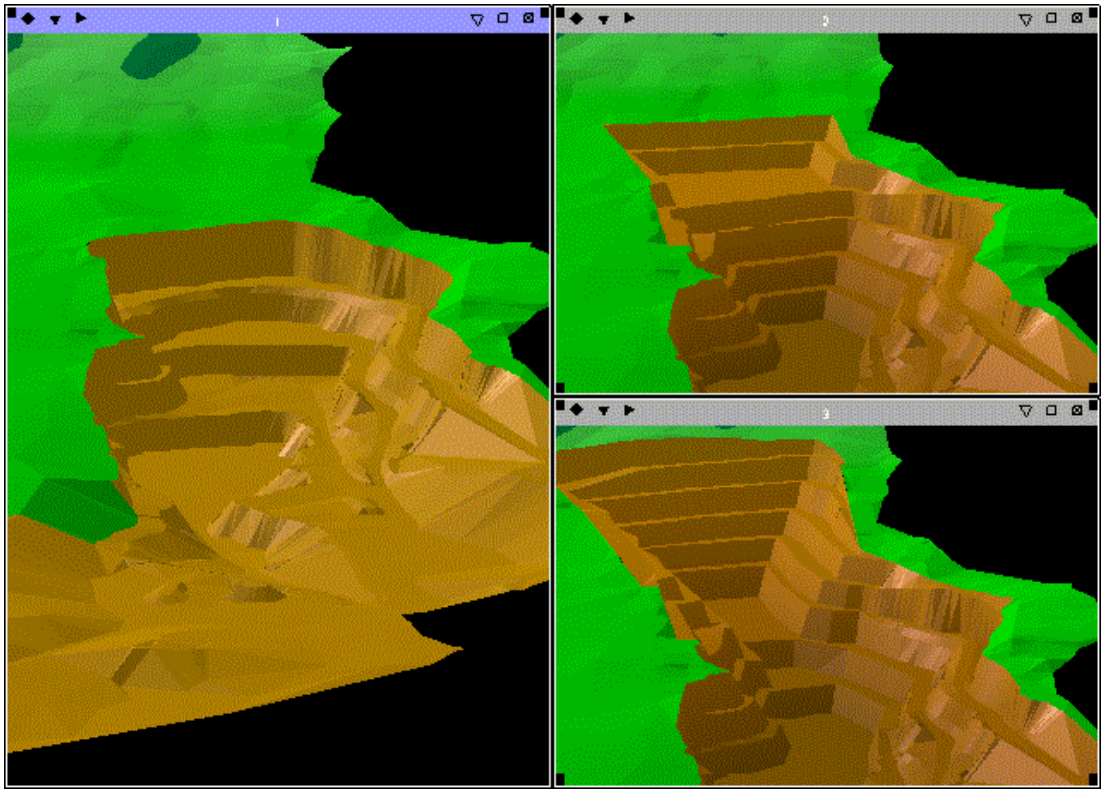


Şekil 5.4 Ocak kademe bağlantı yollarını gösterir açık ocak görüntüsü (Surpac, 2006).

5.2.4 Ön Hazırlık Kazı Safhası

Ön kazı çalışmalarında (ve bu tabi ki diğer alt evreler için de geçerlidir) akılda tutulması gereken önemli noktalardan birisi maden üretiminin kesintiye uğramaması

ve madenin her zaman etkili biçimde işletilebilmesi için yeterli çalışmanın yapılması gerektiğidir. Kazı çalışmalarının planlanması, madeni ortaya çıkarmak için gerekli olan alanın hesaplanması ve açılan alandan maden çıkarıldıktan sonra kalan madenin de çıkarılması için gerekli olan alanın hesaplanması gibi işleri de içerir. Kazı çalışmasının planlanması önemlidir. Bazen ön hazırlık çalışması daraltılabilir ama büyük tonajdaki yeni madenin çıkarılması ve kazı yapmak için kullanılacak olan kepçeler ve kamyonlar için planların ön hazırlık safhasında yapılması daha isabetli olacaktır ve işletme tecrübesi kazandıracaktır. Bütün bunlar planlamacı tarafından değerlendirilmesi gereken noktalardır (Couzens,1979). Planlamacı tarafından planlanan ve ilerlemesi gösterilen bir açık işletme görüntüsü Şekil 5.5’de verilmiştir.



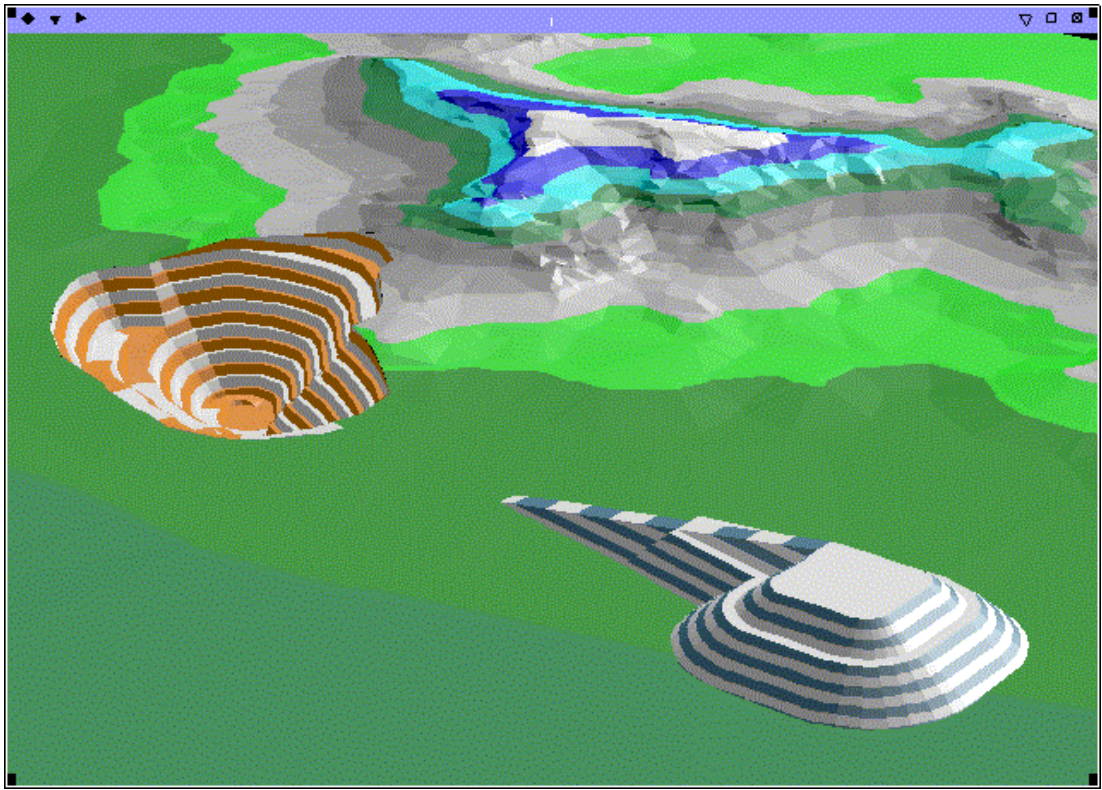
Şekil 5.5 Açık ocak planlama aşamalarını gösterir ocak ilerleme haritası (Surpac, 2006).

5.2.5 Diğer Planlanma Kriterleri

Atık planlama da maden planlayıcılarının görevinin bir parçasıdır (Couzens, 1979). Bu aşamada hesaba katılan bir takım unsurlar:

- Taşıma mesafelerinin uzunlukları,
- Gerekli taşıyıcılar
- Atıklarla ilgili mekan kısıtlamaları, diğer kurulumlar, drenaj, vb. arasındaki ilişkiler,
- Arazi ıslahı ve çevresel gereklilikler.

Açık ocak sahası planlaması atıkların her bir aşamada nerede olacağını da bir tahminini içermelidir. Bu, taşıma mesafesi çalışmasıyla bağlantı içinde yapılmalıdır. Bir açık işletmede ocak sahasını ve hafriyat döküm alanlarının gösterildiği ekran görüntüsü Şekil 5.6'da gösterilmiştir.



Şekil 5.6 Açık işletme ocağı ve parça döküm alanlarını gösterir ekran görüntüsü (Surpac, 2006).

Açık ocak sahası içine doğru gelen akarsuların ve hatta kuru nehir yataklarının, sahaya yüzey suyu gelmesini önlemek amacıyla yönü değiştirilmelidir. Çevresel nedenlerle, planlayıcının ocak sahasından çıkan suyun ne olacağını da hesaplaması gerekebilir. Doğal drenaja mı bırakılmalı, bent mi çekilmeli ya da yönünün değiştirilmesi konusunda karar verilmelidir. Su, patlatmayı, ekipmanların çalışmasını

yol düzenlemesini ve hatta bazen cevher kalitesini bile etkiler. Ocak sahasında çok su varken işletmek zordur. Suyun ayrıca şev stabilitesi üzerinde de büyük etkisi vardır. Suyu idare etmek için hendekler, kanallar ve/veya su atım sistemlerinin planlamaya dahil edilmesi gerekebilir.

Özet olarak, ocak planlama bir çok çeşitli aktiviteyi içerir, başarılı bir planlama için dikkat ve özen gösterilmelidir.

5.2.6 Ekipman Seçimi

Açık maden işletmesinde kaldırılacak malzemenin miktarı, madenin veya madene ulaşmak için hafredilmesi gereken miktarın ihtiyacına göre planlama aşamasında karar verilir.

Maden üretme aşamasına gelmeden önce fizibilite çalışmasının doğal amacı ekipman gereklerine ve seçimine rehberlik etmektir. Kullanılacak ekipmanların seçiminde kaya karakteristiği, mineral damarının şekli ve devamlılığı, cevherin çıkarılmasındaki seçimlilik, madenin büyüklüğü ve geometrisi ve malzemeyi uzaklaştırmak için gerekli olan mesafe gibi bir çok faktör ortaya çıkar. Ekipman sayıları uygulanacak olan birimlerin etkin büyüklüğü ile kısmen tahmin edilebilir. Madenin karıştırılmasını veya birçok çalışma alanının kapatılmasını sağlamak için maden içindeki jeolojik dağılımın bilinmesi, destek ihtiyacı ve ekipmanın hareketliliği gibi diğer faktörlerde ekipman parkının belirlenmesinde etkili olur (Couzens,1979).

İş gücüne ve çalışma takvimine dikkat edilmesi gerekir. Ekipman verimliliği ton/saat gibi birimlerle ifade edilir ve asıl işçi programı vardiyalarla ayarlandığı için ekipman verimliliği vardiya/ton olarak ifade edilmelidir. Bundan sonra üretim, ekipman ve işçi gerekliliklerinin ilişkilendirilmesi kolaylaşır.

5.3 Optimal Açık Ocak Dizaynı

Optimal açık ocak dizaynı, aslında, bir maden cevherinin üç boyutlu bir blok modeline uygulanan bir algoritmanın bilgisayar tabanlı uygulamasıdır. 1965 yılında Lerchs ve Grossmann tarafından yayınlanan ilk bilgisayar algoritması, maden endüstrisinde operasyonel araştırmaların en aktif alanlarından birini yaratmıştır. Bu algoritma, en az 25 yıllık bir süre için, bir açık ocağın optimal şekline ulaşmada doğruluğu kanıtlanabilir tek özenli metot olmasına rağmen, hala endüstride geniş bir alanda kullanılmamaktadır. Bununla birlikte, bu algoritma; diğer tüm algoritmaların yargılanmasına karşılık hemen hemen tüm dünya tarafından evrensel bir ölçüt olarak kabul edilmiştir.

Lerchs-Grossmann algoritmasının yavaş kabul görmesinin nedenlerinin çoğu kullanım ve uygulama pratikleri ile olmaktadır. Bunlar, programlamadaki zorluklar, değişken eğimler ve yollar gibi kısıtlamaların getirdiği zorluklar, uzun süren hesaplamalar ve metodun anlaşılmasındaki zorluklardır. Büyük ölçüde bu nedenlerden dolayı yeni algoritmaların gelişimi devam etmektedir.

Lerchs-Grossmann algoritmasına bir alternatif Korobov algoritmasıdır. Ama bununla birlikte; bu yöntemde tüm durumlar için optimal çözüme ulaşmayı garanti etmemektedir.

Cevher kütlelerinin alt bölümlerini açıkça belirtmek için eğriler tanımlandıktan sonra, uygun açık işletme algoritmalarının gelişimi ve akış durumlarını genel olarak gözlemlediğimizde Lerchs-Grossmann ve Korobov algoritmalarının içinde değişen eğrileri birleştiren bir metod kendiliğinden ortaya çıkar. Korobov algoritmasındaki bir değiştirme; Lerchs-Grossmann algoritması ile kıyaslanabilir bir metot sağlayarak optimal bir çözümü garanti edecek şekilde tanımlanır. Heuristik olmasına rağmen, değişen Korobov algoritması optimal olarak gösterilebilir. Ek olarak, bu, Lerchs-Grossmann algoritmasından daha kısa sürede bir çözüme ulaşan basit ve kolay anlaşılabilir bir metoda dayanır(Dowd; Onur, 1993).

5.3.1 Açık Ocak Optimizasyonu

Bazı katmanlı yataklanmalar için kullanılan ilkel metotlar hariç, hemen hemen tüm optimal açık ocak dizaynı algoritmaları, maden cevherinin düzenli, sabit, üç boyutlu blok modeline uygulanır. Maden cevheri düzenli bloklara bölünür ve her blok için bir değer tahmin edilir. Bu değer, hemen hemen her zaman bloğu çıkarma, işleminden geçirme ve onun içeriğinin satışı vasıtasıyla elde edilen net gelirdir. Parametreleme gibi bazı metotlar, blok modelde kalite değerlerini kullanır (Coleou,1989). Stuart (1992), maden cevherinin keyfi geometrik katı maddelerin bir serisi vasıtasıyla temsil edildiği düzensiz bir üç boyutlu model önermiştir. Böyle bir model, karmaşık şeklin çok düzensiz katmanlı yataklanmaları göstermesinin faydalı bir yolu olmasına rağmen, bu gibi durumlarda optimal ocakların dizaynı için özel bilgisayar algoritmalarının gerçekten gerekli olup olmadığı şüphelidir. Ek olarak, bu tür düzensiz blok şekilleri için anlamlı tahminlerin nasıl elde edileceği ve birleştirileceği açık değildir.

Johnson, 1973 yılına kadar yayınlanmış metotların karşılaştırmalı bir çalışmasını yapmıştır ve Kim'de 1978'e kadar yayınlanmış metotları yeniden gözden geçirmiştir. Mevcut makale, 1965'den 1992'ye kadar konu olan yayınların kaynakçasını ve geniş bir referans listesini içerir. Lerchs-Grossmann algoritmasına en çok ortak olan alternatifler, bloğun merkezinde bulunan bir koni vasıtasıyla her blok için çıkarma hacminin tanımlandığı hareketli koni algoritmasının çeşitli versiyonlarıdır. Bu metod, konsept olarak basittir, programlama için kolaydır ve oldukça kısa sürede çözüme ulaşır. Bununla birlikte, tarih belirlemek için ilan edilen değişimler her zaman optimum, doğruyu vermezler ve genellikle tekrarlanan basit örnekler ile doğrulanırlar.

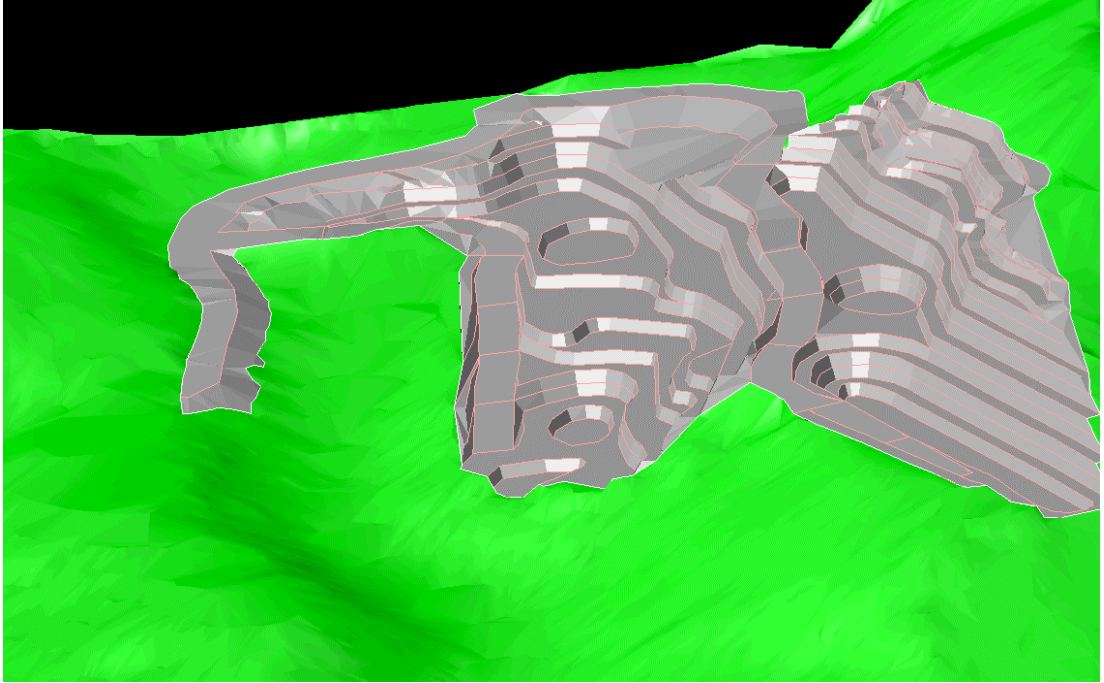
Dinamik programlama, (Johnson,1970), Lerchs-Grossmann algoritmasına erken ve daha hızlı bir alternatif olarak ilerlemiştir, ama önerilen bu algoritma özenli bir şekilde optimal değildir. Daha sonra oluşturulan dinamik programlama algoritmaları basittir ve optimal değildir (Robinson, 1973; Braticevic, 1984; Koenigsberg, 1982). Koenigsberg'in (1982) formülasyonu, ocak optimizasyonu için yapılan ilk doğru 3

boyutlu dinamik programlama algoritmadır, fakat bu dejenere çözümlere yol açabilecek ciddi kusurlar içerir. Wilke (1984) ve Wright (1987), her zaman dejenere olmayan çözümler sunacak olan Koenigsberg'in formulasyonunun değiştirilmiş halini önermişlerdir. Dinamik programlama, son dönemlerde problemin programlama versiyonunda ve açık ocak optimizasyonunda yeni bir heyecan yaratmaktadır. Teoride, dinamik programlama, problemin çözümünde ve bir optimal çözüme ulaşmada yeteneklidir. Bununla birlikte pratikte blokların olası kombinasyonlarının sayısı kesin bir 3 boyutlu algoritma uygulamasının yapılmasını imkansız kılar ve buna göre bir çok mineral için endüstriyel uygulamaları dinamik program ile yapmak da bir hata oluşturur.

Lerchs-Grossmann metodu, temelinde bir grafiğin maksimal kapanmasını bulma ve bir ağa doğru maksimal akışı bulmaya eşit olarak gösterilebilir. Maksimal akış teknikleri (Johnson, 1973; Giannini, 1991), biraz başarı ile uygulanır, ama onlar çoğunlukla herhangi bir büyük boyuta adapte olur gibi görünmezler, çünkü onlar da Lerchs-Grossmann metodu gibi aynı algılama dezavantajlarını paylaşırlar. Son zamanlarda, Lerchs-Grossmann algoritmasının değiştirilmiş bir versiyonunun yazarları (Huttagosol ve Cameron 1992), hesaplama zamanının önemli ölçüde azaldığını iddia etmişler ve aynı yazarlar probleme bir taşıma algoritması uygulamışlardır. Diğer metodlar (Caccetta, 1986; Pana, 1965), kendisini önerenlerden başka kullanıcılar bulmuş gibi görünmezler ve optimal çözümler vermezler. Grafik teorisine dayanan son bir metod (Zhao, 1990; Kim,1992), Lerchs-Grossmann algoritmasından üstün bir performans gösteren daha hızlı, etkili ve özenli bir optimal algoritmayı gösterir.

Ocak optimizasyonuna kökten farklı bir yaklaşım , ocak dizaynını birkaç değişkenin bir fonksiyonu gibi parametrelemedir. Bu yaklaşıma Matheron tarafından öncülük edilmiştir ve bu birtakım yerlerde tanımlanmıştır. Bu yaklaşım , problemi teknik ve ekonomik olmak üzere iki ayrı kısma böler ve metal miktarını maksimize eden tek bir ocak dizaynı olduğunu varsayar. Bu varsayım, birçok gelir fonksiyonunun metal miktarı ile arttığı ve herhangi bir özel maden cevheri için bir maden ocağının minimum sayıda metal miktarı, toplam tonaj ve seçilmiş tonaj teknik

parametre ile açıklanabileceği gözlemine dayanmaktadır. Metot, tümüyle tutarlı olan parametrik çözümler üretmesine rağmen, özenli bir şekilde optimal değildir ve açık ocak optimizasyonunda karşı karşıya gelinen dirençlerden sorumludur. Açık ocak optimizasyonu ile ilgili bilgisayar görüntüsü Şekil 5.7’de verilmiştir.



Şekil 5.7 Açık ocak optimizasyonu görüntüsü (Surpac, 2006).

Hesaplama zamanı, hemen hemen tüm yayımlanan algoritmaların yazarları tarafından kritik bir element olarak sayılır. Sınırlandırma, modelde blokların sayısını azaltmak için bir denemede kullanılır ve böylece hesaplama zamanı azalır. Teoride, sınırlandırma hemen hemen tüm optimizasyon algoritmasına uygulanabilir, fakat birçok zaman-harcama örnekleri için en etkili olanıdır (Lerchs-Grossmann algoritması ve dinamik programlamada olduğu gibi). Chen (1976) ve Rychkun (1979), optimal ocak limitleri dışında kalması gereken blokların ortadan kaldırılması için bir dış-sınırlama öngeçiş metodu tanımlıdır. Barner ve Johnson (1982), optimal çözümü içeren iç ve dış sınırlar önermişler ve bu tür sınırları belirlemek için bir teknik sunmuşlardır. Caccetta ve Giannini (1985), Barner ve Johnson’ın sınırlama tekniğindeki hataları tespit etmişler ve genel bir sınırlama algoritması vermişlerdir. Minimum araştırma örnekleri kuşağı hesaplama zamanını azaltmanın bir diğer yoludur.

Optimize edilmiş ocak dizaynının, çeşitli değişkenlerin (maliyetler, fiyatlar, vergilendirme programı, blok boyutları ve kalite tahminlerinin doğruluğu) değerindeki değişmelere duyarlılığı bazı yazarlar tarafından tartışılmaktadır. Blok boyutuna duyarlılık en uygun açık ocak dizaynında en çok yanlış anlaşılan konulardan biridir.

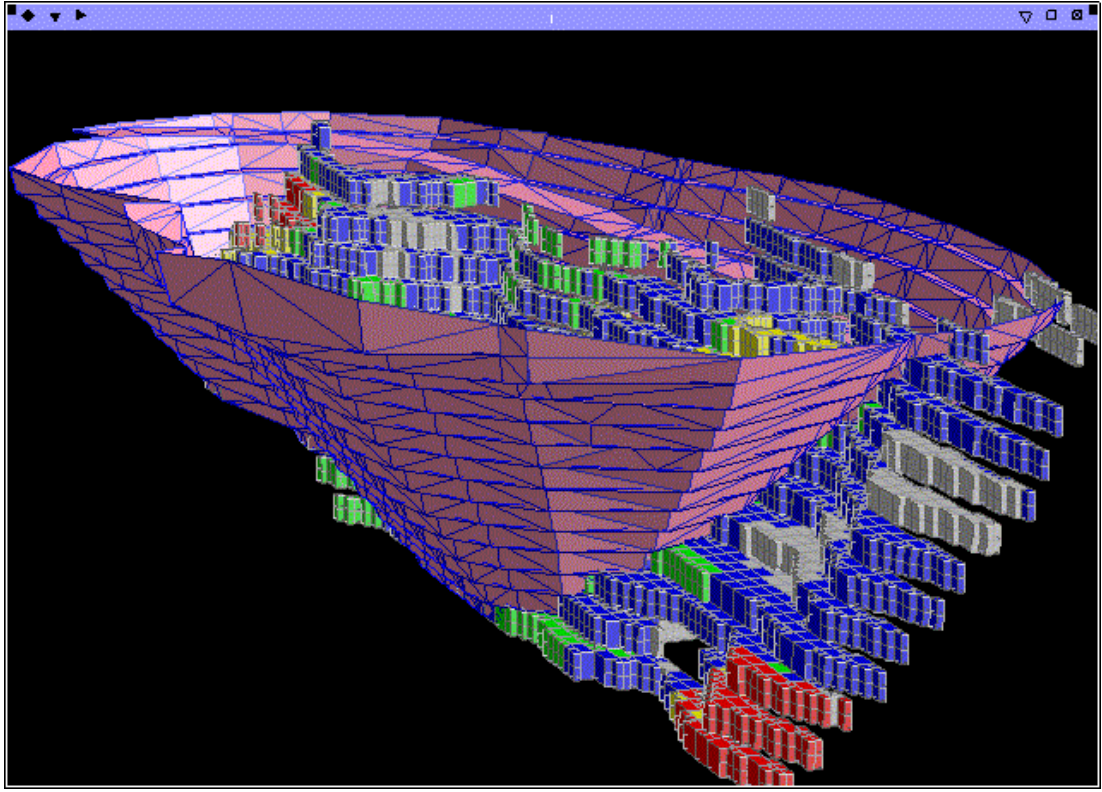
5.3.2 Blok Boyutu

Blok boyutu seçimi hakkında pek çok şey yazılmıştır, fakat tartışmalar, maden cevherinin ve maden ocağının geometrisini tanımlamak için farklı blok boyutlarının yeteneği etrafında dönüyor gibi görünmektedir. Geniş blok boyutlarının kullanımı sonucunda hesaplama zamanında azalmanın elde edilmesi açık bir avantajdır. Geniş blokların dezavantajı, maden cevherindeki kalite değişikliklerinin tanımında azalma olmasıdır.

Blok boyutu üzerindeki kısıtlama, bloğun kalitesini tahmin etmek için mevcut olan veri miktarıdır. Bloklara ayrılmış olan sayısal cins, kalite ve bundan dolayı gelir değerleri mevcut örnek verilerden tahmin yapılan değerlerdir ve ister istemez onlarla ilgili bir hataya sahiptir. Genel olarak, verilen veri miktarı için blok boyutu ne kadar küçük olursa onun kalitesini tahminleme hatası o kadar büyük olur ve bu nedenle maden ocağı optimizasyonunda kullanılan gelir blok modelinin güvenilirliği de büyük olur. Gerçek olan ve tahmin edilen blok kalitesi değerleri arasındaki farklılığın görmezden gelinmesi sonucu bir felaket olabilir.

Genel bir kural olarak; bloğun yatay boyutu delikler arası mesafelerin büyüklüğü ile sınırlandırılmalıdır. Bundan önemli ölçüde küçük olan blokların boyutları ocak dizaynının yapıldığı güvenilir bir blok kalite / gelir modeli sağlamak için yeterli doğrulukla tahmin edilemeyebilir. Şartlara bağlı olarak simüle edilen daha küçük blokların eğimleri açık ocak işletme dizaynını optimize etmek için alternatif bir yaklaşımdır (David,1979; Dowd,1976).

Maden ocağının küçük ölçekli blok modeli birkaç kez simule edilebilir ve her simulasyon için bir optimal maden ocağı dizayn edilebilir. Bir açık işletmede planlaması yapılan üç boyutlu blok modeli görüntüsü Şekil 5.8’de verilmiştir.

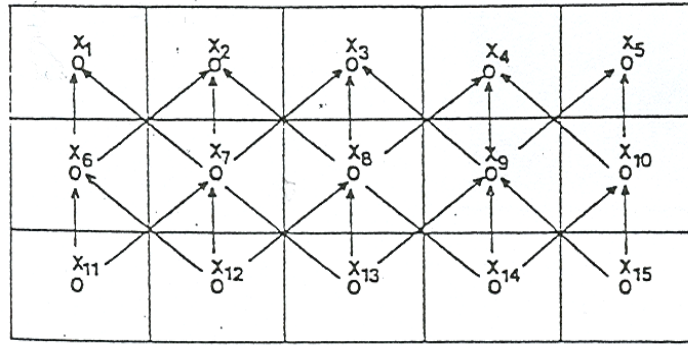


Şekil 5.8 Açık işletmede üç boyutlu blok modeli.

Blok boyutları üzerindeki kısıtlamalar, maden cevheri modelindeki blokların sayısını da sınırlayacaktır. Örneğin; 500m derinliğinde, 30x30m.’lik bir bölgede delme işlemi yapılan 1x1km.’lik bir alan, 10m.lik dikey boyutlu bloklar için 55.000 blok-maden cevheri modeline ve 5m yükseklikteki bloklar için 110.000 blok-maden cevheri modeline sınırlandırılır. Var olan bilgiler temelinde; kalitede ve jeolojideki zannedilen değişimler için hesap yaparken modelin küçük bloklara bölünmesi oldukça yanıltıcı ve asılsızdır. Maden çıkarma işlemi boyunca maden cevherinin ve atıkların daha küçük, seçici maden birimleri temelinde ayrılması tartışılabilir. Örneğin; planlanan bloklar 30x30x10m. olabilir ve selektif madencilik birimleri 4x4x5m. olabilir. Eğer bu böyleyse, doğru yaklaşım ya simule etme yoluyla olur ya da iyi belgelenmiş jeostatiksel metotlar vasıtasıyla her planlanan blok içinde selektif madencilik birimleri için iyileştirilebilir rezervlerin tahmin edilmesi vasıtasıyla olur.

5.3.3 Uzun Dönem Nihai Sınır Belirleme Yöntemi (Lerchs - Grossmann Algoritması)

Lerchs-Grossmann algoritması, maden cevheri modelindeki üç boyutlu blok gridlerini yönlendirilmiş grafiğe çevirir. Uygun bloğun net bloğun gelir değerine kütlece karşılık gelecek şekilde belirlenen grid içerisindeki her bir tepe noktasıyla temsil edilir. Köşeler eğriler vasıtasıyla birbirlerine bağlanır. Bir tepe noktasının yüzeye doğru Kılavuzluk ettiği bağlantılar, eğer tepe noktası (blok) kazılıp, çıkarılırsa, kaldırılması gereken köşe gruplarını (blokları) belirler. Basit bir iki boyutlu örnek Şekil 5.9'da gösterilmektedir.



Şekil 5.9 Direkt grafik olarak gösterilen iki boyutlu cevher modeli.

Bir tepe noktasından ayrı olan bir yay vasıtasıyla bağlı olan bloklar, bu tepe noktasının varisi olarak adlandırılır; Örneğin, eğer x den y 'ye yönelen bir yay varsa, tepe noktası y , tepe noktası x 'in bir varisidir. X 'in tüm varislerinin grubu Γx olarak belirtilir. Örneğin, şekil 5.9'da $\Gamma x_9 = \{x_3, x_4, x_5\}$ gibi. X bloklarının bir grubunu içeren bir yönlendirilmiş grafiğin kapanması, $Y \subset X$ bloklarının (eğer $x \in Y$ ise $\Gamma x \in Y$ gibi) bir grubudur. Örneğin, yine şekil 5.9'da $Y = \{x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7, x_8, x_9\}$ yönlendirilmiş grafiğin bir kapanmasıdır. Bir kapanmanın değeri bu kapanmadaki blokların kümelerinin toplamıdır. Her kapanma olası bir maden ocağını tanımlar ve maksimum değere sahip olan kapanma optimal maden ocağını tanımlar.

5.3.3.1 Değişken Şev Açıları

Lerchs-Grossmann algoritmasının orjinal formülasyonunda, tepe noktasından yüzeye koni çıkarmayı belirten model soldan, sağdan ve üstten birer tepe noktası ile sınırlandırılmıştır ve bu durum değişken şev açılarını kapsamayı zorlaştırır. Bu zorluğu aşmak için şev açıları, blokların boyutları vasıtasıyla tanımlanmış olarak varsayılır. Bu, blok modelde farklı şev açılarının farklı boyut ölçüleri gerektirmesi ve modeldeki blokların boyutlarının gerekli sıra yüksekliğine uymaması gibi uygun olmayan bir formülasyondur. Ek olarak, maden ocağının farklı alanlarında farklı eğimleri spesifik etmek mümkün değildir.

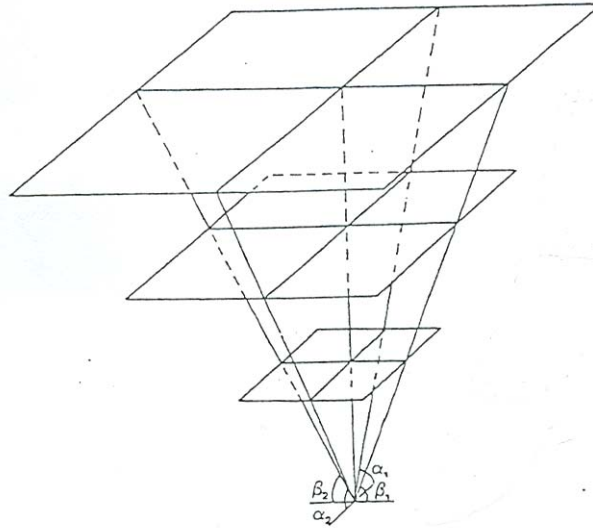
Değişken şev açılarını içeren metotların sağlanması için birçok erken denemeler yapılmıştır. Son olarak, Zhao ve Kim koni şablonuna dayanan bir metot tanımlamışlardır. Lipkewich ve Borgman (1969), yüzeye konisel bir genişleme tahmin eden “şovalyenin hareketi” modelini önerdiler. Burada tanımlanan metot, koni şablon metotunun en genel versiyonlarından ve açıların daha esnek bir şekilde tespit edilmesine izin verir.

Belirtilen seviyede bir blok için çıkarma hacmi bu seviyeden başlayıp yüzeye kadar uzanan halkaların yada blokların zarflarının birleşmesiyle oluşur. Şekil 5.10’da 30^0 , 45^0 ve 60^0 lık eğim açıları ile üç farklı alana bölünmüş olan cevher kütlesi örneğinde olduğu gibi iki-boyutlu temel çıkarma modelini göstermektedir. Modeldeki her blok için; bu bloğa dayanan bir koni, her seviyeden bir üst seviyeye yapılandırılır. Her seviyedeki koninin kesişme noktaları basit trigonometri vasıtasıyla hesaplanabilir. Her seviyede , merkezleri bu iki kesim noktasının arasına düşen tüm bloklar , blok için çıkarma hacminin bir parçası olarak algoritmaya dahil edilirler.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
30	30	30	30	30	30	45	45	45	45	45	45
30	30	30	30	30	30	45	45	45	45	45	45
30	30	30	30	30	30	45	45	45	45	45	45
60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60

Şekil 5.10 Cevher kütlesinin iki boyutlu üç farklı şev açısında üretilmesi modeli.

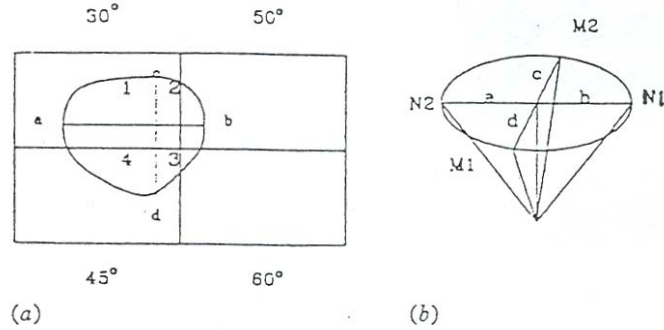
Üç boyutlu olduğunda, maden ocağının şeklinin her seviyede düzensiz bir eliptik taslak vasıtasıyla tanımlandığı varsayılır, dört tarafta eğim açıları vasıtasıyla tanımlanan dört kısmi elips aracılığıyla şekillenen bir taslaktır. Sonuçtaki çıkarma hacmi düzensiz bir konidir. Şekil 5.11 bir çıkarma hacmini tanımlayan bir koni sırasının üç boyutlu bir sunumunu göstermektedir.



Şekil 5.11 Blokların üç boyutlu olarak üretilmesi.

Her seviyede, dört yönde eğim açılarına bağlı olan a , b , c ve d değerleri trigonometri vasıtasıyla bulunabilir. Dört farklı elips yarıçapları tüm yönlerdeki eğim açıları vasıtasıyla belirlenir. Eğer eğim açıları aynı ise tüm dört yarıçap birbirine eşittir. Şekil 5.12 bir yarı çap örneğini göstermektedir. Şekil 5.12’de referans ile, n seviyesinde bir blok (x_l, y_m, z_n) olsun. Bu blok için çıkarma hacmi, tüm blokların $(x_i$

, y_j, z_k) düşünülmesi vasıtasıyla tanımlanır. Burada; $i = i_1(k), i_2(k)$; $j = j_1(k), j_2(k)$; $k = n, 1$ dir. i ve j seviye k 'dan seviye $k-1$ ' e koninin kesim noktalarını tanımlamaktadır.



Şekil 5.12 İki seviye arasındaki çıkarılan hacmi tanımlayan koni dört yarıçapını gösterir örnek a) plan görünüş, b) isometrik görünüş.

$$\text{Eğer } x_i < x_1 \text{ ise } a = x \cdot d (1 - i_1(k)) \quad (5.1)$$

$$\text{Eğer } x_i > x_1 \text{ ise } a = x \cdot d (i_2(k) - 1) \quad (5.2)$$

$$\text{Eğer } y_j < y_m \text{ ise } b = y \cdot d (m - j_1(k)) \quad (5.3)$$

$$\text{Eğer } y_j > y_m \text{ ise } b = y \cdot d (j_2(k) - m) \quad (5.4)$$

Burada x_d ve y_d , x ve y yönlerinde blok boyutlarını ifade etmektedir.

$$\text{Değer} = x_i^2 / a^2 + y_j^2 / b^2 \quad (5.5)$$

Eğer 'değer' > 1.0 ise, bloğun (x_1, y_m, z_n) koninin dışında kaldığı varsayılır. Bu hesaplamalarda; blok merkezleri blokların konumunu tanımlamada kullanılır ve böylece koninin şekli her seviyede çevre blokların orta noktalarından geçen bir dış hat olur.

Burada verilen örneklerde; her blok için sadece bir açı belirtilir, ama bu, modeldeki her açıya ayrılacak azimuth açılara izin verecek şekilde kolayca genişletilebilir.

Koninin şekli elde edildikten sonra, onun içindeki tüm bloklar grafik algoritmasına konu olur. Yollar sabit değildir ve tüm yönlerde eğim açılarını sağlamak için önceden tanımlanmış koni içinde bir tepe noktasından diğerine hareket edebilir (Dowd; Onur,1993).

5.3.3.2 Hesaplama Gereksinimleri

Küçük bloklar maden cevherini daha doğru bir şekilde temsil ederler ve böylece açık ocak dizaynı daha güvenilir olur. Bloklar için daha güvenilir kalite tahminleri yapılmasını sağlar. Blok boyutlarının hem hafıza gereksinimlerini hem de hesaplama zamanı artışları azaltılır. Algoritmada 3 tane üç boyutlu matrix ve 6 tane iki boyutlu çalışma matrixi kullanır. Çalışma matrixleri, blok sayısından bağımsızdır. Üç boyutlu matrixler, gelir blok modelini ve eğim açısı modelini, 0 değerini alan mantıklı bir değişkeni ve dikkate alınmaya hazır bir blok gösterimini, 1 değerini alan optimum çözüme eklenen bir blok gösterimini ve 2 değerini alanda hala düşünülen bir blok gösterimini kapsar.

Bu üç boyutlu matrixler, maden cevheri modelindeki blokların toplam sayısının üç katına eşit olan bir hafıza miktarı gerektirir ve böylece program üzerinde bir saklama sınırlamasını empoze eder. Bu sınırlama, rastgele giriş dosyalarının kullanılmasından etkilenir. Programın uygulanması boyunca herhangi bir zamanda, bir dosyadan kurtarılacak ve hafızada saklanacak tek veri, algoritma tarafından hesaplamada kullanılmakta olan bloklar için olandır.

Rastgele giriş dosyaları, programın herhangi bir hafıza sınırlamasından bağımsız olarak çalışmasını sağlar ve maden cevherini tanımlamada kullanılabilecek blokların sayısı üzerinde hiçbir kısıtlama yoktur. Bununla birlikte, bu tür dosyaların kullanımı hesaplama zamanını önemli ölçüde arttırır. Zamanın arttırılacağı miktar, disk sürücüsünün çalışma karakteristiklerinin ve bir dosyadan okunacak bilgilerin konumunun bir fonksiyonudur. Dosya giriş zamanları, rotasyonel gecikmeleri önleyecek kodlama teknikleri vasıtasıyla azaltılır. Ek olarak, okunacak olan blokların sayısı, optimum ocak üzerinde hiçbir etkisi olmayan alanları eliminasyonu

vasıtasıyla azaltılabilir. Örnek; hava blokları ve eğim açıları uygulandığı zaman ocak dışında kalan hava blokları. Bu tür bloklar ileriki düşüncelerden çıkarıldığı zaman, tutulan blok sayıları azaltılır.

Optimal açık ocak dizaynı için daha hızlı, etkili ve basit olan bir araştırma, önceden görülebilir bir gelecek için maden sanayi uygulamalarında operasyonel araştırma aktivitelerinin en hareketli alanlarından biri olarak kalacaktır. Düzeltilen Korobov algoritması, daha basit bir model olan ve hesaplama zamanını azaltan Lerchs-Grossmann algoritmasının üzerinde avantajlar önerir. Değeri arttırılmış programlama prosedürleri vasıtasıyla, algoritmanın verimliliğini arttırmak için çok sayıda olanak vardır.

BÖLÜM ALTI

PROJE SAHASININ GENEL DURUMU

6.1 Coğrafi Durum

6.1.1 Coğrafi Konum

Çalışma bölgesi, Aydın iline bağlı Söke İlçesi yakınındadır. Proje konusu olan Cankurtaran kalker sahası BATISÖKE Çimento Fabrikasının yaklaşık 1 km kuzeyinde bulunmaktadır. Bölgenin yer bulduru haritası Şekil 6.1’de verilmiştir.

6.1.2 Bitki Örtüsü

Bölgede yaygın olarak maki türü bitkilerle örtülü alanlar ve zeytinlikler görülmektedir. Bunun dışında yüksek tepelerde çam ormanları izlenmektedir. Alüvyoner düzlüklerde ise yaygın olarak pamuk yetiştirilmektedir.

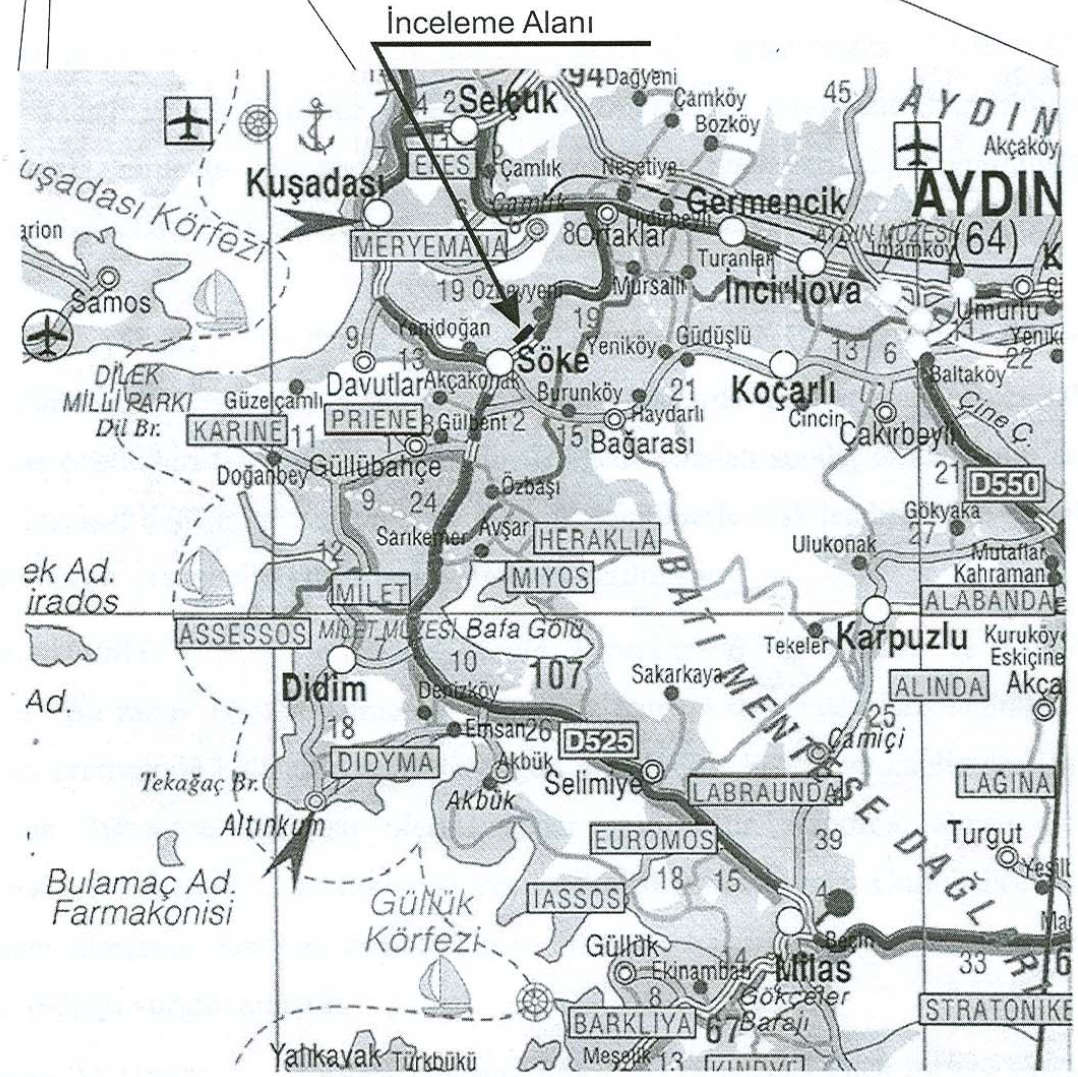
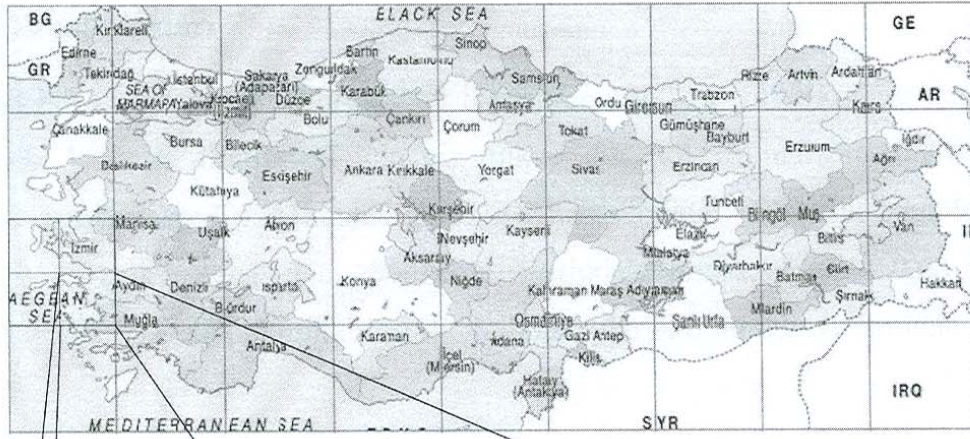
6.1.3 İklim

Çalışma bölgesinde Akdeniz’e özgü iklim koşulları egemendir. Bölgede yazlar sıcak ve kurak, kışlar ise ılıman ve yağışlıdır. Yöreye en fazla yağış Nisan, Mayıs, Eylül, Ekim ve Kasım aylarında düşmektedir ve genelde yağmur şeklinde olmaktadır. Yöredeki yıllık meteorolojik veri ortalamalarına göre;

Yıllık ortalama sıcaklık	: 17,4 °C
Yıllık ortalama yağış	: 94,3 mm/ay
Yıllık ortalama nispi nem	: %58

6.1.4 Topoğrafya

Saha genelde engebeli bir arazi yapısına sahiptir. +40 kotunda bulunan çimento fabrikası ile Cankurtaran Kalker sahasının en yüksek noktası olan +500 kotu arasında



Şekil 6.1 Proje alanının yer bulduru haritası.

460 m’lik fark vardır. Sahanın güney ve güney batısında daha önceki yıllarda yapılan çalışmalardan dolayı çok dik şevler oluşmuştur.

6.1.5 Ulaşım ve Yerleşim

İnceleme alanı Aydın-Söke karayolu çevresinde yer almaktadır. BATISÖKE Çimento Fabrikası önünden geçen bu ana arterin dışında Cankurtaran kalker sahasına sürekli bakımı yapılan ve bir kısmı asfalt olan stabilize bir yol ile ulaşılmaktadır.

6.2 Projenin Amaç ve Gerekçesi

Çimentonun ana hammaddesi olan uygun kalitedeki kalkerin temin edilmesi çimento fabrikaları için büyük önem taşır. Kalker üretim maliyetleri içerisinde en fazla payı nakliye giderleri oluşturmaktadır. Bu nedenle çimento sektörüne hammadde sağlayan kalker ocakları fabrikalara mümkün olduğu kadar yakın seçilmelidir. Ayrıca üretilen kalkerin çimento yapımında kullanılabilmesi için belirli kimyasal özellikte olması istenir.

Bu projedeki amaç BATISÖKE A.Ş.’ye ait Çimento Fabrikasının kalker ihtiyacının Cankurtaran kalker sahasından karşılanmasıdır. Bu amaç için Cankurtaran Kalker sahasından elde edilen sondaj karotlarının analizleri kullanılarak yazılan bilgisayar programı ile sahanın üç boyutlu matematiksel modellemesi yapılmış ve hammadde ihtiyacını karşılayacak uygun nitelikteki kalkerin miktar ve dağılımı tespit edilmiştir. Bu bilgiler ışığında Cankurtaran Kalker sahasının üretim planları yapılmıştır.

6.3 Üretim Miktarı

Söke Çimento fabrikasının yıllık kalker ihtiyacı 1.000.000 ton/yıl ve hazır beton tesisinin yıllık kalker ihtiyacı da 250.000 ton/yıl dır (Onur, 2003). Sahada açık işletme tekniğine uygun olarak en üst seviyeden başlayarak 10 m’lik basamaklar

oluşturulacak şekilde üretim yapılması planlanmıştır. Üretilecek hammaddenin % MgO % SiO₂ ve %CaO içerikleri verilmiştir.

6.4 Proje Sahasının Genel Jeolojisi

6.4.1 Giriş

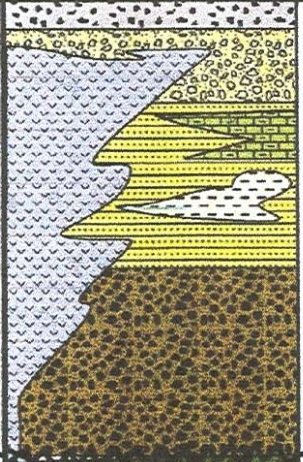
Proje sahası Menderes masifinin örtü kayaları olarak bilinen şist ve mermer birimlerinden oluşmaktadır. Daha önce birçok araştırmacı tarafından genellikle Menderes Masifi adı altında incelenip, stratigrafisi ve metamorfizması ortaya konulmaya çalışılmıştır. Proje alanı içerisinde şist ve kalker birimi olarak genel bir ayrım içinde tanımlanan birimler Şarlak Dere'nin doğu ve batısında kalan yüksek alanlarda kalker, düşük kotlarda ise şist birimleriyle temsil edilmektedir. Kalker biriminin şist birimi ile olan dokanak kesimlerinde kalkışist, dolomitize mermer, muskovit-kuvars şist düzeyleri yer almaktadır. Üste doğru mermerlerdeki metamorfizmanın etkisi azalmakta, granoblastik dokulu (kristalin) som kalkerlere geçilmektedir. Som kalkerler içerisinde yer yer diyorpor-zımpara, çört bant ve mercikleri yer alır (Oran, 2002).

Şarlak Dere ve Cankurtaran bölgesinde kapalı bir dom (antiklinal) yapısı gösteren kalker ve şist birimlerinde, üstten alta doğru tedrici değişimler gözlenmektedir. Kalkerde üstten alta doğru metamorfizma derecesinin artışının yanında dolomitizasyonda da bir artış gözlenmektedir. Ayrıca dolomitizasyonun yoğun olduğu kesimlerde kimyasal ayrışma sonucu oluşmuş boşluklu (kavernöz) dokular da gözlenmektedir (Oran, 2002).

6.4.2 Stratigrafi

Batısöke Çimento Fabrikası tarafından kalker sahası olarak işletilmekte olan Cankurtaran ve Şarlak Dere bölgesindeki jeolojik birimler alttan üste stratigrafik dizilimi şekil 6.2.de verilmiştir. Buna göre en altta koyu gri, siyahımsı yer yer grafit şist düzeyli granatlı mika şistler bulunur. Bu granatlı mikaşist düzeyi üzerinde açık grimsi ve bej renklerde fillit ve kuvars muskovit şistler bulunmaktadır. Parlak yüzeyli (Simli görünümlü) fillitler, koyu gri, siyahımsı mermer mercikleri içeren kalk

şistlere geçmektedir. İstifin orta – üst kesimlerine doğru kalk şistler ile geçişli, yoğun erime boşlukları bulunduran ve boşluklarında demirli suların dolaşımı nedeniyle pas

YAŞI	LİTOLOJİ	AÇIKLAMALAR
TERSİYER		Alüvyon Gevşek tutturulmuş konglomera Yeşilimsi siyah andezit ve bazalt Beyazımsı, orta-kalın tabakalı mam Sarımsı, yeşilimsi kiltası. Sarımsı, kahverengi, ince-orta tabakalı, bol mikalı kumtaşı. Kırmızı çamurtaşı destekli konglomera
		Siyahımsı yeşil serpantinit
PALEOZOYİK- MESOZOYİK		Çört yumrulu ve tabakalı rekristalize kireçtaşı Beyazımsı, gri, yer yer dolomitize rekristalize kireçtaşı Beyazımsı gri, sık çatlaklı, mermer. İçerisinde zımpara mercekleri var.
		Grafitli ve koyu gri mermer mercekli kalk şist, fillit ardalanması
		Gri, sarımsı, bej, kuvars-muskovit şist Koyu gri, siyahımsı granatlı, mika şist

Şekil 6.2 Söke kuzeyinin genelleştirilmiş stratigrafi sütun kesiti (Oran, 2002).

renginde limonitleşmeler gösteren dolomitize rekristalize kireçtaşları ve mermerler yer almaktadır. Bu rekristalize kireçtaşlarının yoğun çatlaklı ve kıvrımlanmalı olan alt bölümlerinde çamur daykları şeklinde görülen şist sokulumları bulunmaktadır. Mermerler ve rekristalize kireçtaşları üste doğru grimsi, mavimsi dolomitize kireçtaşlarına geçmektedir. Kalker istifinin en üst kesimlerine doğru çörtlü ve laminalı rekristalize kireçtaşları ile boksit ve zımpara ara düzeyli kalın tabaklı kireçtaşları yer alır (Oran, 2002).

Proje alanı içerisinde bulunmamakla beraber Yamaç Köyü'nün kuzey batısındaki, Nenem Suyu civarında ve Kale Tepe kuzeyinde rekristalize kireçtaşları üzerinde tektonik dokanaklı olarak bulunan, koyu yeşil, siyahımsı, sık çatlaklı serpantinitle gözlenir (Oran, 2002).

Bölgenin Neojen birimleri alttaki Paleozoyik-Mesozoyik birimlerini açılı uyumsuzlukla örten konglomeralarla başlar ve gölsel kum ve kilaşı-marn ardalanması şeklinde devam eder. Bölgenin Neojen birimleri faz kontrollü bir havzada çökeldiğinden Söke-Kuşadası doğrultusunda uzanan çöküntü alanında yüzeylenmektedir. Neojen birimlerinin çökelimini kontrol eden faylanma tektonizması aynı zamanda bölgedeki volkanik kayaların da oluşmasına neden olmuştur. Dolayısıyla Asar Tepe, Hisar Tepe, Hamamcı Tepe gibi önemli volkanik çıkışlar bulunmaktadır. Bölgedeki en genç çökelleri Söke Ovası'nda yer alan ve Büyük Menderes nehrinin taşıdığı çakıl, kum, silt ve kil karışımından oluşan alüvyonlar oluşturmaktadır (Oran, 2002).

Yukarıda alttan üste tanımlanan kaya birimi (litoloji) dizileri içerisinde şist-filit birimleri ile kalker genel adıyla tanımlayabileceğimiz mermer, kalkşist, rekristalize ve dolomitize kireçtaşları ayrıntılı olarak tanımlanmıştır (Oran, 2002).

6.4.2.1 Şist-Filit Birimi

Sahada genellikle siyahımsı gri, koyu yeşilimsi renkte, simli görünümlü ve ince yapraklanmalı olarak görülür. Söke-Ortaklar yolunun kuzeyinde yaklaşık yola paralel uzanımlı geniş bir yüzeylenme sunarlar. Batısöke Çimento Fabrikası Sahasının kuzeyindeki alanlarda ve kalker sahası ruhsat alanı içerisinde, tabanda birleşen üstte ise birkaç ayrı ince mostralara şeklinde görülmektedir. Birim alt seviyelerinde grafit şist aralanmalı, granatlı mika şistler ile temsil edilmektedir. Üste doğru beyaz kuvarsit bantları içeren mikalı şist ve fillitlere geçmektedir. Fillitler genellikle ayrışma bölgelerinde sarımsı mikalı topraklar ve kumlar şeklinde gözlenirken ayrışmaya uğramış alanlarda cm mertebesinde düzgün yapraklanma gösteren, ipeksi görünümlü kayalar şeklindedir. Üst kısımlara doğru kalkışist ve şisi yapılı ince mermer merceklerinin boyutu birkaç 10 m^3 ten birkaç 100 m^3 'e kadar değişir (Oran 2002).

6.4.2.2 Cankurtaran Kalker Birimi

Proje sahası içerisinde kalkışist, mermer, dolomitize mermer, rekristalize kireçtaşı, çörtlü ve zımparalı olarak gözlenen tüm karbonatlı birimler *kalker birimi* olarak tanımlanmıştır. Kalker birimi içindeki tüm litolojilerin ortak özellikleri, çok fazla kırıklı, çatlaklı ve boşluklu olmaları, çekiçle kırıldıklarında içerisindeki organik materyelden dolayı bitüm (H_2S) kokulu olmalarıdır (Oran,2002).

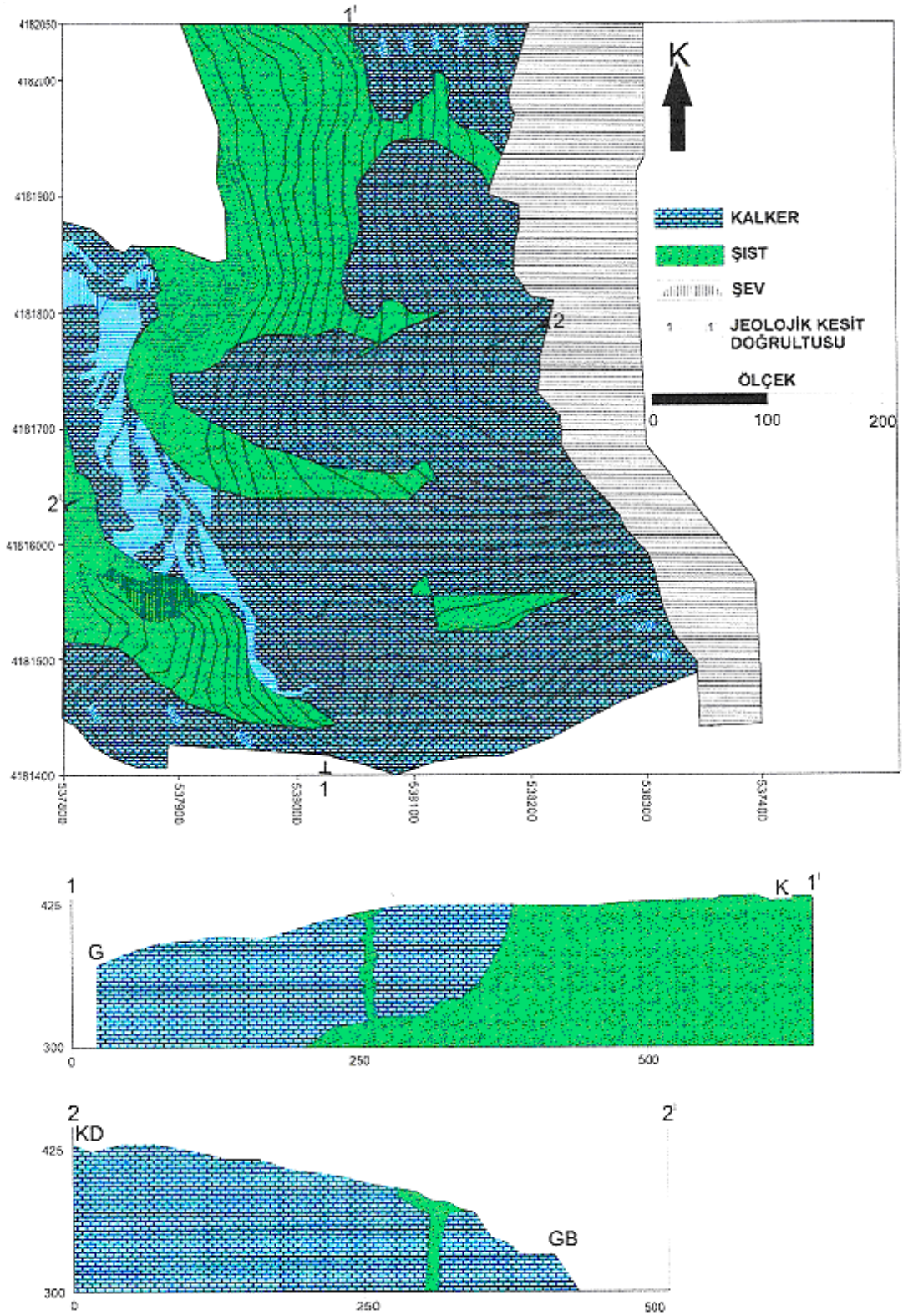
Kalker birimi inceleme alanında litolojik özelliklerden dolayı sert topografik yapıyı oluşturmakta ve bölgenin yüksekçe kesimlerini meydana getirmektedir. Şarлак Dere'nin doğusunda doğu-güneydoğuya doğru eğimli, batısında ise batı-kuzeybatıya eğimli olan kalker birimi bu yapıyla, eksenini yaklaşık Kale Tepe ve Şarлак Dere boyunca geçen kapalı bir dom (antiklinal) yapısı oluşturmaktadır. Kalın kalkerlerin kapalı kıvrımlar oluşturmaları birkaç tektonik fazın etkisi altında kaldığını düşündürmektedir. Birim tüm yüzeylenme alanında tabandan en üst seviyesine kadar belirgin litolojik farklılıklar göstermemekle birlikte, alttan üste doğru azalan bir metamorfizma etkisinde kalmıştır. Taban seviyelerinde kalkışist, mermer, H_2S kokulu dolomitize rekristalize kireçtaşı olmasına karşın, üst seviyelere doğru belirsiz tabakalı ve laminalı yer yer çörtlü ve rekristalize kireçtaşı özelliğindedir. Birimin en belirgin özelliği en üst seviyelerine yakın klavuz seviye şeklinde boksit ve zımpara

taşı oluşumlarının bulunmasıdır. Zımpara taşı üzerindeki kesimleri kalın tabakalı, yer yer masif kireçtaşı özelliğindedir (Oran,2002).

Proje alanı olarak seçilen Cankurtaran sahasında yapılan sondajlarda nadiren zımpa taşı seviyeler gözlenmiştir. Bunun nedeni de bu bölgelerde yüzeyleyen kalker seviyesinin stratigrafik olarak zımparalı düzeyin altında yer alan bölümü olmalarıdır (Oran,2002).

Yapılan minerolojik araştırmalar sonucunda yoğun dolomitleşmenin olduğu MgO'ce zengin alanlar, kalker biriminin ya şist kontaklarına yakın olan alt seviyelerde ya da kimyasal erimenin yoğun olduğu Mg'lu sıvıların kolay dolaşabildiği bölgelerdedir. MgO'in kökeninin daha çok sekonder nedenlerden kaynaklandığı bilinmekle birlikte, MgO'in bölgede yüzeyleyen iki tür kayaktan gelebileceği düşünülmektedir. Bunlardan birincisi, bölgeden bir ofiyolit napının geçişi bilinmekle birlikte ve bu napın küçükte olsa klipler şeklinde yüzeyleyen parçaları (serpantin kütleleri olarak) inceleme alanının yakınlarında gözlenmektedir. Ofiyolitik kayaları oluşturan olivin ve piroksen mineralleri yüksek oranda Mg içermektedir. Bunlardan yıkanan magnezyum iyonları kalkerdeki Ca ile yer değiştirerek dolomitleşmeyi sağlamış olduğu düşünülmektedir (Oran,2002).

İkincisi ise kalkerin altında bulunan mikaşist ve fillitler içerisinde yer alan biotit, klorit gibi yüksek Mg'lu minerallerden kaynaklanabilir. Kalker, şist kontaklarında Mg'un yoğun olarak yer alması bu ikinci görüşü destekler görünmektedir. Bölgenin geçirmiş olduğu jeolojik evrim içerisinde, metamorfizma ve tektonizma olayları sırasında, şist biriminin formasyon suyu ile birlikte yoğun Mg açığa çıktığı düşünülmektedir. Cankurtaran kalker birimi ve şist birimini gösteren jeolojik harita ve kesitleri Şekil 6.3'de verilmiştir (Oran, 2002).



Şekil 6.3 Cankurtaran kalker sahası jeolojik haritası (Oran, 2002).

6.4.2.3 Metamorfik Şistler ve Mermerler

Proje alanında en alt düzeyi oluşturan metamorfik şist ve mermer birimi genelde granat-mika şistler, klorit şistler, muskovit- kuvars şistler, kalkşistler ve bunlarla ara seviyeli mermerlerden oluşmaktadır. Araştırma alanında, geniş bir alanda yüzeyleyen birim etkin kıvrımlanma nedeniyle ve metamorfizma derecesinin artışına bağlı olarak düzenli bir zonlanma sunmamaktadır. Bu nedenle şistler içerisinde düzenli bir litostratigrafik ayırım yapmak mümkün olmamıştır.

Söke Çimento Fabrikası'nın hemen kuzeyinde, Kayaş Çiftliği yöresinde, Durmuş Oyuk Dağı güneyinde yaygın olarak yüzeyleyen birimin, dış görünüşü bej, açık kahve ve yer yer yeşilimsi boz renklidir. Bu mostralarında birim kuvars-muskovit şist, klorit şist, kuvarsit, granat ve kalk şistler ile temsil edilmektedir. Çalışılan bölgede, metamorfik şistler içerisinde mercek ve ara katman şeklinde, dış görünüşleri beyaz, bej renkli, iri kristalli ve ince katmanlı mermer mostraları da yaygındır. Mermerlerin en iyi gözlendiği yer Durmuş Oyuk Dağ ve Karyağdı Tepedir.

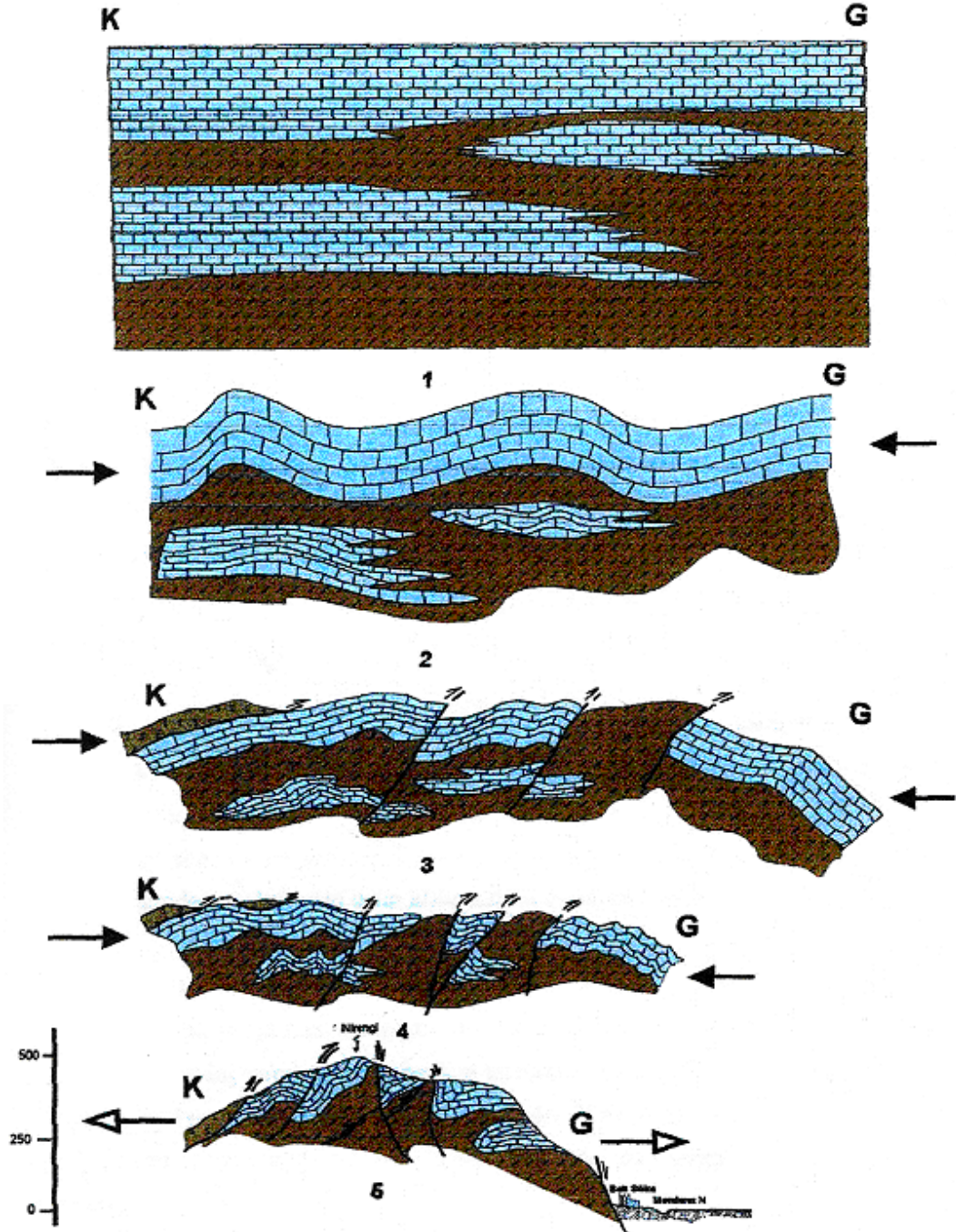
Metamorfik şistler üst düzeylerindeki kalkerlere yaklaştıkça bünyesindeki karbonat miktarının artması ile kalınlıkları birkaç cm ile birkaç m. arasında değişen kalkşistler ile temsil edilmektedir. Alt dokanağı çalışma alanımızda görülmeyen şistlerin üst dokanağı kalkerler ile geçişlidir.

Birimin kalınlığı önceki çalışmalara göre 3-4 bin metre dolayında olup yine bu çalışmalara göre yaş aralığı Kambriyen-Triyas'tır.

6.5 Jeotektonik Evrim

Proje alanının jeotektonik evrimi, İzmir-Ankara zonu olarak bilinen çökelme çanağı ile Menderes Masifi olarak bilinen ve çekirdeğinde magmatik kökenli, üst bölümünde ise çökel kökenli kayalar bulunan metamorfik topluluğunun, jeolojik zaman içerisindeki konumlarının bölgesel ölçekte ele alınması ile açıklanabilir (Oran, 2002).

Proje alanındaki paleocoğrafik değişimler ve bunu sağlayan olayların gelişimi araştırma alanı yanında bölgesel gözlemler ve literatür bilgileri ile desteklenerek verilmeye çalışılacaktır (Şekil 6.4).



Şekil 6.4 Batısöke çimento fabrikası hammadde sahasının jeolojik evrimini gösteren taslak yapı kesitleri (Oran, 2002).

Şekil 6.4'deki 1, 2, 3 ve 4 nolu kesitler eski tektonik döneme ait olup, 5 nolu kesitte yeni tektonik döneme aittir(Oran,2002).

- 1) Ofiyolit yerleşimi öncesi şist ve kalker biriminin yatay olduğu durum.
- 2) Ofiyolitinin yerleşmeye başlamasıyla kuzey-güney sıkışmaya bağlı kıvrımlanmanın başlangıç dönemi.
- 3) Kuzey güney sıkışmaya bağlı kıvrımlı, bindirmeli ve ekaylı yapıların geliştiği dönem.
- 4) 3 ile aynı özelliktedir.
- 5) Kuzey-güney gerilme(çekme) kuvvetleriyle gelişmiş olan bu günkü durum.

Proje alanı ve yakın çevresinde Tersiyer öncesi yaşı verilen kaya birimleri iki grup altında toplanabilir. Bunlardan birincisi Menderes Masifinin örtü kayaları olarak literatürde yer alan şist ve mermerlerden oluşan kayaçlar, ikincisi ise İzmir-Ankara zonu içerisinde yer alan ve daha sonraki tektonik hareketler ile Menderes masifinin üzerinde ve en son olarak da Menderes masifinin güneyinde yer alan Toros Otoktonları (Bey Dağları) üzerinde itilen ve Lisiyen Napları olarak isimlendirilen ve metamorfik olmayan Üst Paleozoyik-Mesozoyik yaşlı kayaçlar topluluğudur. Proje alanı ve çevresinde bu kayaçlara ait küçük tektonik dilimler şeklinde serpantinitle kütelleri bulunmaktadır (Oran, 2002).

Genel olarak Menderes Masifi, Prekambriyen yaşlı bir çekirdek ve Paleozoyik-Mesozoyik yaşlı bir örtüden oluşur. Proje alanı ve yakın çevresinde Menderes masifinin çekirdek kayaçları olan gnayslar yüzeylenme vermez. Ancak şistler, mermerler ve rekristalize kireçtaşları yüzeylenme verir (Oran, 2002).

İzmir-Ankara zonu içerisinde yer alan Neotetis'in kuzey kolunun kapanmaya başlamasıyla Üst Kretase döneminde ve sonrasında bu kuşak içinde yer alan ofiyolitik kayaçlarla birlikte bu havzanın çökel kayaçları karışarak Menderes Masifi üzerine itilmeye başlamıştır. Dolayısıyla Menderes Masifinin örtü birimleri de ilk kıvrımlanmaya başlamıştır. Menderes masifindeki kuzey güney sıkışma Paleosen-Eosen döneminde de devam etmiş ve bölgede şistler kıvrımlanmaya uğrarken daha

dayanımlı ve masif olan kireçtaşlarında ters faylanmalar ve şistlere göre daha açık dalga boylu kıvrımlar oluşmuştur (Oran, 2002).

Kıvrımlanan ve faylanan örtü kayaları yer yer yükselerek aşınımına uğramış ve Menderes Masifi üzerinde örtü niteliğinde olması gereken Lisiyen Napları yer yer aşınarak, masifin örtü kayaları olan kalker ve şistler tektonik pencereler şeklinde yüzeylenmişlerdir (Oran, 2002).

Oligosen-Miyosen döneminde Lisiyen Napları Menderes Masifinin güneyine ulaşmış ve nap yükü altından kurtulan masif bu kuzey-güney sıkışma kuvvetlerinin de etkisiyle hızla yükselerek doğu-batı yönlü genişlemeye uğramış ve kuzey-güney karasal ve gölsel çökel dolgulu grabenler oluşmuştur. (Oran,2002).

Üst Miyosen'den günümüze ise Anadolu levhasının KAF (Kuzey Anadolu Fayı) ile DAF (Doğu Anadolu Fayı) hareketi ile batıya doğru kayması, Batı Anadolu'da kuzey-güney gerilmeli bir tektonik rejime neden olmakta ve bugünkü doğu-batı gidişli grabenler (B.Menderes grabeni, K. Menderes grabeni, Gediz Grabeni, Bakırçay grabeni vb.) olmuştur (Oran, 2002).

Proje alanı, bu genel jeoteknik evrim içerisinde sıkışma döneminde kıvrımlanmış ve yükselmiş menderes masifi kayalarının yüzeylendiği bir alandır. Üst miyosen sonrasındaki gerilme rejiminin etkisiyle de normal atım bileşenli faylanmalara uğramıştır. Söke ovası ve Büyük Menderes deltasının bulunduğu alan bu tektonizmanın etkisiyle oluşmuş ve iki tarafı normal faylarla sınırlı bir çöküntü alanıdır (Oran, 2002).

6.6 Cankurtaran Kalker Sahasının Özellikleri

Cankurtaran kalker sahasının modellenmesi amacıyla toplam uzunluğu 2350 m olan 39 adet sondaj gerçekleştirilerek 1'er metrelik karotlar üzerinde farklı kimyasal analizler yapılmıştır. Bölgede bulunan kalkerin, denizel kökenli olduğu ve MgO ve SiO₂ oranlarının yüksek olması ve CaO oranında düşük olması nedeni ile klinker

üretiminde tamamının direk olarak kullanılması mümkün değildir. Mevcut maden ruhsatı içerisindeki kalkerin bir kısmı ancak iyi bir üretim planlaması ve ocak içi harmanlama uygulanarak kullanılabilir hale gelecektir. Bu sondajlardan 2 adeti, özellikle yüzeyden şist olarak tanımlanan bölgelerde açılmış, her iki sondajda yaklaşık 12-15 m sonra şisti geçerek kalkere girmiştir. İşletmede halen açık şevlerde görülen 1-2 m kalınlığındaki şist sokulumları yüzeye ulaştıkları yerlerde daha geniş yayılım göstererek şist miktarlarını olduklarından daha fazla göstermektedir. Jeolojik yüzey araştırmaları ile belirlenen, ana şist kütesinden kalker içerisine sokulum yapan şistlerin büyük bir kısmı aynı özelliği göstermektedir.

6.7 Söke Çimento Cankurtaran Kalker Sahasının İstatistiksel Verileri

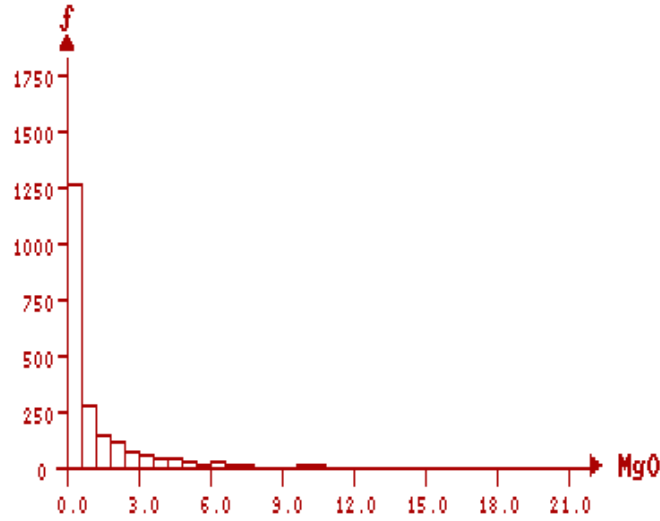
Çimento, bilindiği gibi başlıca silisyum, kalsiyum, alüminyum ve demir oksitleri içeren hammaddelerin sinterleşme derecesine kadar pişirilmesi ile elde edilen yarı mamül madde klinkerin, tek veya daha fazla katkı maddesi katılarak öğütülmesi ile üretilen hidrolik bağlayıcı maddelere denir. Portland çimentosu klinkeri aşağıdaki tabloda yaklaşık değerleri verilen kimyasal bileşimleri içermelidir.

Tablo 6.1 Portland çimentosu klinkerinin kimyasal bileşimleri (Duda, 1985)

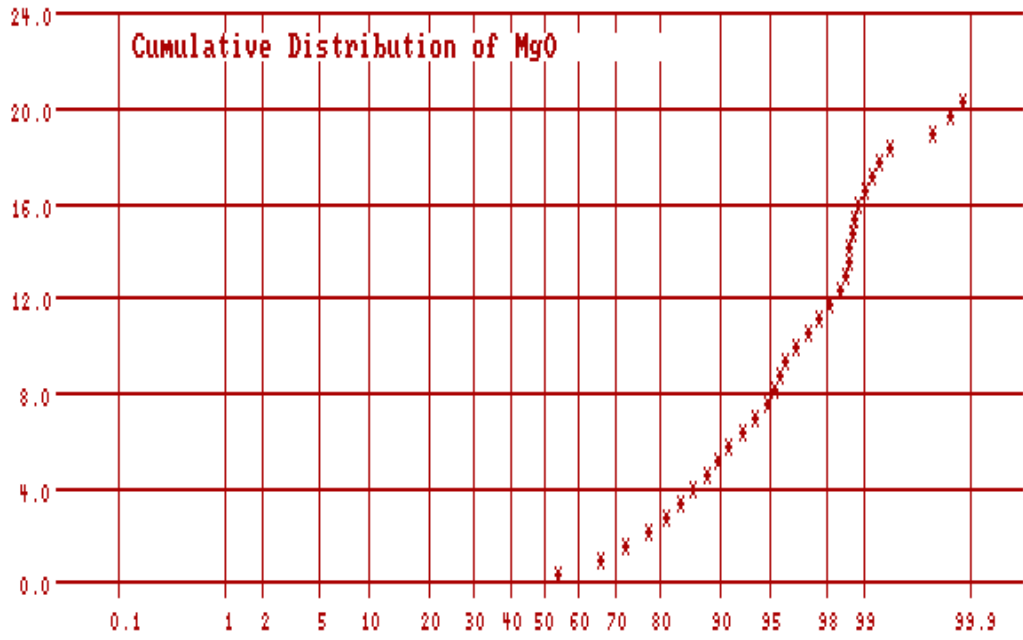
Kimyasal Bileşim	%
CaO	% 58-67
SiO ₂	% 16-26
Al ₂ O ₃	% 4-8
Fe ₂ O ₃	% 2-5
MgO	% 1-5
K ₂ O + Na ₂ O	% 0-1
SO ₃	% 0,1-2,5
Kızdırma Kaybı	% 0,5-3

Ayrıca iyi kalitede çimento üretiminin gerçekleştirilebilmesi içinde hammadde karışımı hazırlamada önemli olan parametreler ve bunların sınır değerleri beşinci bölümdeki tablo 5.1 de verilmiştir. Bu parametreler hammaddedeki kimyasal değerlere göre hesaplanır.

Kalkerin klinker üretiminde en önemli parametreleri %CaO, %SiO₂ ve %MgO içeriğidir. Bu yüzden Cankurtaran kalker sahasının MgO, SiO₂, CaO içeriklerine göre genel dağılımları ve kümülatif dağılımları Şekil 6.5, Şekil 6.6, Şekil 6.7, Şekil 6.8, Şekil 6.9 ve Şekil 6.10'da verilmiştir. Şekil 6.5'de % CaO genel dağılım grafiği ve Şekil 6.6'da kümülatif dağılım grafikleri verilmiştir. Şekil 6.5'den görüleceği üzere tüm sahada bulunan 2374 adet karatun ortalama MgO içeriği %1,92, standart sapması 3,12 dir. Standart sapmanın yüksek olması, sondaj loglarında MgO içeriği çok yüksek bölgelerin olduğunu göstergesidir. Bu sahada tüm veriler kullanılarak kalite sınıflaması Tablo 6.2 de verilmiştir.



Şekil 6.5 Cankurtaran kalker sahası % MgO dağılımı grafiği.



Şekil 6.6 Cankurtaran kalker sahası %MgO kümülatif dağılım grafiği.

Tablo 6.2 Cankurtaran kalker sahası MgO içeriklerine göre kalite sınıflaması

%MgO	$\bar{X}$	SS	N	%
MgO $\leq$ 3	0,696	0,703	1920	80,9
0 – 0.5	0,266	0,108	1171	49,3
0.5– 1	0,698	0,147	331	13,9
1-2	1,46	0,30	273	11,5
2-3	2,45	0,28	167	7,0
MgO>3	7,5	4,00	457	19,8

$\bar{X}$: Ortalama

SS: Standart sapma

N : Örnek sayısı

% : Tüm veriler içindeki yüzdesi

MgO içeriğinin % 3'ün üzerindeki kalkerin klinker üretiminde kullanılamayacağı göz önüne alındığında bölgede önemli miktarda yüksek MgO içerikli kalkerin mevcudiyeti gözlenmiştir.

Üretim basamakları 10m artarak planlandığı için, basamaklara göre MgO kalite dağılımları Tablo 6.3’de verilmiştir.

Tablo 6.3 Cankurtaran kalker sahası MgO basamak kalite dağılımları

Basamak Kotu (m)	$\bar{X}$	SS	N	%
+450 ve üzeri	1,20	1,83	49	2,1
440-450	1,30	1,27	64	2,7
430-440	2,59	3,40	104	4,4
420-430	2,79	3,32	139	5,9
410-420	2,03	2,66	185	7,8
400-410	1,65	2,37	208	8,8
390-400	1,97	2,87	228	9,6
380-390	1,82	3,16	277	11,7
370-380	1,68	2,69	320	13,4
360-370	1,91	3,16	289	12,1
350-360	2,03	2,91	213	9
340-350	1,80	3,76	155	6,5
330-340	0,98	2,91	93	3,9
320-330	4,63	7,74	40	1,7

$\bar{X}$: Ortalama

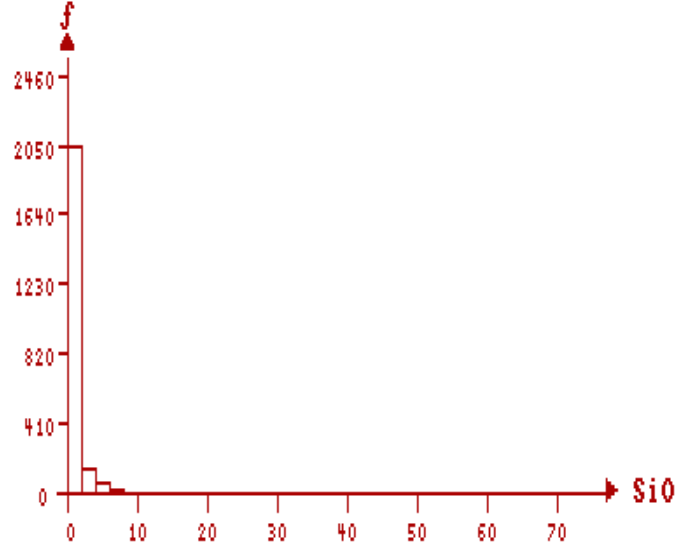
SS: Standart sapma

N : Örnek sayısı

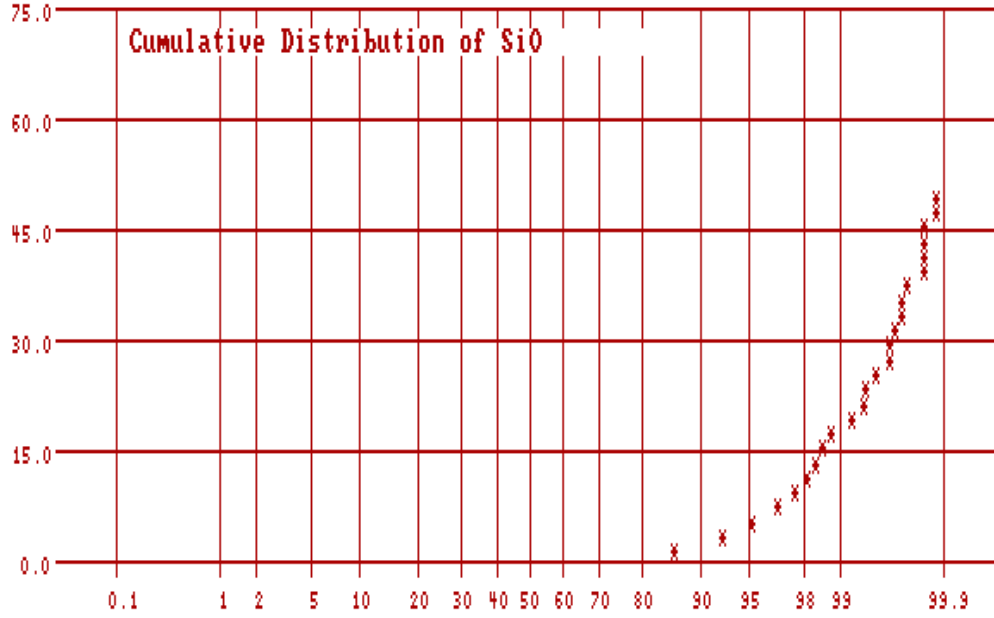
% : Tüm veriler içindeki yüzdesi

Klinker üretiminde etkili diğer bir parametre de %SiO₂ içeriğidir. Cankurtaran sahasındaki kalkerlerin SiO₂ içeriğine göre genel dağılımı Şekil 6.7’de kümülatif dağılımı da şekil 6.8’de verilmiştir. Şekil 6.7’de görüleceği üzere tüm sahada bulunan 2374 adet karotun ortalama %SiO₂ içeriği % 1,5, standart sapması 3,97 dir. Standart sapmanın yüksek olması, sondaj loglarında SiO₂ içeriği çok yüksek bölgelerin olduğunu göstermesidir. Bu sahada tüm veriler kullanılarak yapılan kalite sınıflaması Tablo 6.4’de verilmektedir. Tabloya bakıldığında verilerin büyük çoğunluğunun % SiO₂ oranı % 3’ün altındadır. Sadece 232 tane verinin % SiO₂

değeri % 3'ün üzerindedir. Buda bize belli seviyelerde kalınlığı çok fazla olmayan silis oranı yüksek zonlu bölgelerin bulunduğunu gösterir.



Şekil 6.7 Cankurtaran kalker sahası % SiO₂ dağılım grafiği.



Şekil 6.8 Cankurtaran kalker sahası % SiO₂ kümülatif dağılım grafiği.

Tablo 6.4 Cankurtaran kalker sahası SiO₂ içeriklerine göre kalite sınıflaması

% SiO ₂	$\bar{X}$	SS	N	%
SiO ₂ ≤ 3	0,64	0,61	2142	90,2
0 – 0.5	0,25	0,13	1226	51,6
0.5– 1	0,69	0,14	524	22,1
1-2	1,43	0,30	315	13,3
2-3	2,43	0,30	111	4,7
SiO ₂ >3	9,43	9,41	232	9,8

$\bar{X}$: Ortalama

SS: Standart sapma

N : Örnek sayısı

% : Tüm veriler içindeki yüzdesi

Tablo 6.4'e göre SiO₂ oranı %3'ün üzerinde bulunan bölgelerdeki ortalama değer % 9,43 olduğu için bu malzemenin kullanılması mümkün değildir.

Üretim basamakları 10 m olarak planlandığı için basamaklara göre % SiO₂ kalite dağılımları Tablo 6.5 'de verilmiştir.

Klinker üretiminde en önemli parametre % CaO içeriğidir. Cankurtaran kalker sahasındaki %CaO içeriğine göre genel dağılım Şekil 6.9'da ve kümülatif dağılımda şekil 6.10'da verilmiştir. Şekil 6.9'da görüleceği üzere tüm sahada bulunan 2374 adet karotun ortalama % SiO₂ içeriği % 52,50, standart sapması 4,26 dır. Standart sapmanın yüksek olması, sondaj loglarında CaO içeriği çok düşük bölgelerin olduğunun göstergesidir. Bu sahada tüm veriler kullanılarak yapılan kalite sınıflaması Tablo 6.6'de verilmiştir.

Tablo 6.5 Cankurtaran kalker sahası SiO₂ basamak kalite dağılımları

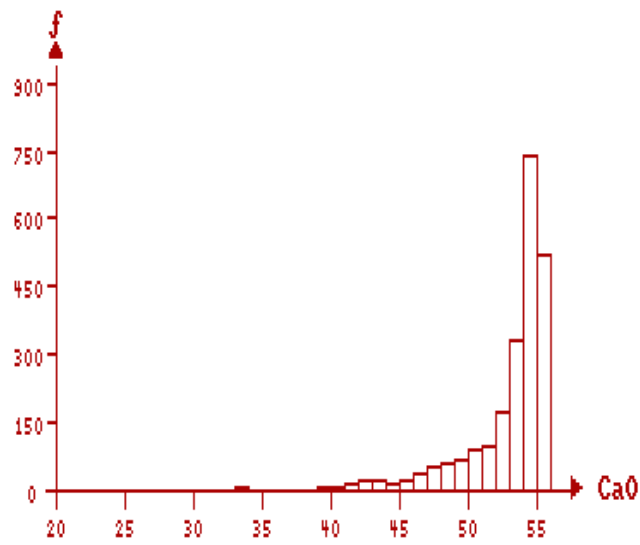
Basamak Kotu (m)	$\bar{X}$	SS	N	%
+450 ve üzeri	1,61	3,29	49	2,1
440-450	1,27	3,42	64	2,7
430-440	0,43	0,65	104	4,4
420-430	1,22	3,19	139	5,9
410-420	1,24	2,58	185	7,8
400-410	1,40	3,44	208	8,8
390-400	1,92	4,88	228	9,6
380-390	1,37	3,06	277	11,7
370-380	1,52	3,40	320	13,4
360-370	2,14	6,57	289	12,1
350-360	1,84	4,75	213	9
340-350	1,21	2,13	155	6,5
330-340	0,96	1,68	93	3,9
320-330	1,79	4,24	40	1,7

 $\bar{X}$: Ortalama

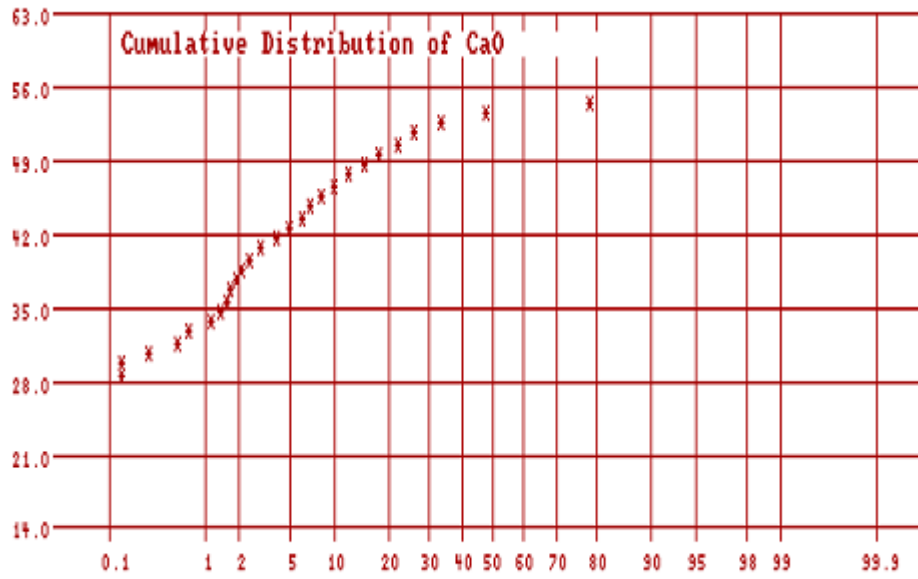
SS: Standart sapma

N : Örnek sayısı

% : Tüm veriler içindeki yüzdesi



Şekil 6.9 Cankurtaran kalker sahası % CaO dağılım grafiği.



Şekil 6.10 Cankurtaran kalker sahası % CaO kümülatif dağılım grafiği.

Tablo 6.6 daki kalite sınıflaması dikkate alındığında % CaO oranının % 52'nin altındaki ortalaması oldukça düşük ve standart sapmada oldukça yüksektir. Bu da bize % 52'nin altında CaO içeren kalkerlerin kullanılamayacağını göstermektedir. Numune sayısı da oldukça fazla olup, 601 adettir.

Tablo 6.6 Cankurtaran kalker sahası CaO içeriklerine göre kalite sınıflaması

% CaO	$\bar{X}$	SS	N	%
CaO $\geq$ 52	54,42	0,94	1775	74,8
55-56	55,42	0,29	535	22,5
54-55	54,55	0,27	741	31,2
53-54	53,59	0,29	333	14,0
52-53	52,52	0,28	182	7,7
CaO < 52	46,80	5,06	601	25,3

$\bar{X}$: Ortalama

SS: Standart sapma

N : Örnek sayısı

% : Tüm veriler içindeki yüzdesi

Üretim basamakları 10 m olarak planlandığı için basamaklara göre % CaO kalite dağılımları Tablo 6.7’de verilmiştir.

Tablo 6.7 Cankurtaran kalker sahası CaO basamak kalite dağılımları

Basamak Kotu (m)	$\bar{X}$	SS	N	%
+450 ve üzeri	53,36	2,69	49	2,1
440-450	53,21	2,39	64	2,7
430-440	52,17	4,14	104	4,4
420-430	51,64	4,55	139	5,9
410-420	52,59	3,62	185	7,8
400-410	52,89	3,39	208	8,8
390-400	52,25	4,31	228	9,6
380-390	52,72	4,05	277	11,7
370-380	52,77	3,63	320	13,4
360-370	52,14	4,99	289	12,1
350-360	52,23	4,21	213	9
340-350	52,67	4,78	155	6,5
330-340	53,74	3,47	93	3,9
320-330	49,18	8,99	40	1,7

$\bar{X}$: Ortalama

SS: Standart sapma

N : Örnek sayısı

% : Tüm veriler içindeki yüzdesi

MgO, SiO₂ ve CaO Basamak Kalite Dağılımları tabloları incelendiğinde – 330 m ‘nin altındaki malzemenin kullanımının uygun olmayacağı CaO ve SiO₂ oranları yönünden belirgin bir şekilde ortadadır. 420-430 m arasında da CaO ve SiO₂ oranlarında bütünleşmeler tespit edilmiştir. Bu seviyede üretim yapılırken diğer seviyelerle uygun oranda karıştırılarak üretim yapılması uygun olacaktır.

Tablo 6.8’de verilen sondaj sayıları bulundukları seviyelerde kaç adet sondajdan veri alındığı göstermektedir. + 450 ve üzerinde veri bulunan ve sondaj sayısı 3 adet olup, modellemelerde veri eksikliğinden dolayı en zayıf bölgelerdir. 360 m’ kotunun

altındaki veriler ise cankurtaran kalker sahasının güney bölgesinde yoğunlaşmış olup, ruhsat sınırının kuzeyini desteklememektedir. Bu nedenle, ruhsat sınırının kuzeyinde veri olmamasından dolayı 340 m. seviyesinin altı modelleme ve planlama işlemlerine dahil edilmemiştir. Ancak sahanın en güneyindeki sondajlarda + 340 m. Seviyesinin altında da kalker mevcudiyeti söz konusudur. İşletme ömrünün sonlarına gelindiğinde, + 360 m. basamağından yapılacak sondajlar yardımıyla bu seviyenin altındaki rezervde üretime dahil edilmelidir.

Tablo 6.8 Cankurtaran kalker sahası farklı seviyeleri destekleyen sondaj sayıları

Seviye (m)	Sondaj Sayısı	Seviye (m)	Sondaj Sayısı	Seviye (m)	Sondaj Sayısı
+450 ve üzeri	3	400-410	23	350-360	25
440-450	8	390-400	26	340-350	19
430-440	11	380-390	34	330-340	13
420-430	14	370-380	33	320-330	6
410-420	20	360-370	32		

BÖLÜM YEDİ

ÜRETİM PLANLAMASI BİLGİSAYAR PROGRAMI

7.1 Açık İşletmede Üretim Planlaması

Üretim planlaması, tüm açık işletme madenciliğinde olduğu gibi, çimento sanayinde de sağlanması gereken hammadde kriterlerinin çokluğundan dolayı oldukça önemlidir. Farklı yapılardaki kalker, kil veya marn'ın üretim bölgesinde harmanlanması amacıyla sondaj verilerinden yararlanılarak otomatik bir üretim planının gerçekleştirilmesi çok önemlidir.

Açık işletme planlaması iki ayrı bölümden meydana gelmektedir. Birinci bölümde mevcut mineral envanteri, birim maliyetler ve net karlar kullanarak ocağın nihai sınırını tesbit etme girişimi vardır. Bu çalışmanın da konusu olan ikinci bölüm ise, belirlenen bu nihai sınır içerisindeki belirli bir konuma sahip bir mineralin ne zaman üretileceğinin belirlendiği üretim planlamasını içerir. Üretim planlaması iki bakımdan önemlidir. Birincisi “paranın bu günkü değeri” (present value of money) kavramı göz önüne alındığında, maden yatağının kaliteli bölümünün veya yüksek karlı kısmının en erken zaman dilimi içerisinde kazanılması gerekliliğidir (Whittle, 1989) ve zamanın belirsizliğini ve paranın değer kaybını içerisinde bulunduran indirgeme faktörü gibi bir kavramı ileriki yıllarda elde edilecek kara uyarılama zorunluluğunu, mevcut ekonomik şartların geçerli olduğu bir zaman dilimi içerisinde en karlı bölgelerin üretilmesini gerektirir. İkinci ise üretimin devamlılığı ve kalite kontrolünün sağlanmasıdır (Fytas, 1987).

Üretimin devamlılığı ile mevcut zaman dilimi içerisinde en kaliteli malzemenin alınmasının ileriki yıllarda dar boğaz meydana getirme riski anlatılmak istenmektedir. Maden işletmeleri planlandığı ömrü boyunca girdi malzemesi olarak kullanılacak cevherde istenilen kaliteyi sağlamak zorundadırlar. Bilindiği üzere, özellikle çimento fabrikaları gibi hammaddenin sıkı bir kontrol altında besleme gibi zorunlulukların bulunduğu işletmelerde üretimin de bu nedenle çok sıkı bir şekilde fabrikanın talepleri doğrultusunda yapılması gerekmektedir. Bunun yanında istenilen

özelliklerdeki malzemeyi sağlamanın bir yolu da harmanlamadır. Ancak harmanlama yaparken de üretilen ve stoktaki hammaddenin özelliklerinin sıkı olarak denetlenmesi gerekir. Talep edilen özellikteki hammaddenin üretilmesi ise kısa vadeli üretim planlaması ile mümkündür (Gershon,1987).

Günümüzde bilgisayar teknolojisinde yaşanan çok hızlı gelişmeye ayak uyduran madencilik sektörü, yukarıda anlatılan nedenlerden ve üretim planlaması konusunda kullanılan parametrelerin çokluğu ve karmaşıklığından dolayı böyle bir bilgisayar programına gereksinim duyulmuş ve bu proje çalışması gerçekleştirilmiştir.

7.2 Yazılan Bilgisayar Programı

İlk olarak genel hatları ile üretim planlaması programı ortaya koyulmuş olup, problemin çözümünde kullanılacak bilgisayar programları hazırlanmıştır. Bu çalışma ile, farklı kimyasal yapıya sahip hammaddelerin kullanıldığı bir proseste üretimin devamlılığını sağlamak amacı ile işletme ömrü boyunca hammadde kullanımının optimizasyonunu gerçekleştirecek bir algoritma ve bilgisayar programı üretilmeye çalışılmıştır.

Belirtilen amaçlar doğrultusunda bir bilgisayar programı yazılmıştır. Doktora projesinde bu amaçlar doğrultusunda bilgisayar programlama dillerinden visual basic programlama dili kullanılmıştır.

7.2.1 Genel Bilgiler

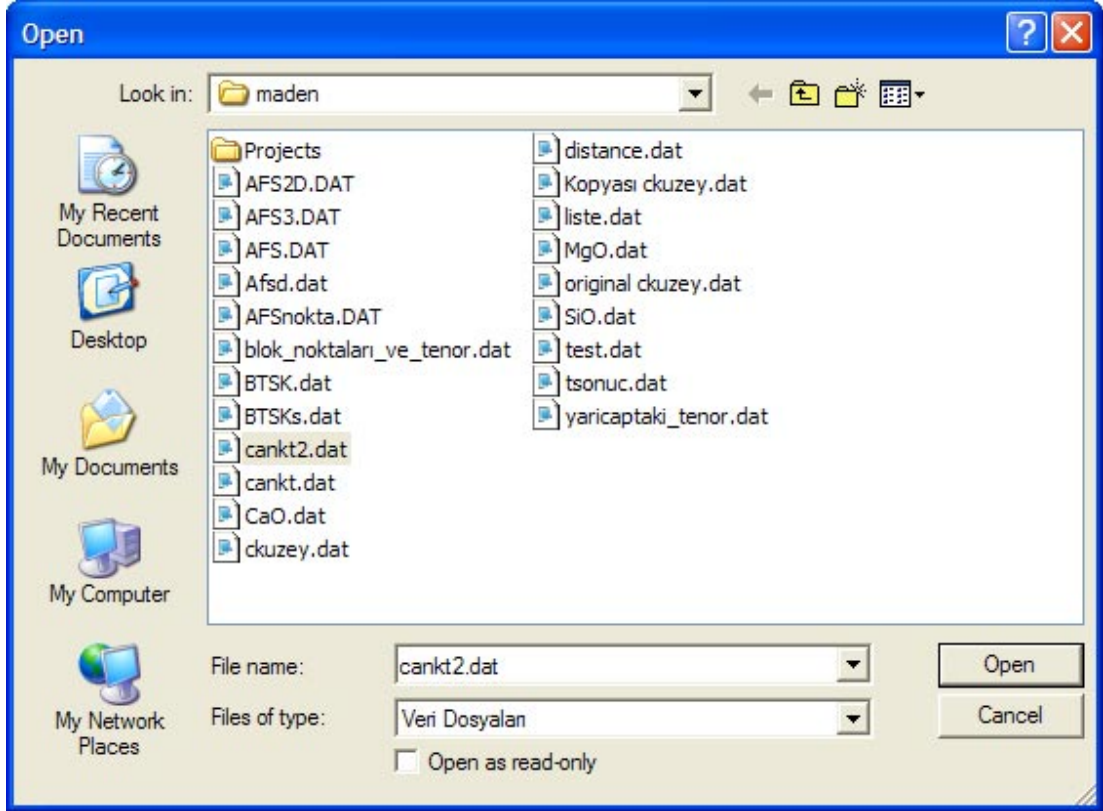
Bu proje ile geliştirilen yöntem bir optimizasyon yöntemi olmayıp, farklı alternatifleri çok kısa süre içerisinde kullanıcıya sunarak, mümkün olduğu kadar fazla alternatif deneme olanağını tanımaktır. Üretim planlamasında optimizasyon sağlayan, dinamik programlama gibi özel teknikler çok büyük sayıda veri grubundan, çok büyük miktardaki alternatifleri değerlendirdikleri için, bilgisayarlarda fazla yer ve zaman işgal ederler (Onur, 1993). Bu yüzden çok pratik değillerdir. Üretim planlamasının gerçek amacı blok modeli üzerine inşa edilmiş olan açık işletme sınırı

içerisindeki blokların hangi zaman dilimi içerisinde üretilmesi gerekliliğinin belirlenmesidir. Burada tanıtımı yapılan yöntem ise devam eden üretime yardımcı olmak amacı ile yapılacak yeni üretimlerin sonucunda çok kısa süre içerisinde kullanıcıya, üretim yapılacak yerin özellikleri hakkında bilgiler sunmasıdır ve bu açıdan oldukça büyük bir avantaja sahiptir. Yazılan bilgisayar programında blok model oluşturmak için mesafelerin tersi yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem, bir blok veya noktaya, onu çevreleyen noktalara olan uzaklıkların tersi oranında ağırlıklı olarak uzaklığın tersinin karesi oranında değer atama esasına dayandığından yaygın kullanılmaktadır. Doktora projesindeki amaç, yazılan bilgisayar programı ile kullanıcı hatasının en aza indirilmesi olduğundan, mesafelerin tersi yöntemi kullanılmıştır. Çünkü mesafelerin tersi yönteminde kullanıcının çok fazla bilgiye sahip olmasına gerek yoktur. Blok model oluşturmada jeostatistik yönteminin kullanılmamasının en önemli nedeni kullanıcı hatalarının çok fazla olacağındandır. Çünkü jeostatistik yöntemde iyi bir istatistik ve matematik bilgisi gerekmektedir. Bu durum da kullanıcıdan kullanıcıya değişeceği için hata yapma şansı daha fazla olacaktır.

7.2.2 Bilgisayar Programının Tanıtımı

Visual Basic programlama dili ile yazılan bilgisayar programı bir maden sahasının üretim planlaması için yapılacak tüm çalışmaları kapsamaktadır.

Öncelikle kullanıcı sahadan alınan sondaj verilerini bir dat dosyasında oluşturarak bunları programın veri dosyasına aktarabilir. Veri dosyasına aktarılan veriler kullanıcı tarafından program vasıtasıyla seçilebilir. Veri dosyasına her türlü veri kaydedilebilir, silinebilir veya değişiklik yapılabilir. Program, veri dosyasından seçilen dat uzantılı dosyalar içerisindeki 20 değere kadar tüm değişkenleri ayrı ayrı okuyabilmektedir. Yani bir kalker sahası için istenen tüm değişkenler program tarafından okunabilmektedir. Veri dosyasının kullanımını gösterir program görüntüsü Şekil 7.1 de verilmiştir.



Şekil 7.1 Verilerin seçildiği dosyanın görüntüsü.

Program tarafından yapılan hesaplamalar da bu veri dosyası içerisinde saklanabilmektedir. Veri dosyasından herhangi bir sahaya ait dosya seçildiğinde bu saha ile ilgili yapılacak üretim planlamasıyla ilgili bilgiler programın bu sayfasında verilebilmektedir. Programın “plan ayarları” olarak verilen bu görüntüsü hiçbir değer girilmemiş olarak Şekil 7.2’de verilmiştir.

Plan Ayarları

Veri dosyası

Blok Boyutu

Kuzey - Güney (X): m

Doğu - Batı (Y): m

Düşey (Z): m

Şev Açısı

Yoğunluk

ton / m³

Elipsoid Değerleri

☐ En iyi değerleri otomatik hesapla

Basamak yüksekliği: m

☐ Şu değerleri kullan:

DB Eksen (A): m

KG Eksen (B): m

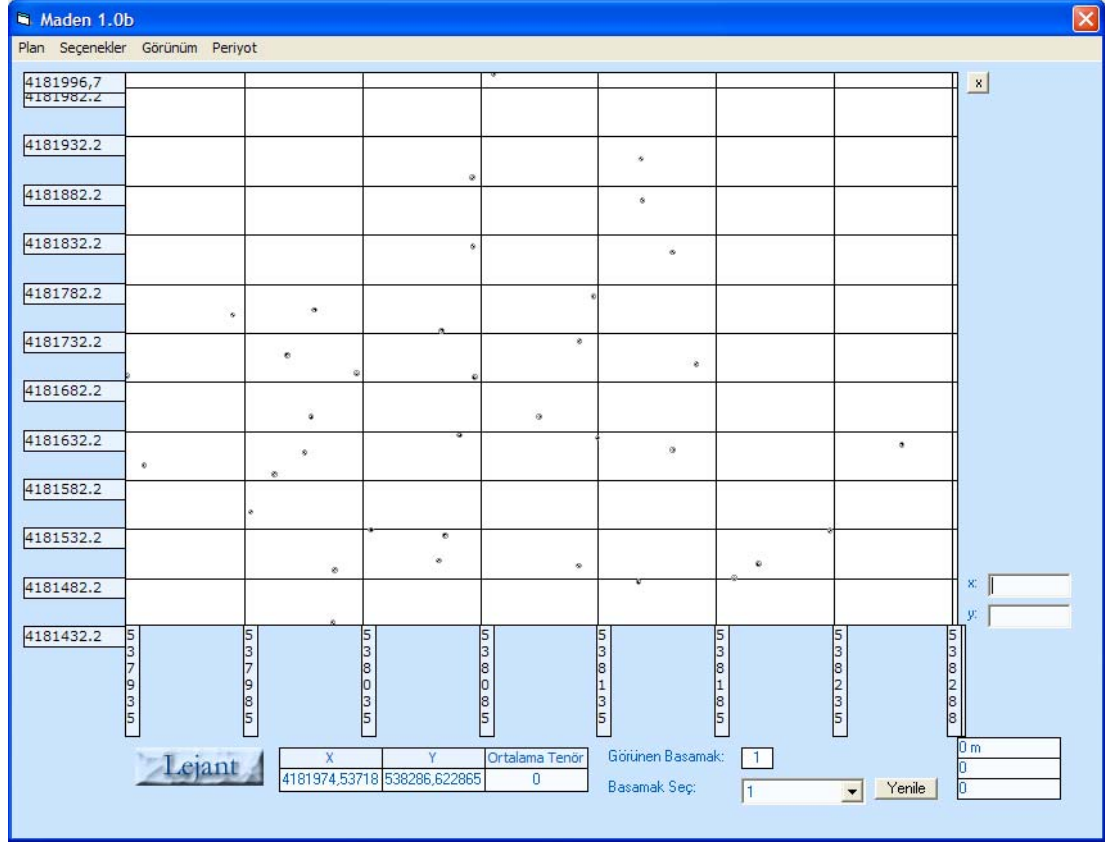
Düşey Eksen (C): m

TAMAM

Şekil 7.2 Plan ayarları ekranının boş olarak görünmesi.

Programın tüm verilerine bu ekrandan girilebilmektedir. Öncelikle arazide istenildiği boyutlarda üç boyutlu bloklar oluşturulabilir. Blok boyutları tanımlanırken X,Y ve Z yönlerinde blok boyutları programa kullanıcı tarafından bu ekrandan verilir. Maden ocağının şev açısı ve malzemenin yoğunluğunda kullanıcı tarafından bu ekrandan belirlenebilir. Bu menüdeki “şu değerleri kullan” penceresi seçildiğinde ve elipsoidin boyutlarını oluşturan A, B, ve C değerleri kullanıcı tarafından girilip tamam tuşu tıklandığında program çalışmakta ve veri dosyasındaki ilk madde tipine göre kalite değerleri belli olan bloklar oluşturulur. Burada program kullanıcıya, sahanın tanımlanması açısından sondaj noktalarının X ve Y koordinatlarının X_{min} , X_{max} , Y_{min} , ve Y_{max} değerlerini belirlediği için hangi boyutlarda bir arazi içerisinde çalışma yapabileceğini göstermektedir. Ayrıca sondaj noktalarının yerleri istenildiğinde X ve Y koordinatlı olarak ekrandan görülebilmektedir. Bu özellik arazi modellerinin doğruluğunun kontrolünde önemli bir parametredir. Sondaj noktalarının

görüldüğü, X ve Y noktalarının koordinatlarının görülebileceği program görüntüsü Şekil 7.3’de verilmiştir.



Şekil 7.3 Sondaj noktalarının ekrandan görünmesi.

Program çalıştırıldıktan sonra kullanıcıya, dosyadaki tüm verilerin değerlendirilebilmesi amacıyla istatistiksel analiz yapabilme imkanı vermektedir. Seçilecek madde tipine göre; o maddenin veri sayısı, ortalama değeri, standart sapma ve varyans gibi istatistiksel verilerde program tarafından hesaplanabilmektedir (Şekil 7.4).

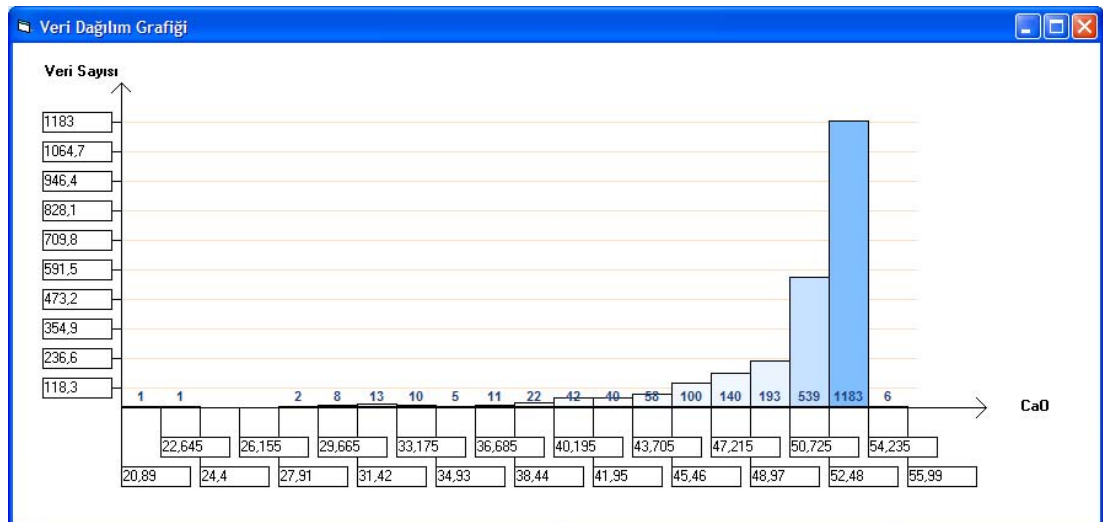
İstatistikler

Madde tipi:	SiO
Veri Sayısı:	2374
Ortalama:	1,5
Standart Sapma:	0,00047
Varyans:	0,022
En küçük X:	4181432,2
En küçük Y:	537935,56
En büyük X:	4181996,7
En büyük Y:	538288,8

Tamam

Şekil 7.4 Sondaj verilerinin istatistik değerlerinin hesaplanması.

Ayrıca veri sayısına ve veri aralığına göre de frekans dağılım grafiği de çizilebilmektedir (Şekil 7.5).



Şekil 7.5 Veri aralıklarının istatistiksel grafiğinin gösterimi.

Bu bilgiler kullanıcıya araziye önceden tanıma olanağı vermektedir. İstatistiksel bilgilerin aynı programla hesaplanabilmesi de programın avantajlarından. Program

çalışırken kullanıcı madde tipini değiştirdiğinde seçilen madde tipi içinde tüm istatistiksel veriler belirlenebilmektedir. Bu durumda programın tekrar çalıştırılmasına gerek yoktur.

Program çalıştırıldıktan sonra gelen ekranda veri dosyasındaki ilk madde tipine göre arazi modellemesi yapılmıştır. Kullanıcı bu durumda program menüsünün “seçenekler” bölümünü tıklayarak buradan dosyadaki diğer madde tiplerini de seçebilir. Ayrıca bu bölümden yine “korelasyon” dosyasını seçerek, o madde tipinin değeri ile tahmin edilen değeri arasındaki korelasyon katsayısını hesaplayabilir. Kullanıcı, bu görüntüdeki “görünüm” bölümünü tıklayarak bu bölüm içerisinde yer alan; sondaj noktaları, renklendirme, istatistiksel analiz ve veri sayısı grafiğini seçerek bu işlemleri programa yaptırtabilir. Kullanıcı yine bu görüntüdeki “periyot” bölümünü seçerek sonraki periyot ve periyot bilgisi işlemlerini seçerek bu işlemleri programa yaptırtabilir. Periyot penceresiyle ilgili bilgiler ileriki bölümde verilecektir.

Programa ait tüm işlemlerin bu pencereden yapılabildiğini önceden belirtilmişti. Burada mouse ile ekran üzerinde dolaşıldığında mouse’un bulunduğu noktanın X ve Y koordinatları ve o bloğa ait ortalama tenör değeri ekrandan aynı anda görülebilmektedir. Ayrıca seçilen basamak seviyesi de ekrandan görülebilmektedir. Ayrıca görünen basamak ve seçilen basamakta aynı ekrandan ayrı ayrı görülebilmektedir. Aynı pencere üzerinde “yenile” bölümü de bulunmaktadır. Bu pencerenin kullanım amacı da; ekran üzerinde görünen basamak ve basamak seç penceresi hangi basamak görülmek istenirse o basamak bu pencereden seçilebilmektedir. Görünen basamak ise, kullanıcı birinci basamak üzerinde bir poligon alanı belirledikten sonra hemen ekran görüntüsü bir alt basamağa geçer, bu da görünen basamak penceresinde bir alt basamağın numarası olan 2 olarak görünür. Bu durumda kullanıcı ikinci basamak seviyesinin kalite dağılım haritasını görebilmektedir. Bu da kullanıcıya planlamayla ilgili ön fikir vermektedir. Sonuç olarak “yenile” penceresine tıklandığında görünen basamak ile seçilen basamak aynı pozisyona getirilmektedir.

Program otomatik olarak çalıştığında ilk olarak dat uzantılı veri dosyasındaki X, Y,Z kotlarından sonra gelen ilk kimyasal bileşen yada dosyadaki ilk veri hangi değerse onu alarak programı başlattığını ve veri seçimi yapıldıktan sonra program menüsünden blok boyutları, şev açısı, malzemenin yoğunluğu ve üç boyutlu olarak modellemede kullanılacak elipsiodin veya kürenin boyutlarının verildiğini daha önce belirtmiştik. Aynı plan ayarları menüsünde program kullanıcıya iki seçenek sunmaktadır. Bunlardan birincisi elipsoidin boyutları olan A,B ve C değerlerinin kullanıcı tarafından verilerek programın çalıştırılmasıdır (Şekil 7.6). A, elipsoidin Doğu-Batı yönündeki uzun ekseninin mesafesini, B, elipsoidin Kuzey-Güney yönündeki kısa ekseninin mesafesini ve C’de üçüncü boyuttaki elipsoidin kalınlık değerini vermektedir. Mesafelerin tersi yöntemindeki elipsoidin oluşturulması ile ilgili detaylı bilgiler projenin bölüm 4.1.2 ve bu bölümünde alt başlıklarında detaylı olarak verilmiştir. Buradaki m terimi mesafelerin tersi yönteminin ağırlık faktörüdür. Mesafelerle ağırlıklandırma yönteminde m’in doğru tespit edilmesi gereklidir. Yine projenin 4.1.2 bölümünde m değeri ile ilgili detaylı bilgiler verilmiştir. Bu durumda kullanıcı ideal olabilecek elipsoidin boyutlarını, sonuçları yorumlayarak kendi karar verebilecektir. Bu değerler kullanıcı tarafından seçildiğinde m değeri program tarafından otomatik olarak 2 alınmaktadır.

Plan Ayarları

Veri dosyası
 c:\Maden\cankt2.dat

Blok Boyutu
 Kuzey - Güney (X): 50 m
 Doğu - Batı (Y): 50 m
 Düşey (Z): 10 m

Şev Açısı
 45

Yoğunluk
 2.5 ton / m³

Elipsoid Değerleri
☐ En iyi değerleri otomatik hesapla
 Basamak yüksekliği: m
☒ Şu değerleri kullan:
 DB Eksen (A): 250 m
 KG Eksen (B): 250 m
 Düşey Eksen (C): 100 m

TAMAM

Şekil 7.6 Elipsoidi oluşturan mesafelerin kullanıcı tarafından girilmesi.

Bu kullanıcı için hem zaman kaybı hem de kullanım zorluğu yaratacağından programda ikinci bir alternatif daha sunulmuştur. Bu da program menüsünde bulunan “en iyi değerleri otomatik olarak hesapla” bölümüdür. Programın bu ekran görüntüsü de Şekil 7.7’de verilmiştir.

Şekil 7.7 Elipsi oluşturan A,B,C ve m değerlerinin otomatik olarak hesaplanması.

Veri dosyasındaki sondaj karotları her bir metre için alındığından analiz sonuçları da birer metrede bir verilmiştir. Madencilikte 1'er metrelik dilimlerin üretilmesi mümkün olmayacağından, kullanıcı tarafından basamak yüksekliği verildiğinde, basamak yüksekliği kaç metre ise o metre içerisinde kalan birer metrelik analizlerin ortalaması alınmaktadır. Çünkü cevher üretimi oluşturulan basamak yüzeyinden gerçekleştirilecektir. Örnek olarak basamak yüksekliği 10 metre seçilirse, bu 10 metrelik dilimin ortalama değeri bilgisayar tarafından otomatik olarak hesaplanmaktadır. Kullanıcı isterse programa bir metrelik sondaj verileri içinde en az mutlak hatayı veren A,B, C ve m değerleri hesaplatılabilir. Fakat bu işlem çok sayıda veri ve fazla sayıda olasılıkla yapıldığı için biraz uzun sürmektedir.

Seçilen basamak yüksekliğine göre menüdeki “en iyi değerleri hesapla” bölümü tıklandığında yeni bir menü olan optimum A,B,C ve m değerlerinin hesaplanacağı menü gelir. Bu menüde kullanıcı A,B,C ve m değerlerinin minimum, maksimum ve

minimum –maksimum arasındaki artım değerlerini verir (Şekil 7.8). Menüdeki “Tamam” tuşuna tıklandığında tüm değerler için otomatik hesaplama yapılmaktadır. Bu yapılan hesaplamada yazılan programın mantığı ise şu şekildedir. Öncelikle yukarıda anlatıldığı gibi basamak yüksekliği 10 metre seçildi ise, program 10 metrelik dilimde kalan birer metrelik sondajların ortalamalarını alarak 10 metrelik basamağa tek bir değer atamaktadır. Program tüm sondaj noktalarındaki veriler için bu hesaplamaları yapmaktadır. Bu işlem yapılırken aynı anda otomatik olarak seçilen A,B,C ve m değerleri her sondaj noktası için bu hesaplamaları yapmaktadır. Hesaplama yöntemi olarak mesafelerin tersi yöntemini kullanmaktadır. Hesaplama yapılan noktanın gerçek değeri bilinerek, bu noktanın değerinin bilinmediğini kabul edilmekte, tüm olasılık değerleri için bu noktanın tahmin değeri hesaplanmaktadır. Program bu işlemi arazideki her nokta için ayrı ayrı yapmaktadır. Yapılan bu tahminler sonucunda tüm noktaların gerçek değeri ile tahmin edilen değeri arasındaki farkın mutlak değerinin toplamının toplam veri sayısına bölünmesi ortalama mutlak hatayı vermektedir. Ortalama mutlak hatanın en küçük olduğu değerde program tarafından belirlenerek kullanıcıya verilmektedir (Şekil 7.9).

Ayrıca A,B,C ve m değerlerinin kullanıcı tarafından girilmesi durumunda veya bu değerlerin otomatik olarak hesaplanması durumunda mutlak hata değeri de ekrana gelmektedir. Bu kullanıcıya yorum yapabilme imkanı vermektedir.

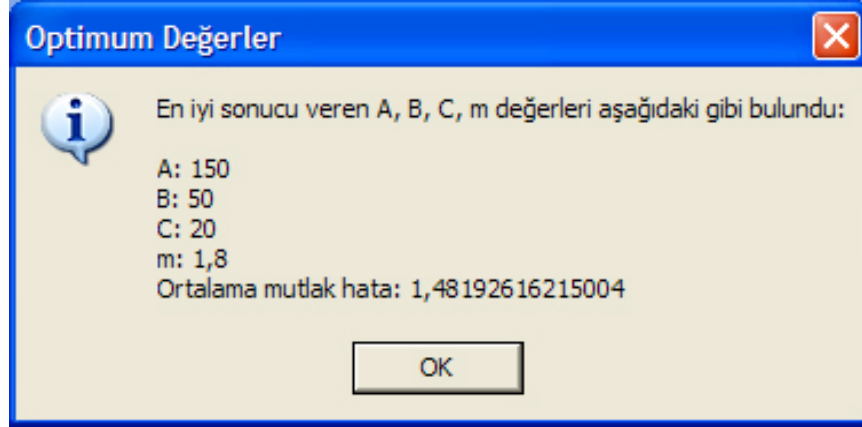
Lütfen en iyi değerlerin hesaplanacağı aralıkları ve madde tipini girin.

Madde tipi:

Değer	En az		En Çok		Artım		Denenen
DB Eksen (A):	<	50	>	<	250	>	250
KG Eksen (B):	<	50	>	<	250	>	250
Düşey Eksen (C):	<	5	>	<	80	>	80
χ^m :	<	1,8	>	<	2,2	>	2,2

TAMAM

Şekil 7.8 Optimum değerlerin hesaplanacağı aralıkları ve bu aralıklar arasındaki artım değerlerini gösterir ekran görüntüsü



Şekil 7.9 En az mutlak hatayı veren A,B,C, m ve mutlak hata değerleri

7.2.3 Bilgisayar Programı ile Poligonların Oluşturulması

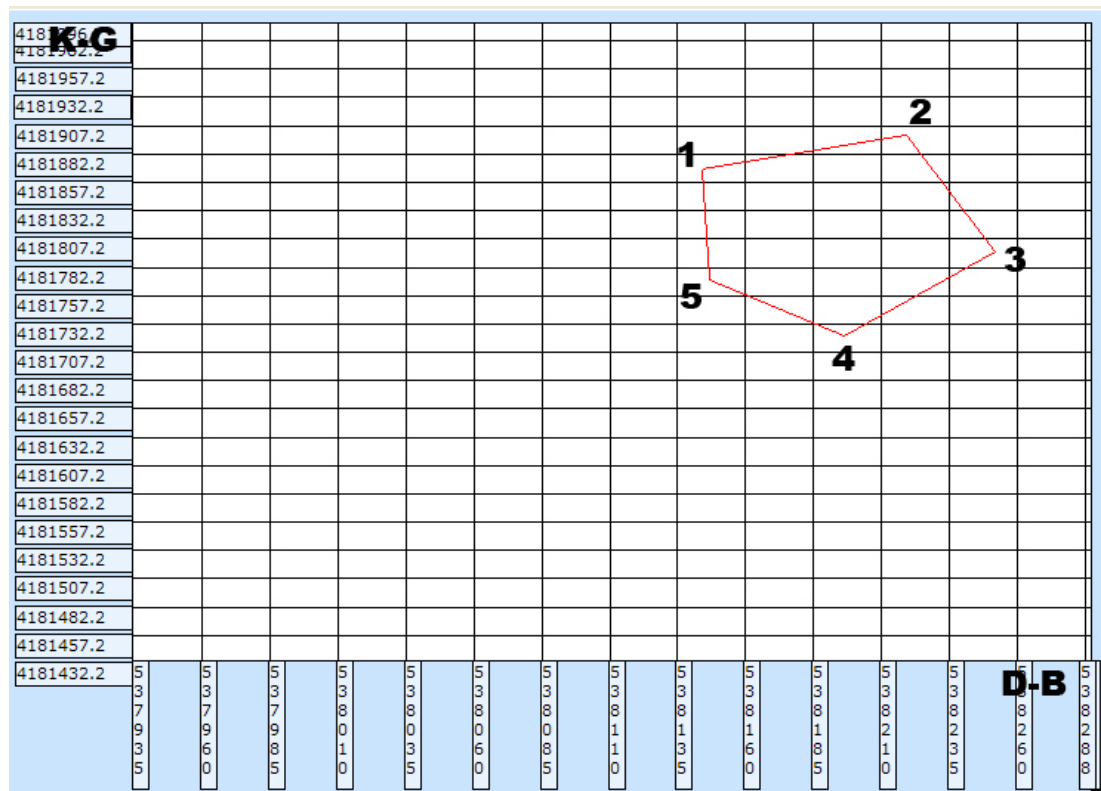
Daha önceden de bahsedildiği gibi program esas olarak arazinin interpolasyon teknikleri yardımı ile elde edilmiş blok yapısını temel alarak çalışır. Her bir blok eldeki mevcut tüm kalite değerlerini içerir. Blokların boyutları sabittir ve bölgeden bölgeye değişmez. İlk seviyeden başlamak üzere ekrana tüm bloklar ve bunların renklere ayrılmış olarak parametre içerikleri gelir. Her bir blok, mevcut parametre sayısı kadar eşit aralığa bölünmüştür ve bu planlamayı yapacak kullanıcıya fikir vermesi bakımından önemlidir.

Blok modelinin ekrana çizdirilebilmesi için bilgisayar ekranı piksel koordinatlarının maden yatağının uzaysal koordinat sistemine dönüştürülmesi gerekir. Bu işlem basit bir dönüşüm formülü ile gerçekleştirilmiştir. Mouse tıklandığında bulunan koordinat poligonun köşe noktası olarak hafızaya alınır. Aynı işlem istenilen sıklıkla devam ettirilerek kapalı bir poligon meydana getirilir (Şekil 7.10). Poligon köşeleri istenildiği kadar seçilebilir. Poligon kapatılacağı zaman mouse'un sağ tuşuna basılır. Daha fazla köşe sayısı ile daha esnek kenarlar oluşturulabilir. Köşe sayısı arttıkça poligon bir çok kenarlıdan çok bir eğri gibi ifade edilebilir. Bu da seçilecek alanın hassasiyetini artırır.

Kullanım kolaylığının sağlanması bakımından poligonu meydana getiren köşeler saat hareketi veya tersi yönde girilebilir. Karışık sıra ile girilen poligon köşe koordinatları hataya neden olacaktır. Poligonlar sırası ile bilgisayar hafızasına

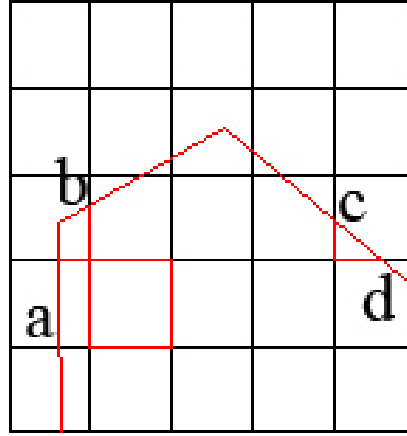
kaydedildikten sonra yapılacak işlem poligonların kestiği veya poligon içerisinde kalan blokların ortaya çıkartılmasıdır. Bu durumu meydana getiren üç ayrı olay söz konusudur. Bunların sırası ile mevcudiyetleri araştırılır ve poligon içerisinde bir parçası kalan blokların yüzdeleri hesaplanır. Yukarıda bahsedilen üç ayrı durum kısaca aşağıdaki gibi özetlenebilir:

a) Poligon köşe noktasının herhangi bir bloğun içerisinde olma durumu (Şekil 7.10).



Şekil 7.10 Poligonun meydana getirilmesi.

Böyle bir durumun meydana geldiği saptanırsa, öncelikle köşenin hangi blok içerisinde kaldığı bulunur. Blokların her birini sınırlayan kenarların koordinatları bilindiği için bu işlem, sadece basit bir karşılaştırma işlemi ile yapılabilir. Daha sonra blok ile poligon kenarlarının kesim noktaları saptanarak basit bir alan hesabı ile poligon içerisinde kalan blok alanı hesaplanabilir (Şekil 7.11).

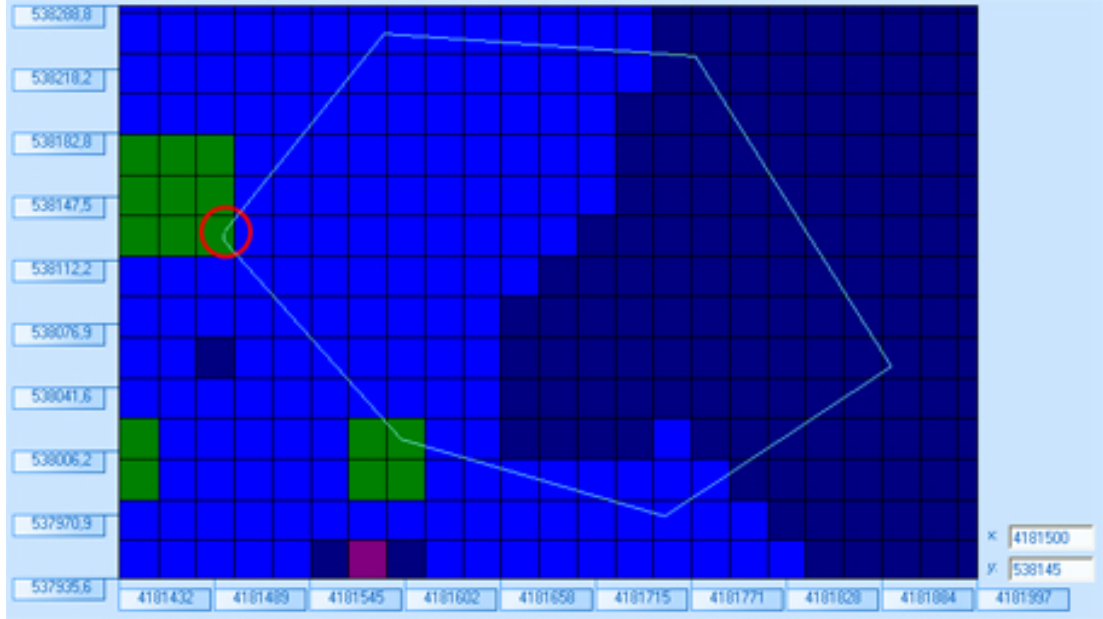


Şekil 7.11 Poligon ile ilgili üç durum.

b) Poligon kenarının bir bloğu kestiği iki noktanın saptanması Şekil 7.11’de c ve d ile gösterilen noktalar, basit doğru denklemlerinin kesişmesi formüllerinden belirlenerek yine poligon içerisinde kalan alan tespit edilir.

c) Şekil 7.11’de taralı olarak gösterilen ve poligonun hiçbir kenarı tarafından kesilmeyen, ancak tamamı poligon içerisinde kalan blok.

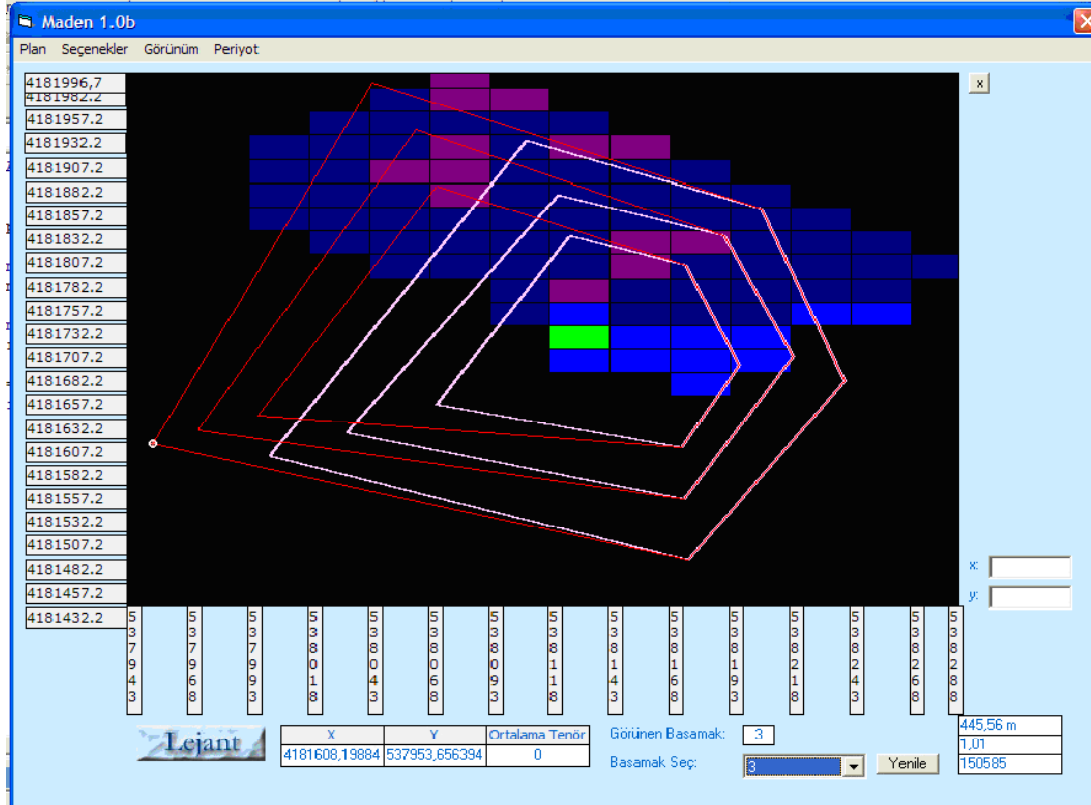
Programın mantığı, incelenecek bölgenin diğer yöntemlerde olduğu gibi, üç boyutlu blok modelinin çıkartılması temeline dayanır. Mevcut sondaj değerlerinden elde edilen tüm parametreler değerlendirilmek üzere bilgisayar ortamına aktarılır ve mesafelerle ağırlıklandırma interpolasyon tekniği kullanılarak üç boyutlu modelleme yapılır. n seviyedeki arazi blok modeli oluşturulması Şekil 7.12’de verilmiştir.



Şekil 7.13 Poligon ve koordinatlarının ekrandan verilmesi

Birinci basamaktaki tüm işlemler bitirildikten sonra aynı seçim ikinci basamak için de yapılır. Bu kez ekrana sadece ikinci basamak gelir. Ancak birinci basamakta üretilen poligon bu aşamada gösterilir. Bunun nedeni, daha önce de belirlenmiş olan şev açısını oluşturabilmek içindir. Eğer ikinci basamakta mouse kullanılarak tıklattılan poligon ile, 1. basamakta oluşturulan poligon kenarları, şev açısını ihlal eden bir değerde ise bu aşamada poligon çizilmez ve yeni şev açısını ihlal etmeyecek bir poligon çizinceye kadar bu uyarı mevcut kalır. Eğer farklı seviyelerde bölge seçimi yapılıyorsa, burada daha önce belirlenmiş olan şev açısının ihlal edilmemesi gereklidir. İki seviyenin yükseklikleri belli olduğu için trigonometrik olarak iki poligonun minimum ne kadar birbirine yaklaşabileceği bellidir. Bu değer altına inildiği zaman program bir uyarı vererek poligonun bu kenarının yeniden oluşturulması için kullanıcıyı uyarır. Program yeni verilerle istenildiği kadar çalıştırılarak her defasında farklı alternatif sonuçlar değerlendirilebilir. Her bir aşamadaki poligon içerisinde kalan cevher rezervi, daha önceden belirlenip bloklara atanmış parametrelerin ortalamalarıdır. Böylece her aşamada bir sonraki basamağın ekrana getirilmesi ile istenilen üretim planı sınırı içerisindeki toplam malzeme tonajı, istenilen parametrelerin ortalaması vb. değerler anında ekrandan öğrenilebilir (Şekil 7.14). Eğer bu değerler kullanıcıyı tatmin etmiyor ise hemen programın başına

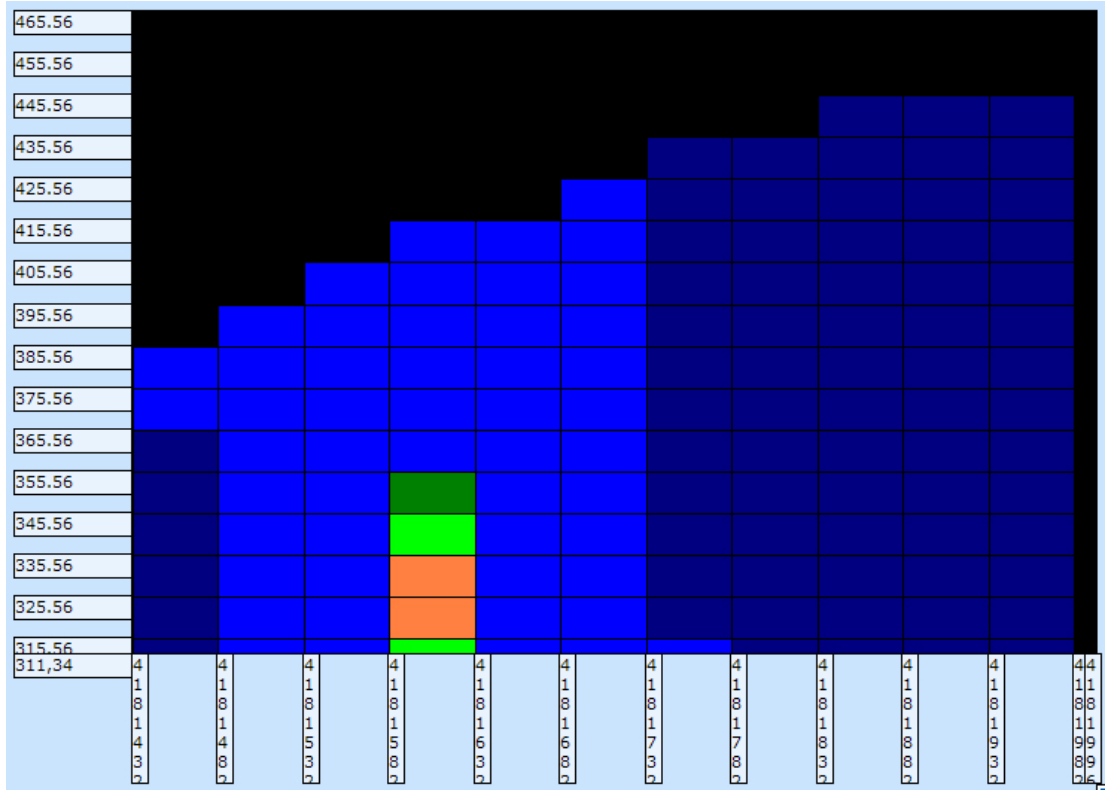
altına alınabilmektedir. Program kullanıcıya ikinci periyot dönemi için ve sonraki dönemler içinde üretim planı yapma imkanını vermektedir. Kullanıcı birinci periyottaki birinci basamakta seçilen poligon alanının tüm köşe noktalarından her yöne doğru poligon alanını büyütme imkanı vermektedir. Her poligonun köşesi istenildiği kadar büyütülebilir. İkinci periyoda geçmek için program mönüsündeki “periyot” penceresi tıklanarak sonraki periyot seçildiğinde tüm basamaktaki poligon alanları koyu, kalın ve kırmızı renkte görünmektedir. Kullanıcı mouse’u poligonun köşe noktası üzerine getirdiğinde köşe noktasında beyaz bir yuvarlak meydana gelir ve bu köşeden mouse’la poligon alanı istenildiği yere doğru büyütülebilir. Köşe noktası üzerinde yuvarlak meydana geldiğinde programın ekran görüntüsü üzerinde hangi basamakta bulunulduğu görülmektedir. Bu büyütme durumunda birinci periyottaki poligon alanları koyu, kalın ve kırmızı renkte, ikinci periyotta büyütülen poligon alanlarının kenarları da ince çizgi ve kırmızı renkte görünür. Program penceresindeki “basamak seç” penceresinden birinci basamak seçildiğinde aynı ekranda basamağın yüksekliği, birinci periyottaki poligon alanı ile, ikinci periyotta büyütülen poligon alanı arasında kalan bölgenin ortalama tenör değeri ve toplam malzeme miktarı ekranda görülebilmektedir. “Basamak seç” penceresinden seçilen her basamak içinde eski poligon alanı ile yeni poligon alanı arasında kalan bölgenin ortalama tenör değeri ve toplam malzeme miktarı görülebilmektedir. Bu da kullanıcıya uzun-kısa veya orta dönem planlama yapma imkanı vermektedir. “Periyot” penceresindeki “periyot bilgisi” seçeneği tıklandığında tüm periyotlardaki poligonlara ait bilgiler bu dosyada saklanabilmekte ve kullanıcı tarafından değerlendirilebilmektedir. Birinci periyot ve sonraki periyottaki üretim planlaması için seçilen poligon alanları Şekil 7.15’de gösterilmiştir.



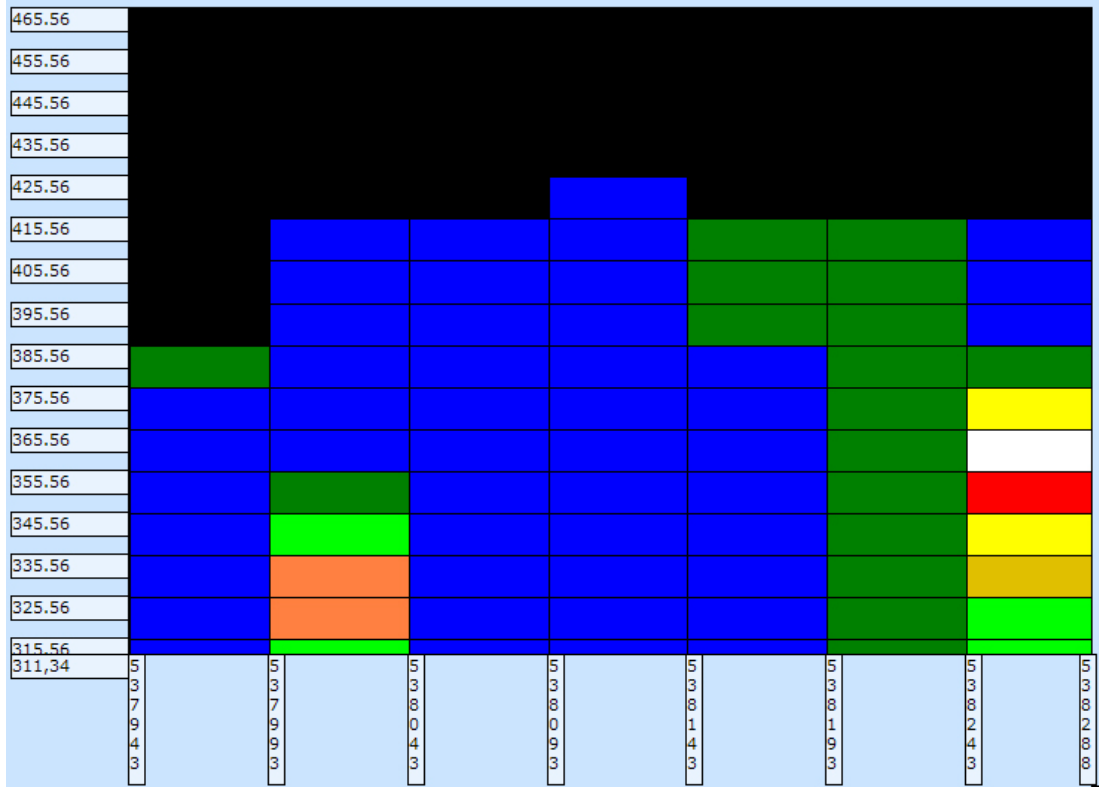
Şekil 7.15 Periyot dönemlerinde seçilen poligonların görüntüsü

Birinci periyot ve sonraki periyot dönemlerindeki bilgilerin saklandığı dosyanın görüntüsü Şekil 7.16’de verilmiştir. Bu bilgi dosyasında seçilen tüm poligonların köşe noktalarının koordinatları, o poligon alanı içerisinde kalan toplam malzeme miktarı ve o malzemenin ortalama tenör değeri bulunmaktadır. Tüm bu işlemler program tarafından yapılmaktadır.

renklendirmesi seçilirse, seçilen bloğun üçüncü boyuttaki kalite dağılımı, ortalama kalite değerleri ve basamak yüksekliği ile birlikte verilmektedir. Bloğun üçüncü boyuttaki kalite dağılımını gösterir program görüntüsü Şekil 7.19’da verilmiştir.



Şekil 7.17 Blok modeli uygulanan arazinin K-G kesiti



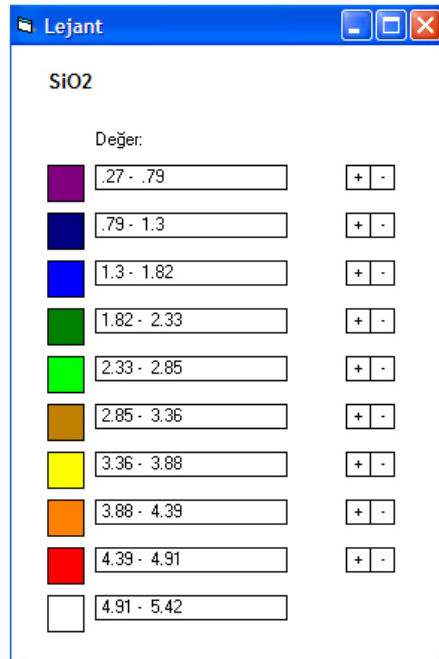
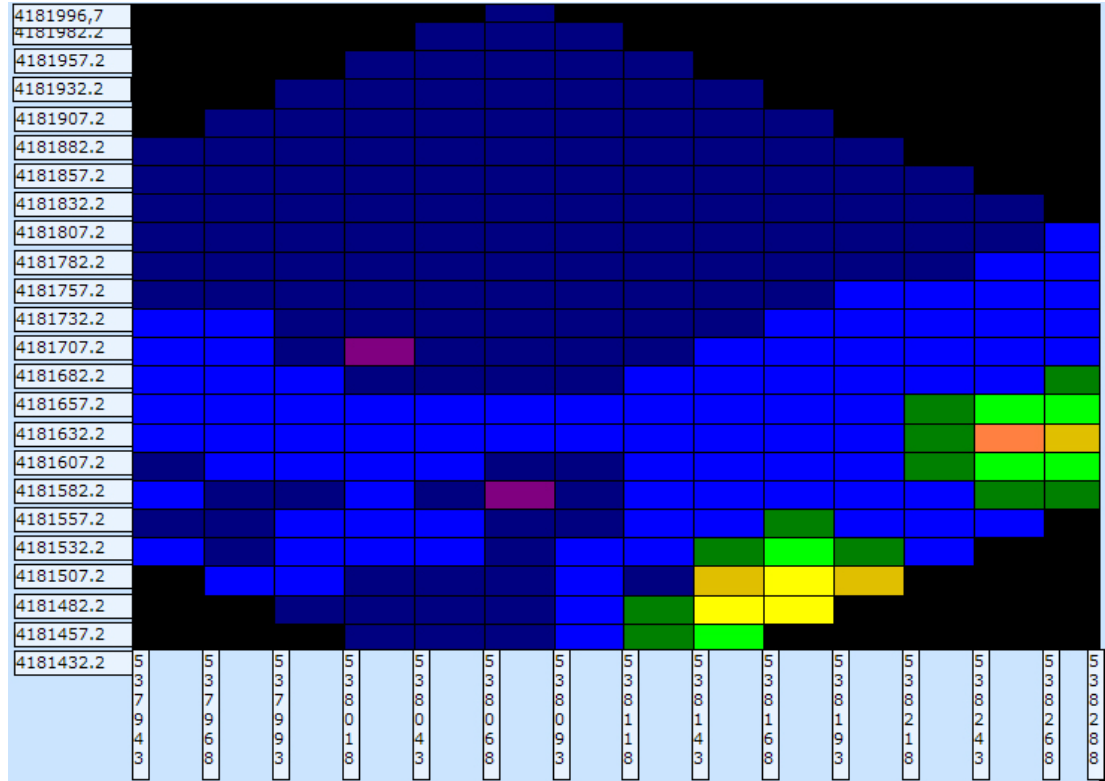
Şekil 7.18 Blok modeli uygulanan arazinin D-B kesiti



Şekil 7.19 Seçilen bir bloğun üçüncü boyuttaki kalite dağılımının gösterilmesi

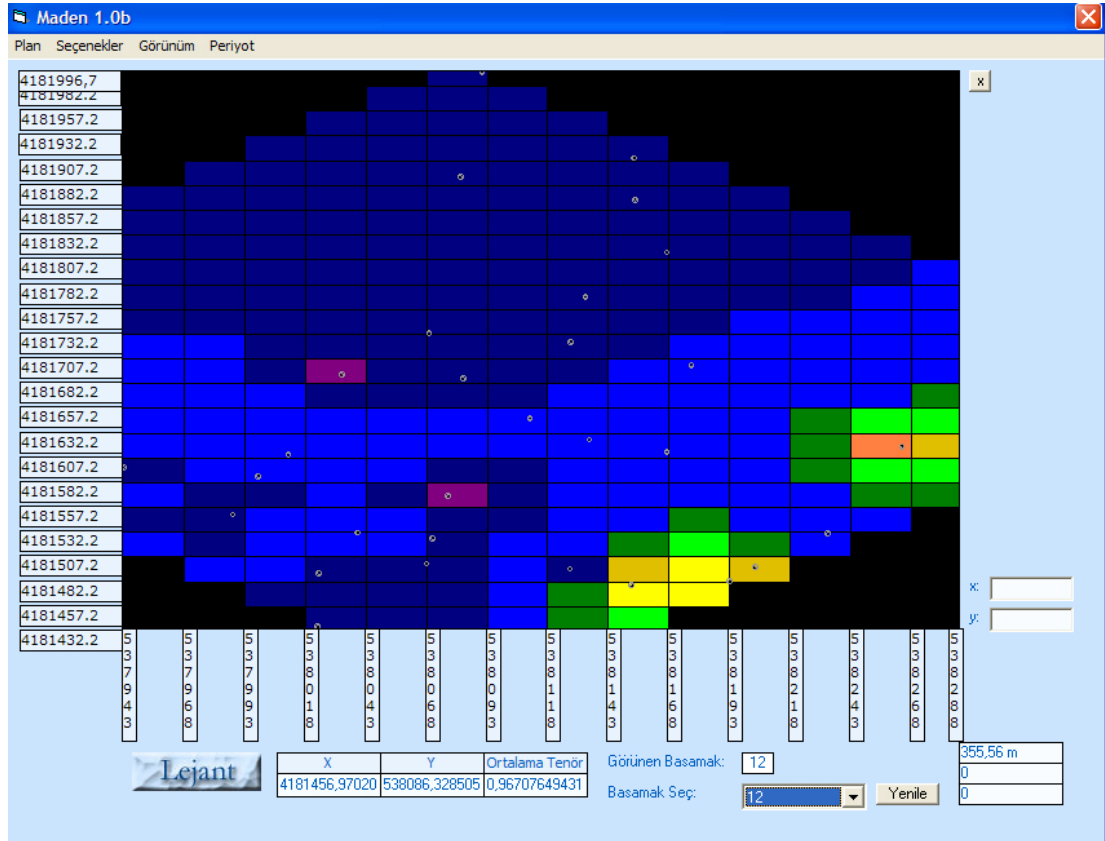
Oluşturulan blokların ortalama tenör değerlerine göre 10 ayrı renk skalasında renk kalite renk dağılım haritası yapılabilme ve renk dağılımları ekrandan istenildiği şekilde ayarlanabilmektedir. Buna ait ekran görüntüsü Şekil 7.20’de verilmiştir. Renk skalasındaki renk dağılımlarının karşısında bulunan (+) ve (-) menülerinden

renk detaylandırması yapılabilir. Buradan renk dağılımları daha az sayıda aralıkla detaylandırılabilir.



Şekil 7.20 Blokların kalite renk dağılım oranlarının gösterilmesi ve renk dağılımının ayarlanması

Ayrıca arazi topoğrafyasından dolayı boşlukta kalan alanlar ve veri alınamayan alanlar program tarafından değerlendirilmeyerek bu boşluklar program tarafından siyah renkli olarak gösterilmektedir. Kullanıcı blok kalite dağılım ekranında siyah renk gördüğünde o alanda hiç bir şey olmadığını tahmin edebileceklerdir. Bu özelliği gösterir ekran görüntüsü Şekil 7.21’de verilmiştir. Ayrıca bu görüntüde sondaj noktalarının yerleri de görülebilmektedir.



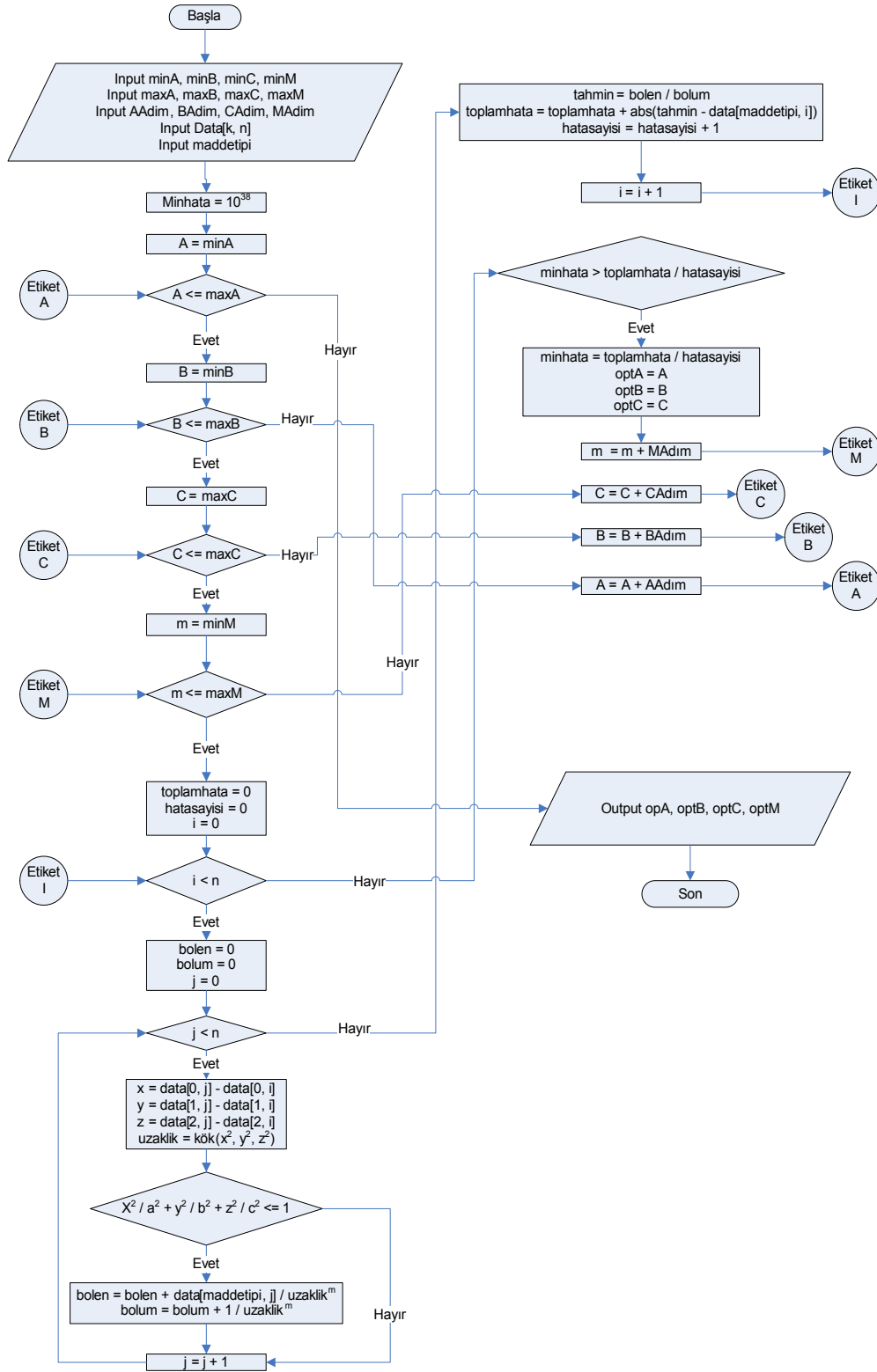
Şekil 7.21 Sondaj noktalarının ekrandan görünmesi

Sahanın blok modellemesi yapılırken mesafelerle ağırlıklandırma yönteminin kullanıldığı daha önce belirtilmiştir. Yazılan program 3 boyutlu olarak modelleme yapılması amacıyla hazırlanmıştır. Sondaj verilerinden cevherin hangi değerine göre arazinin istenilen boyutlarda 3 boyutlu olarak bloklara ayrılması ve A, B, C değerleri ile oluşturulan elipsoidin içerisindeki sondaj verileri kullanılarak mesafelerin tersi yöntemiyle üç boyutlu olarak her bloğun ortalama tenör ve cevher miktarların hesaplanması yapılabilmektedir. Basamak boyutu da istenilen boyutlarda

seçilebilmektedir. Blok model oluştururken mesafelerin tersi yönteminde üs "m" değeri program tarafından otomatik olarak hesaplanabilmektedir.

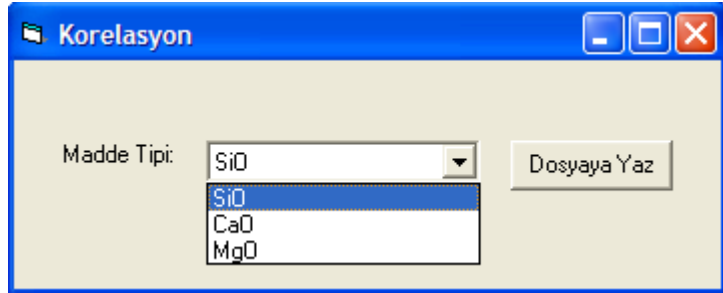
m değerine bağlı olarak da en az hatayı veren elipsoidin A,B ve C değerleri de program tarafından otomatik olarak hesaplandığı belirtilmişti. Mesafelerin tersi yöntemi aynı zamanda cevher yatağı içerisinde mevcut anizotropileri farklı mesafelerle ağırlıklandırmayı da mümkün kıldığından A, B ve C değerlerinden meydana gelen 3 boyutlu bir elips kullanılarak tenör değeri hesaplanmaktadır. Geliştirilen bilgisayar programının akış diyagramı Şekil 7.22'de verilmiştir.

Daha öncede belirtildiği gibi sondaj noktalarının her noktasına karşılık gelen gerçek değerine karşılık program tarafından tahmin edilen değer de hesaplanmakta ve hesaplanan tahmin değerlerde veri dosyasına yazılmaktadır. Program menüsündeki "korelasyon" penceresi seçildiğinde veri dosyasındaki tüm değerler ekrana gelir ve kullanıcı hangi madde tipini seçerse ona göre korelasyon katsayısı tespit edilir. Bu menüden istenilen madde tipi seçilip "dosyaya yaz" penceresi seçilirse o madde tipine ait tüm hesaplamalar yapılarak gerçek değerlere karşılık gelen tahmin değerleri ile grafik çizdirilerek korelasyon katsayısı hesaplanabilmektedir. Buna ait program ekran görüntüsü Şekil 7.23'de verilmiştir. Ayrıca, tahmin edilen en düşük ve en yüksek değerler, korelasyon katsayısı ve ortalama mutlak hatada bu grafik ekranından görülebilmektedir. Korelasyon grafiğini gösteren program ekran görüntüsü Şekil 7.24'de gösterilmiştir.

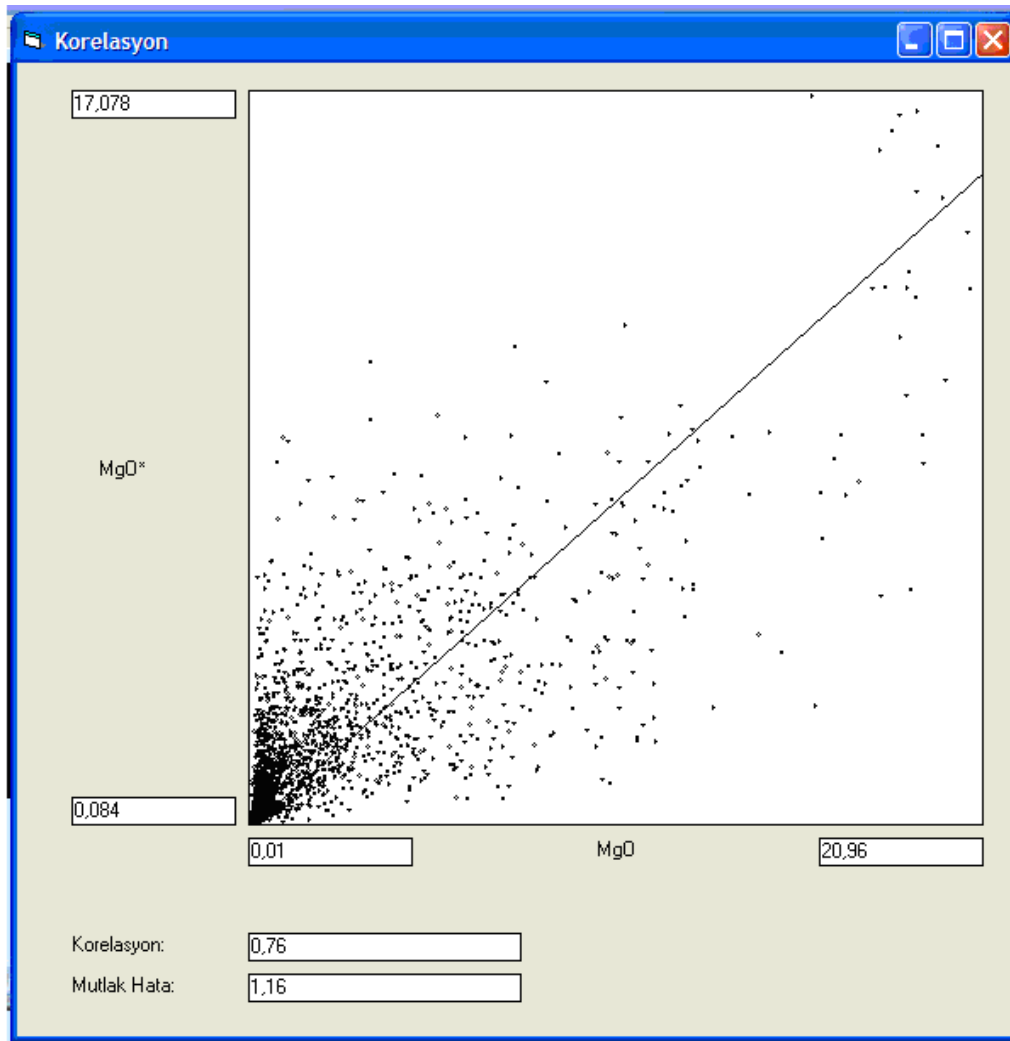


Şekil 7.22 Bilgisayar programı akış diyagramı

Veri[]: dosyadan alınan verilerin tutulduğu veri dizisidir. İlk sütununda X, ikinci sütununda Y, üçüncü sütununda Z koordinatları ve diğer sütunlarında madde verileri saklanır. Örneğin data[0, 50] ellinci verinin X koordinatına karşılık gelirken, data[MaddeTipi, 50] ellinci verinin verilen madde tipi için madde miktarını belirtir.



Şekil 7.23 Korelasyon katsayısının hesaplandığı görüntü



Şekil 7.24 Korelasyonun görüldüğü grafik

Programın diğer bir esnekliği de planlama yapılırken blok boyutlarında değişiklik yapılmak istendiğinde, program durdurulup tekrar baştan çalıştırılmamakta olup, planlama aşamasında “blok boyutu” değiştirilmek istendiğinde menüden blok boyutu seçeneği tıklanarak istenilen yeni üç boyutlu blok boyutları kullanıcı tarafından

değiştirilmekte. Program da aynı kaldığı yerden yeni seçilen blok boyutlarına göre çalışmasını devam ettirmektedir. Blok boyutunun değiştirilebilmesine imkân sağlayan programın bilgisayar görüntüsü Şekil 7.25’te verilmiştir.



Şekil 7.25 Programın çalışması esnasında blok boyutlarının istenilen şekilde değiştirilebilmesi

BÖLÜM SEKİZ

CANKURTARAN KALKER SAHASI ÜRETİM PLANLAMASI

8.1 Cankurtaran Kalker Sahasının CaO, MgO ve SiO₂ Kalite İçeriklerine Göre Modellenmesi

Cankurtaran kalker sahasının MgO, SiO₂ ve CaO içeriklerine göre modellenmesi amacıyla 10'ar metrelik basamak yükseklikleri planlanmıştır. Hazırlanan bilgisayar programı yardımıyla basamak yükseklikleri istenildiği şekilde seçilebilmektedir. Yapılan sondajlardan 1'er m'lik numuneleri alınarak bu numunelerin kimyasal analizleri yapılmış ve sondaj noktalarının X,Y ve Z koordinatları ve her metredeki analiz değerleri “dat” dosyalarında derlenmiştir. Cankurtaran kalker sahasında 1 metre olarak alınan numunelerin analiz sonuçlarına göre sahanın üretim planlaması yapılmıştır.

Yazılan bilgisayar programının amacı, incelenecek olan bir değişkenin mesafelerin tersi yöntemiyle projede anlatılmış olan tüm parametrelerin değişik kombinasyonları kullanılarak en az mutlak hata veren bir model geliştirmektir. Bu model saptandıktan sonra, maden yatağı uygun boyutlarda bloklara bölünerek her bir bloğun orta noktası bilinmeyen bölge olarak tanımlanıp, belirli bir değişken için tüm bloklar tahmin edilir. Ortalama mutlak hata kavramı ve ortalama mutlak hatanın program tarafından nasıl hesaplandığı bölüm 7.2.2'de detaylı olarak anlatılmıştır.

Yazılan program ile Cankurtaran kalker sahasında yapılan sondaj verileri kullanılarak, klinker üretimine sınırlama getiren MgO, SiO₂ ve CaO içeriklerine göre bir modelleme yapılmıştır.

Yazılan bilgisayar programı sonucu elde edilen optimum parametrelerin incelenmesi ile minimum mutlak hatayı veren A, B, C ve m değerinden oluşan parametreler grubu tablo 8.1'de verilmiştir. Burada A, B ve C elipsoidin üç boyutlu olarak boyutları ve m de mesafelerin tersi yöntemindeki ağırlık faktörüdür.

Tablo 8.1 Değişkenlere göre hesaplanan optimum parametreler ve mutlak hatalar

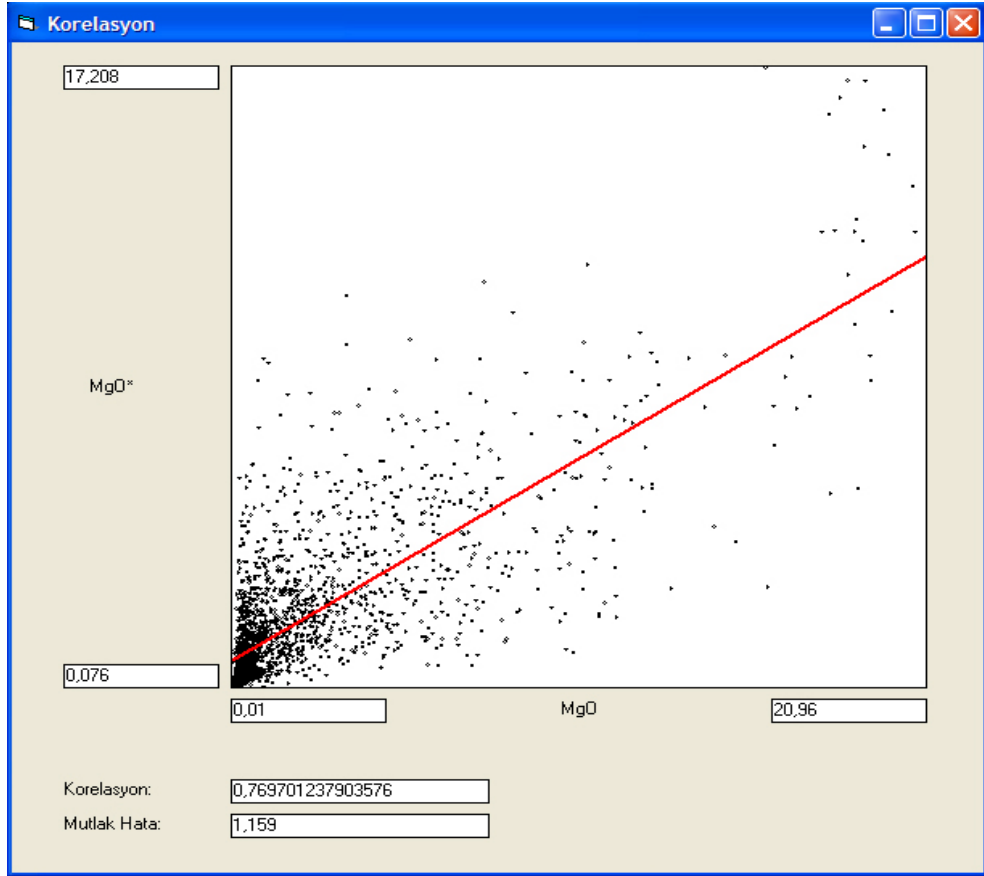
Değişkenler	A(m)	B(m)	C(m)	M	Mutlak Hata
MgO	50	100	40	2	1,11
SiO ₂	250	250	85	1,5	1,31
CaO	50	100	65	2	1,79

Tablo 8.2’de ise her bir değişken için orjinal değerlerin istatistiksel verileri ve tüm değerler için yapılan ve tahmin sonrası değerlerin istatistiksel verileri gösterilmektedir. “*” ile gösterilen değerler, Tablo 8.1’deki parametreler kullanılarak elde edilen tahmin değerlerini, diğerleri ise orjinal sondaj değerlerinden elde edilen parametrelerin bir istatistiksel değerlendirmelerini vermektedir.

Tablo 8.2 Değişkenlerin gerçek ve tahmin değerleri için istatistiksel sonuçlar

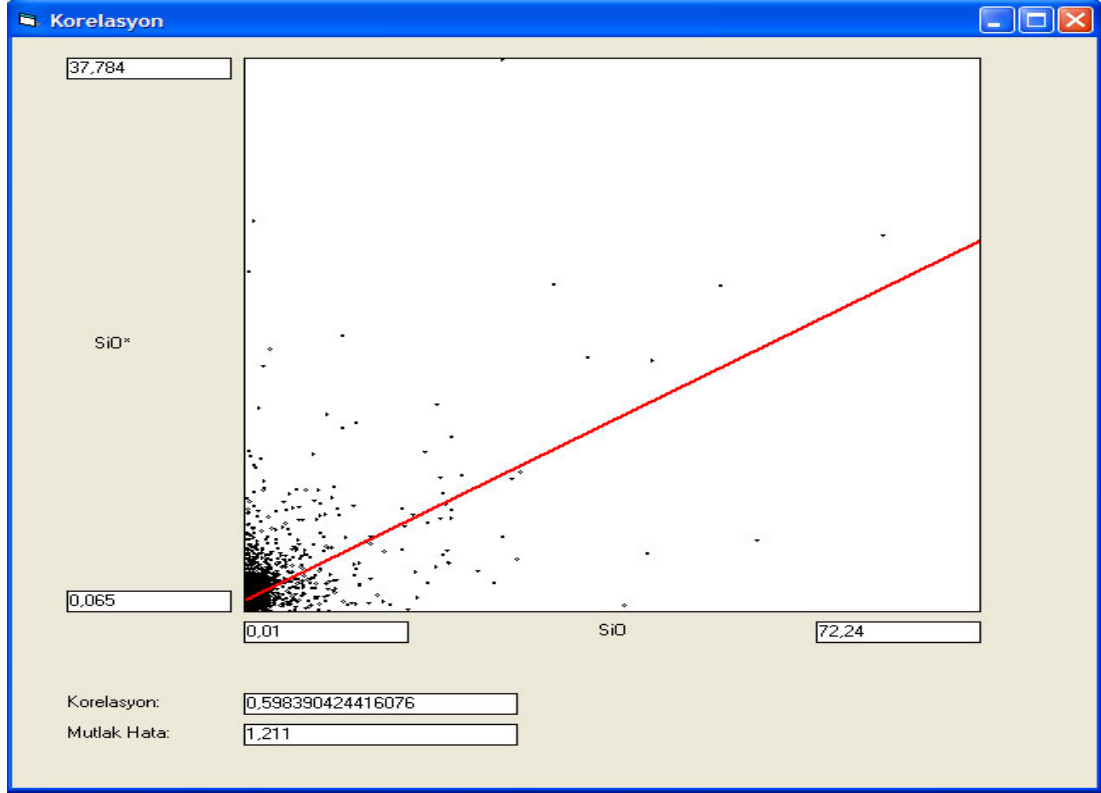
Değişkenler	Aritmetik Ortalama	Standart Sapma	Varyans	Korelasyon Katsayısı
MgO	1,91	3,12	9,76	0,76
MgO*	1,92	2,24	5,03	
SiO ₂	1,50	3,97	15,80	0,57
SiO ₂ *	1,49	1,55	2,40	
CaO	52,49	4,25	18,13	0,73
CaO*	52,51	3,22	10,37	

Tablo 8.1’deki değişkenlere göre tespit edilen korelasyon grafikleri Şekil 8.1, Şekil 8.2 ve Şekil 8.3 de verilmiştir. Şekil 8.1, bilinen MgO verilerinin her değeri için tahmini yapılan MgO* verilerine ait korelasyon grafiğini göstermektedir.



Şekil 8.1 MgO ve MgO^* değişkenlerinin korelasyon grafiği

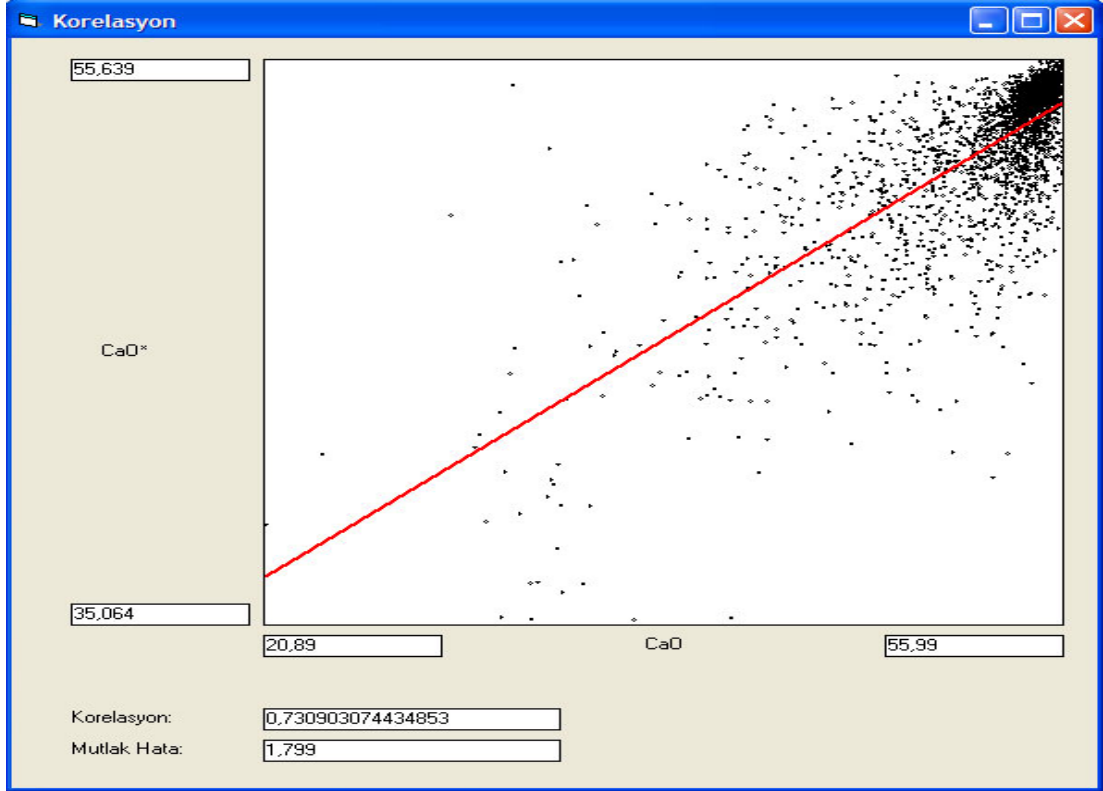
Şekil 8.2, bilinen SiO_2 verilerinin her değeri için tahmini yapılan SiO_2^* verilerine ait korelasyon grafiğini göstermektedir.



Şekil 8.2 SiO₂ ve SiO₂* değişkenlerinin korelasyon grafiği

Şekil 8.3, bilinen CaO verilerinin her değeri için tahmini yapılan CaO* verilerine ait korelasyon grafiğini göstermektedir.

MgO, SiO₂ ve CaO için hesaplanan korelasyon katsayıları 0,76, 0,57 ve 0,73 tür. Burada en düşük korelasyon katsayısı görüleceği üzere SiO₂ içindir. Arazideki verilerde SiO₂ içeriği çok fazla dalgalanma göstermektedir. Aynı sondajda çok düşük SiO₂ değerleri varken çok yüksek SiO₂ değerlerine de rastlanmaktadır. Bu da arazide çok sık silis damarlarının varlığını göstermektedir. MgO ve CaO değerleri içinde korelasyon katsayısı çok yüksek olmamasına rağmen yine de kullanılan interpolasyon tekniğinin doğruluğu ve güvenilirliğini tariflemektedir. MgO ve CaO sondaj verilerinde de çok kısa mesafede ani değişiklikler görülmektedir. Bu da bölgenin modelleme açısından zor tanımlanabileceğini göstermektedir. Örneğin sondaj verilerinde bir derinlikte SiO₂ değeri %2, CaO değeri %50 civarında iken 1 m sonraki SiO₂ içeriği %50'ye çıkmakta ve CaO değeri de %29'a düşmektedir. Bu da oransal olarak SiO₂ için değerler arasında 25 katlık bir fark yaratmakta ve CaO için sadece %50'lik fark yaratmaktadır. Bundan dolayı SiO₂ değeri için korelasyon katsayısı



Şekil 8.3 CaO ve CaO* değişkenlerinin korelasyon grafiği

düşüktür. En iyi değerleri hesaplamada SiO₂ için elipsoidin A değeri 250 m, B değeri 250 m, C değeri de 85 m ve m değeri de 1,5 olmuştur. MgO ve CaO içinde bu değerler kullanılarak sahanın modellenmesi yapılmış olup, bu veriler için en iyi değerlerin sonuçlarına yakın sonuçlar elde edildiği için, arazinin üretim planlaması yapılırken elipsoidin, A değeri 250 m, B değeri 250 m, C değeri 85 m ve m değeri de 1,5 olarak alınmıştır.

8.2 Cankurtaran Kalker Sahası Üretim Planlaması

Cankurtaran kalker sahası üretim planlaması kısa vadeli olarak tek periyotta hazırlanmıştır. Kısa dönem üretim planlaması, ilk beş yılın (2006-2011) üretimi göz önüne alınarak yıllık bazda ayrıntılı olarak hazırlanmıştır. İlk beş yıldan sonrası, orta vadeli üretim planları beşer yıllık dilimler halinde 25 yıllık (2031 yılına kadar) olacak şekilde de hazırlanabilir. Üretim planlaması 465 m ile 405 m kotları arası için yapılmıştır.

2006 yılından başlamak üzere 2011 yılına kadar birinci beş yıllık süreyi kapsayan periyot kısa dönem olarak belirlenmiştir. Kısa dönem projeler, yıllık bazda üretim ve dekapajın hangi basamaklardan ve ne miktar yapılacağı, üretilecek malzemenin kalite dağılımları ile birlikte hazırlanmıştır. Her yıl için kazı yapılacak bölgelerin sınırları nokta koordinatları ile birlikte verilmektedir. Projede sadece kısa dönem üretim planlaması verilmiştir. Orta ve uzun vadeli üretim planlaması bu proje kapsamında yapılmamıştır. Kısa dönem üretim planlamasındaki amaç, yazılan bilgisayar programının gerçek verileri belirli olan bir maden sahasında uygulanarak kullanılabilirliğini göstermektir.

Üretim planları Batisöke Çimento Fabrikası'nın 1.000.000 ton/yıl ve hazır beton tesisinin ise 250.000 ton/yıl olan kalker ihtiyaçlarının karşılayacak şekilde yıllık toplam 1.250.000 ton üzerinden planlanmıştır. Kısa dönem üretim planlaması beş yılda yapılacak toplam 6.250.000 ton kalker üretimi göz önüne alınarak yapılmıştır. Üretim planlaması, kalker içeriğinde önemli olan parametrelerden MgO, SiO₂ ve CaO içeriklerine göre yapılmıştır. Öncelikle kalkerde bu bileşenlerin hangi yüzdelere kadar kullanılabileceği belirlenmiştir. Çimento sektöründe genellikle MgO miktarı %3'ün altında, SiO₂ miktarı da %3'ün altında ve CaO miktarında % 52'nin üzerinde olması istenir. Bu değerleri kullanarak yazılan bilgisayar programı ile yukarıda istenilen değerlere göre 5 yıllık kısa dönem üretim planlaması yapılmıştır. Ocaktaki şev açısının 60 derece ve kalkerin yoğunluğu da 2,65 ton/m³ olarak alınmıştır.

Arazide yapılan sondajlar +465 kotundan başlayıp + 310 kotuna kadar devam etmektedir. Fakat her sondaj aynı derinlikte değildir. Sondaj boyları 35 m ile 100 m arasında değişmektedir. Toplam sondaj uzunluğu 2350 m olup, ortalama sondaj derinliği de 60 m'dir. Toplam sondaj sayısı da 39 dur. Bazı sondaj boyları kısa kesildiği için belli bölgeler için tanımlama oldukça zor olmaktadır. Program tarafından arazide sondaj bulunmayan alanlar modellemeye dahil edilmemekte ve bu alanlar oluşturulan blok modelinde hava boşluğu olduğu için siyah olarak gösterilmektedir. Program bu tespiti, tüm sondaj noktalarını tek tek alarak her sondajın bulunduğu blok etrafında 3x3 boyutunda blok oluşturmakta, bu bloklar

içerisinde sondaj noktaları var ise ve bu sondaj noktaları da bir üçgen oluşturuyorsa sondaj noktası da oluşturulan üçgen içerisinde kalıyorsa o sondajların en üst kot değerleri alınarak mesafelerin tersi yöntemi uygulanmakta ve o bloğa yükseklik değeri atanarak o blok modellemeye dahil edilmektedir. 3x3 boyutunda oluşturulan bloklar içerisinde üçgen oluşturulacak sondaj noktaları yok ise program, 5x5 boyutunda yeni blok oluşturmakta ve bu bloklar üzerinde aynı işlemi tekrarlamaktadır. Blok boyutları program tarafından elli kez artırılmaktadır. Yükseklik değeri atanmayan bloklar değerlendirmeye alınmayıp siyah olarak görülmektedir.

Cankurtaran kalker sahası yüksek bir topoğrafyadan alçalan bir topoğrafyaya doğru devam ettiği için ve sondajlarda en üst kotlardan alt kotlara devam ettiği için, topoğrafyanın en üstünde üretim yapılacak bloklar çok az olmaktadır. Alt kotlara inildikçe topoğrafya genişlediğinden bloklarda artmaktadır. En üst sondajın başlangıç, noktası ile en alt sondajın başlangıç noktası arasında yukarıda belirtilen işlem yapılmaktadır. En alt sondajın bulunduğu kademededen itibaren de topoğrafya alanı bir bütün olarak tanımlanmakta ve arazide boş topoğrafya bulunmadığı kabul edilmektedir.

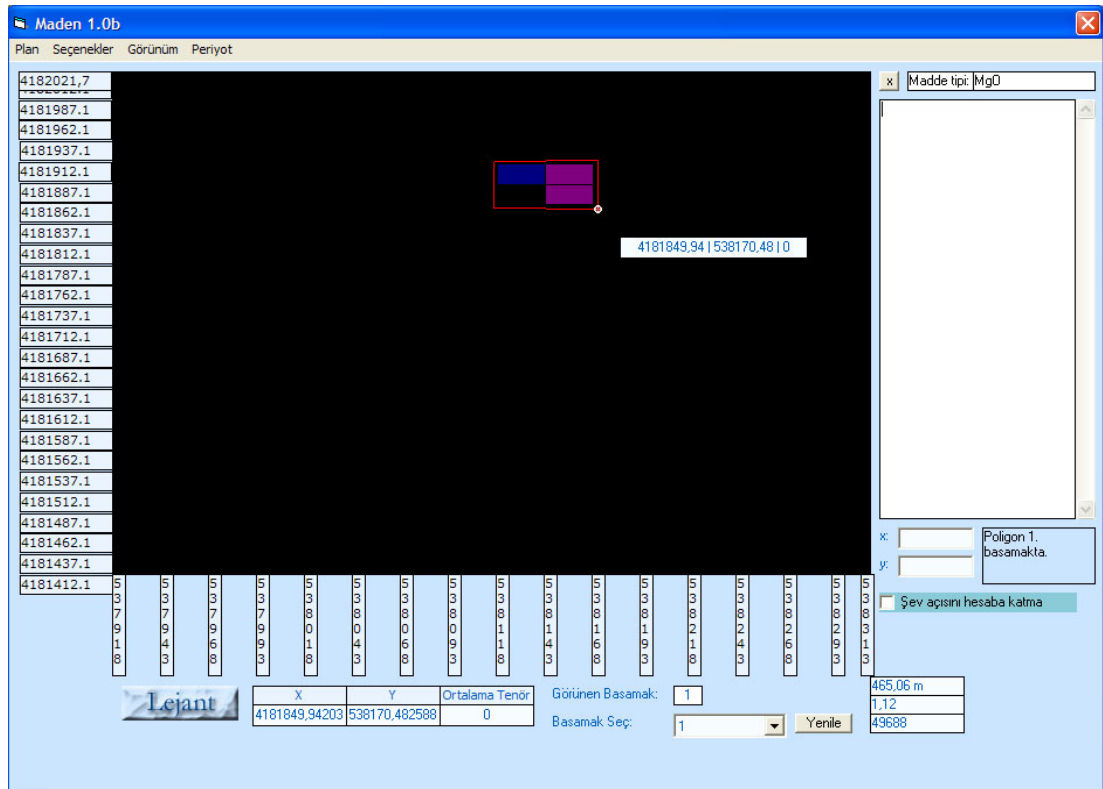
Yukarıda belirtilen tüm hususlar göz önünde bulundurularak Cankurtaran kalker sahasının 2006-2011 yıllarına ait kısa dönem üretim planlaması yapılmıştır. 2006 yılından 2011 yılı sonuna kadar birinci beş yıllık süreyi kapsayan periyot, kısa dönem olarak belirlenmiştir. Projede her yıl için kazı yapılacak alanların sınırları bilgisayar programı ile görüntülü olarak verilmiştir. Korelasyon katsayılarına bağlı olarak yeterli bir güven ile 25x25x10 m’lik blokların tahmin edilmesinde mesafelerin tersi yönteminin kullanılabileceğini göstermektedir.

8.2.1 Cankurtaran Kalker Sahası 2006 – 2007 Dönemi (Birinci Yıl) Üretim Planı

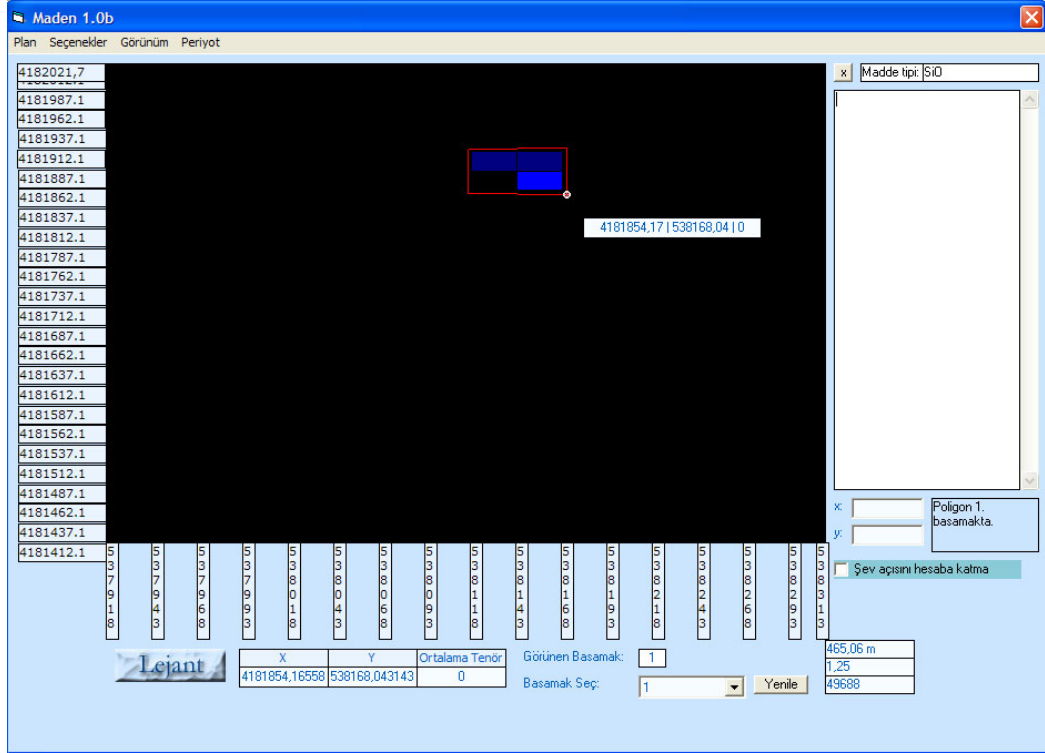
Yapılan kalite değerlendirmesine göre üretim yapılacak şekilde bir planlama yapılmıştır. İdeal ocak işletme koşullarının oluşturulabilmesi için en üst kottan başlayarak alt kotlara doğru basamaklar şeklinde kazı faaliyetlerinin yürütülmesi

öngörülmüştür. Bu şekilde, ocakta sürekli geniş alanlarda çalışma imkanı sağlanmış olacaktır. Bu amaçla ocağın en üst sınırı seviyesinde 465 basamağı oluşturularak üretim çalışmaları başlayacaktır. 2006 yılında 465 ve 435 basamaklarından 1.250.000 ton kalker üretimi gerçekleştirilecektir. Bu dönem içerisinde dekapaj yoktur. Çünkü poligon alanları içerisindeki tüm malzemelerin kalite içerikleri istenilen özelliklerdedir.

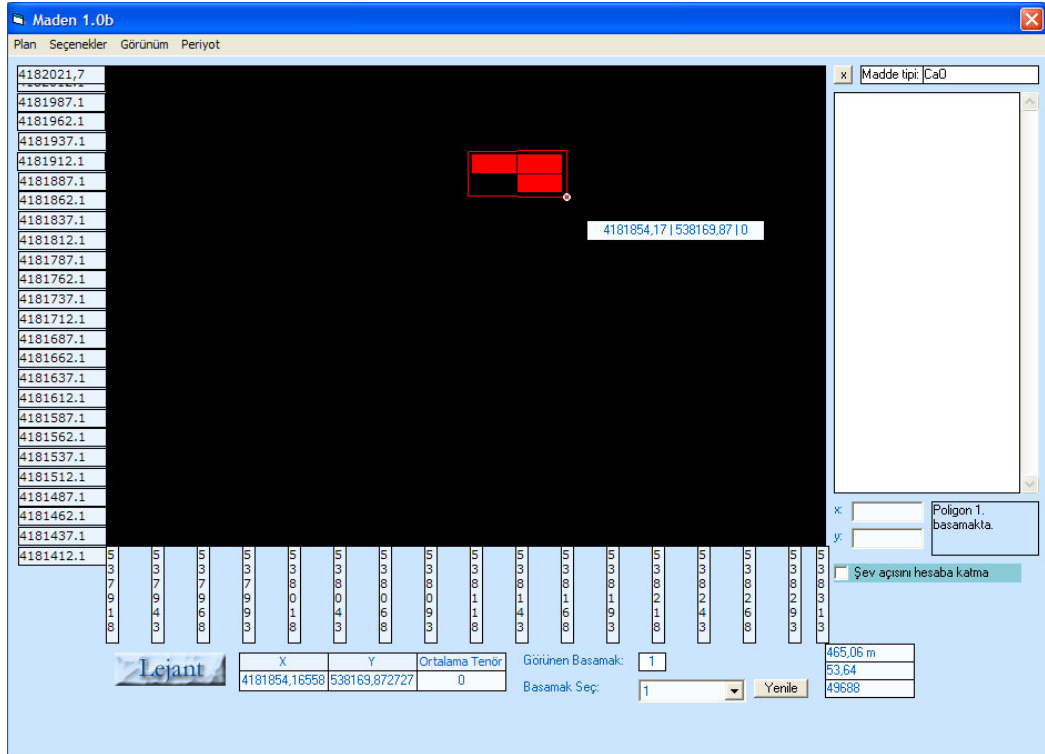
Birinci yılda birinci poligonda üretim yapılacak 465 basamağındaki malzeme miktarı 49.688 tondur. Birinci poligonun birinci basamağı (465 basamağı) % MgO değeri ortalama 1,12, % SiO₂ değeri 1,25 ve % CaO değeri 53,64 tür. Birinci yılda birinci poligondan üretilecek malzeme miktarı ve MgO içeriğine bağlı kalite dağılım blok model program görüntüsü Şekil 8.4’de SiO₂ içeriğine bağlı kalite dağılım blok model görüntüsü Şekil 8.5’de ve CaO içeriğine bağlı kalite dağılım blok model görüntüsü de Şekil 8.6’da verilmiştir.



Şekil 8.4 Birinci yılda birinci poligondan üretilecek malzeme miktarını ve MgO kalite dağılımını gösterir program görüntüsü

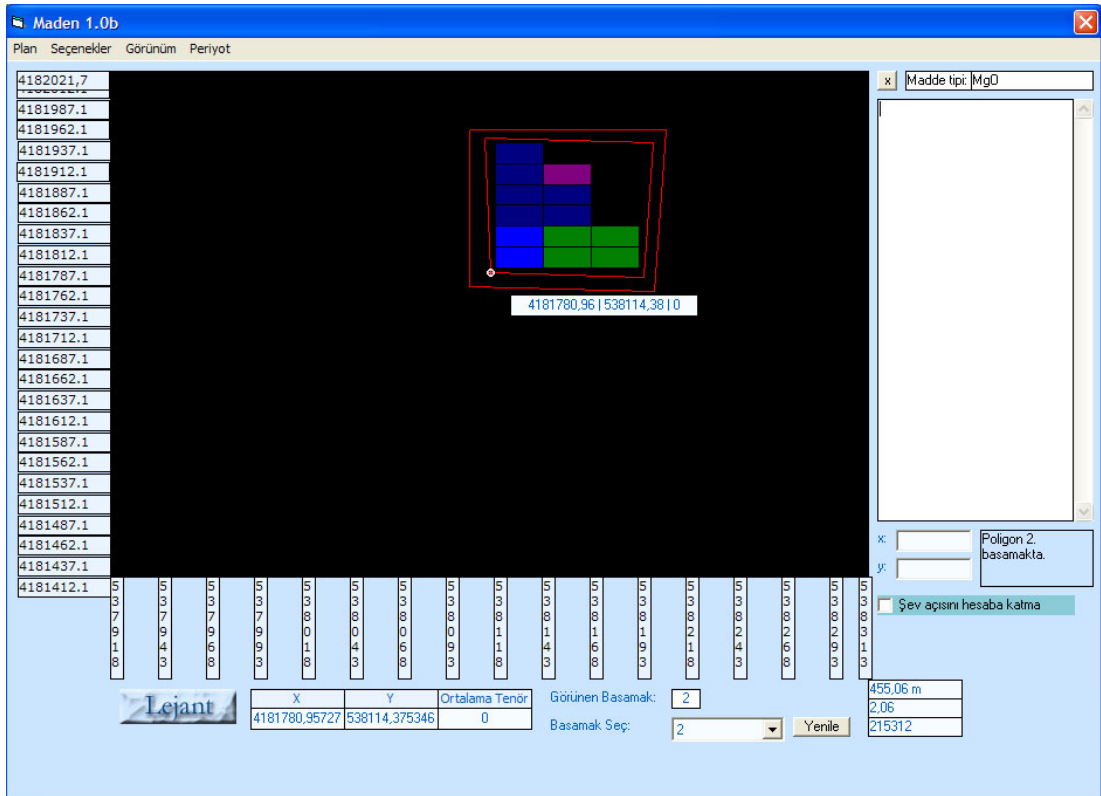


Şekil 8.5 Birinci yılda birinci poligondan üretilecek malzeme miktarını ve SiO₂ kalite dağılımını gösterir program görüntüsü

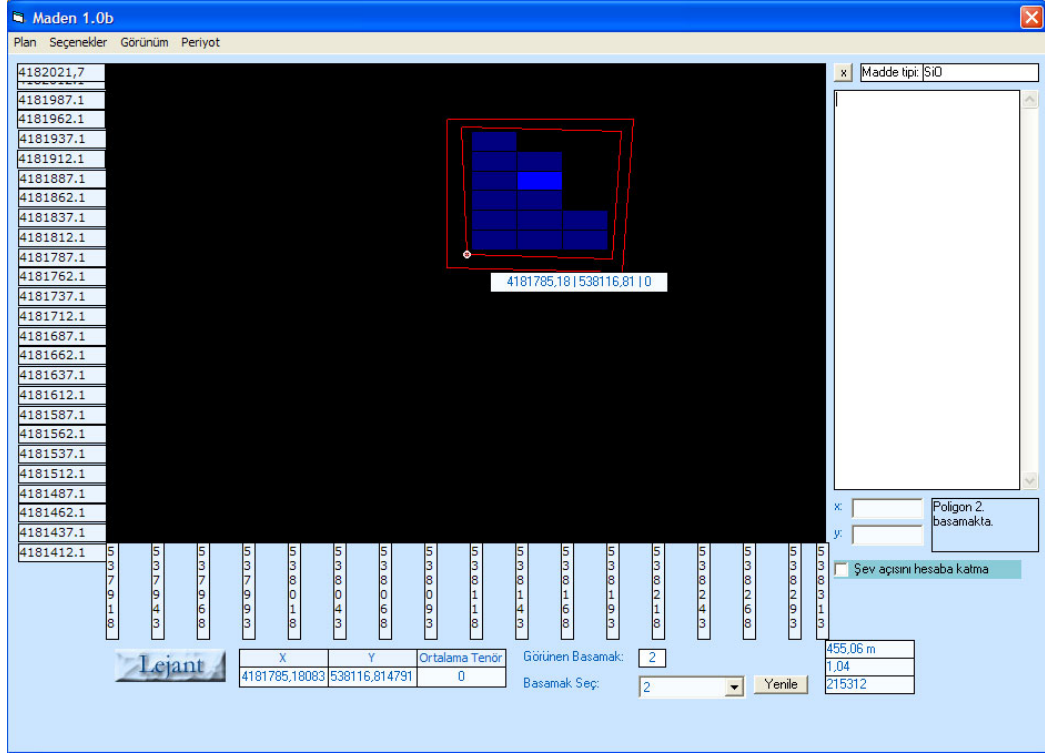


Şekil 8.6 Birinci yılda birinci poligondan üretilecek malzeme miktarını ve CaO kalite dağılımını gösterir program görüntüsü

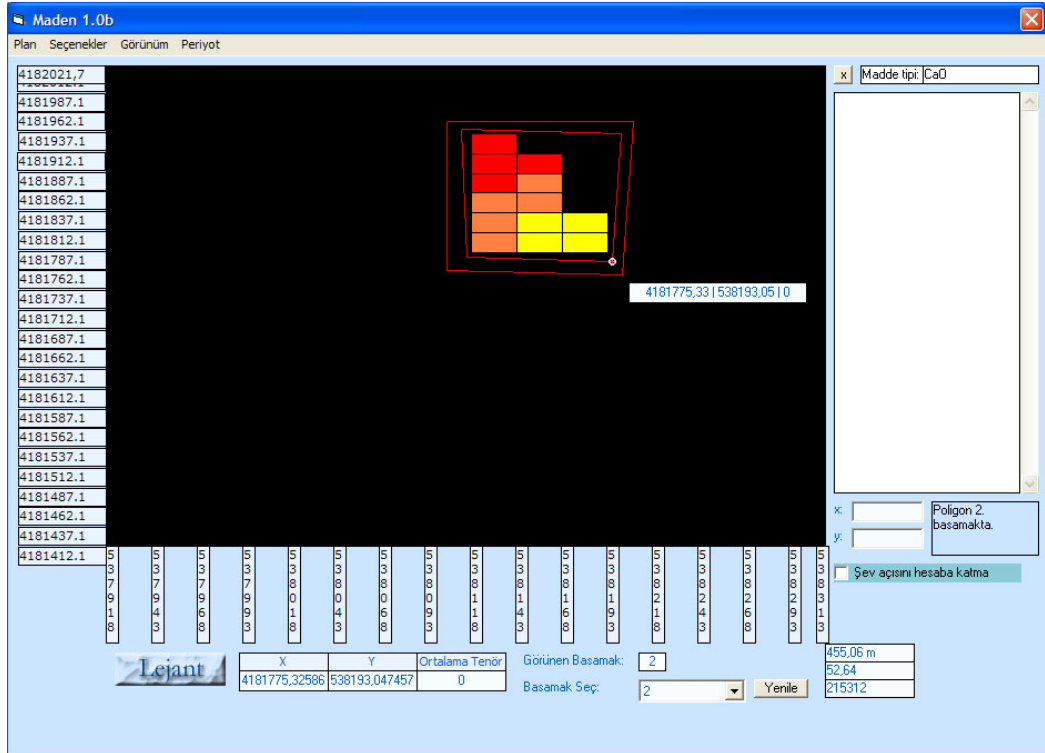
Birinci poligonda birinci basamaktan üretilecek malzeme miktarı birinci yıl için üretilecek toplam malzeme miktarını karşılamadığı için bir alt basamak olan 455 kotuna inilerek ikinci poligon çizilmiştir. İkinci poligondaki malzeme miktarı 215.312 tondur. Yani 2006 yılında 455 basamağından 215.312 ton malzeme üretilecektir. Bu ikinci poligon ikinci basamaktaki % MgO değeri 2,06, %SiO₂ değeri 1,04 ve % CaO değeri de 52,64 tür. Birinci yılda ikinci poligondan üretilecek malzeme miktarı, MgO, SiO₂ ve CaO içeriklerine bağlı kalite dağılım blok model program görüntüleri sırasıyla Şekil 8.7, Şekil 8.8 ve Şekil 8.9’da verilmiştir.



Şekil 8.7 Birinci yılda ikinci poligondan üretilecek malzeme miktarını ve MgO kalite dağılımını gösterir program görüntüsü

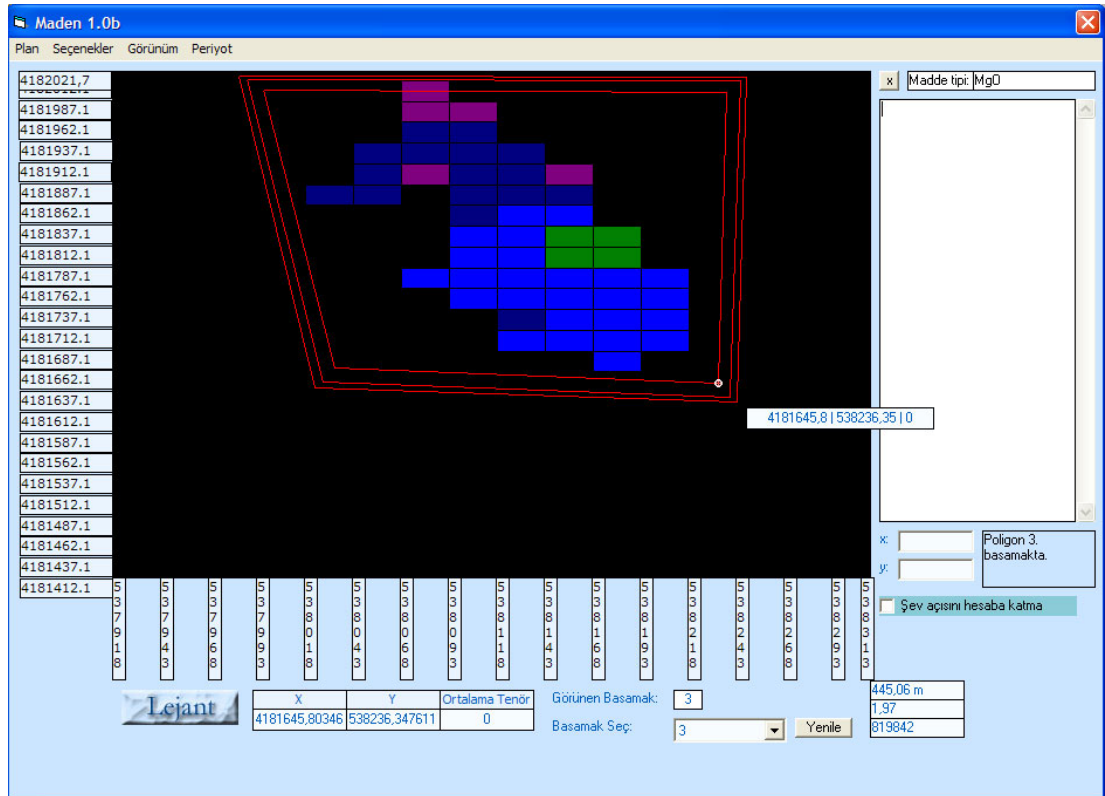


Şekil 8.8 Birinci yılda ikinci poligondan üretilecek malzeme miktarını ve SiO₂ kalite dağılımını gösterir program görüntüsü

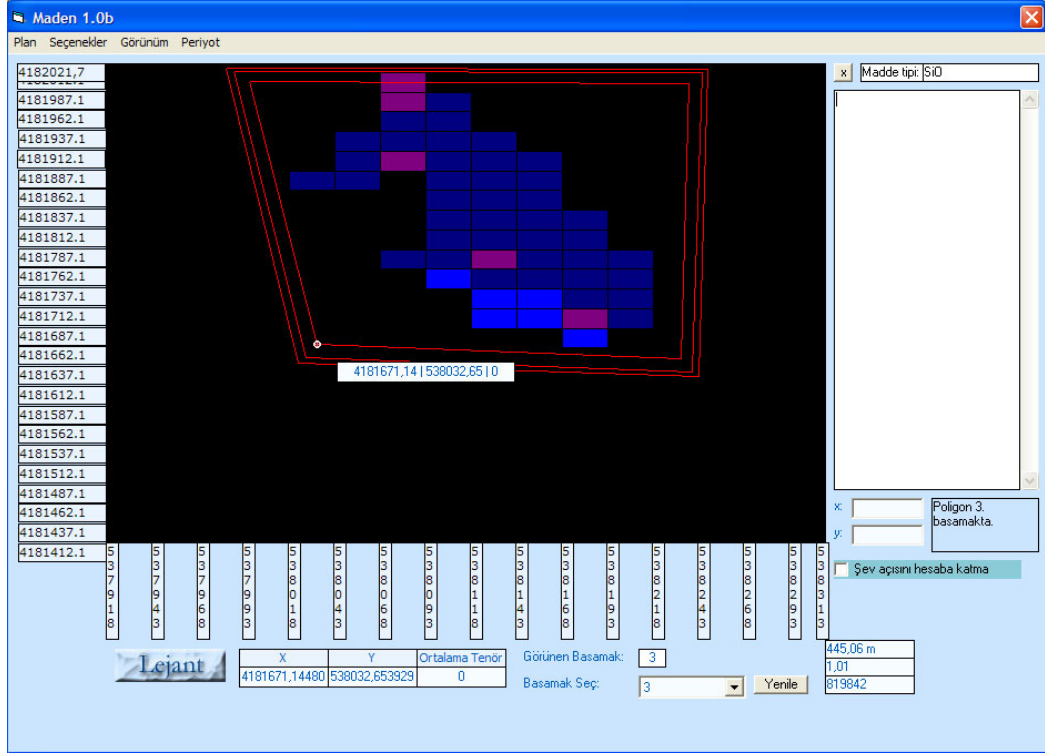


Şekil 8.9 Birinci yılda ikinci poligondan üretilecek malzeme miktarını ve CaO kalite dağılımını gösterir program görüntüsü

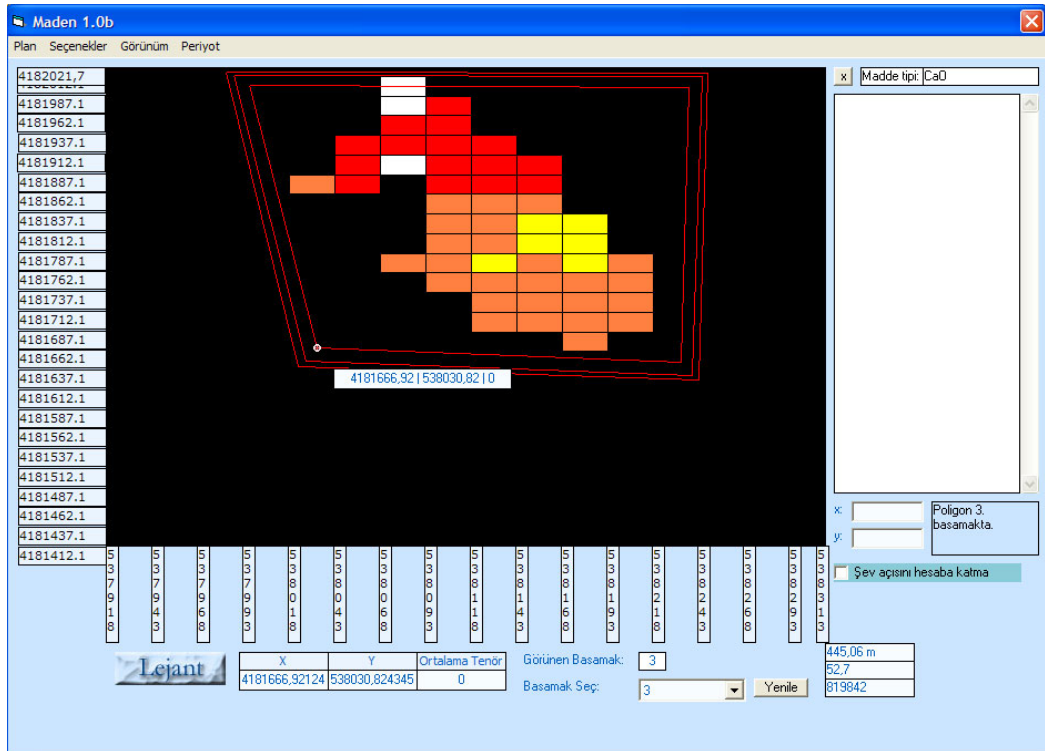
Cankurtaran kalker sahasından birinci yılda birinci ve ikinci poligondan üretilecek malzeme miktarları toplamı 265.000 ton dur. Yıllık üretim miktarı karşılanmadığı için 445 basamak kotunda üçüncü poligon alanı oluşturulmuştur. Bu alandan üretilecek malzeme miktarı 819.842 tondur. MgO, SiO₂ ve CaO değerleri de istenilen değerlerde olduğu için 445 basamağındaki malzemenin de tamamı birinci yılda üretilecektir. Bu basamaktaki % MgO içeriği 1,97, %SiO₂ içeriği 1,01 ve % CaO içeriği de 52,47 dir. Birinci yılda üçüncü poligondaki üretilecek malzeme miktarını, MgO, SiO₂ ve CaO içeriklerine bağlı kalite dağılım blok model program görüntüleri sırasıyla Şekil 8.10, Şekil 8.11 ve Şekil 8.12’da verilmiştir.



Şekil 8.10 Birinci yılda üçüncü poligondan üretilecek malzeme miktarını ve MgO kalite dağılımını gösterir program görüntüsü



Şekil 8.11 Birinci yılda üçüncü poligondan üretilecek malzeme miktarını ve SiO₂ kalite dağılımını gösterir program görüntüsü

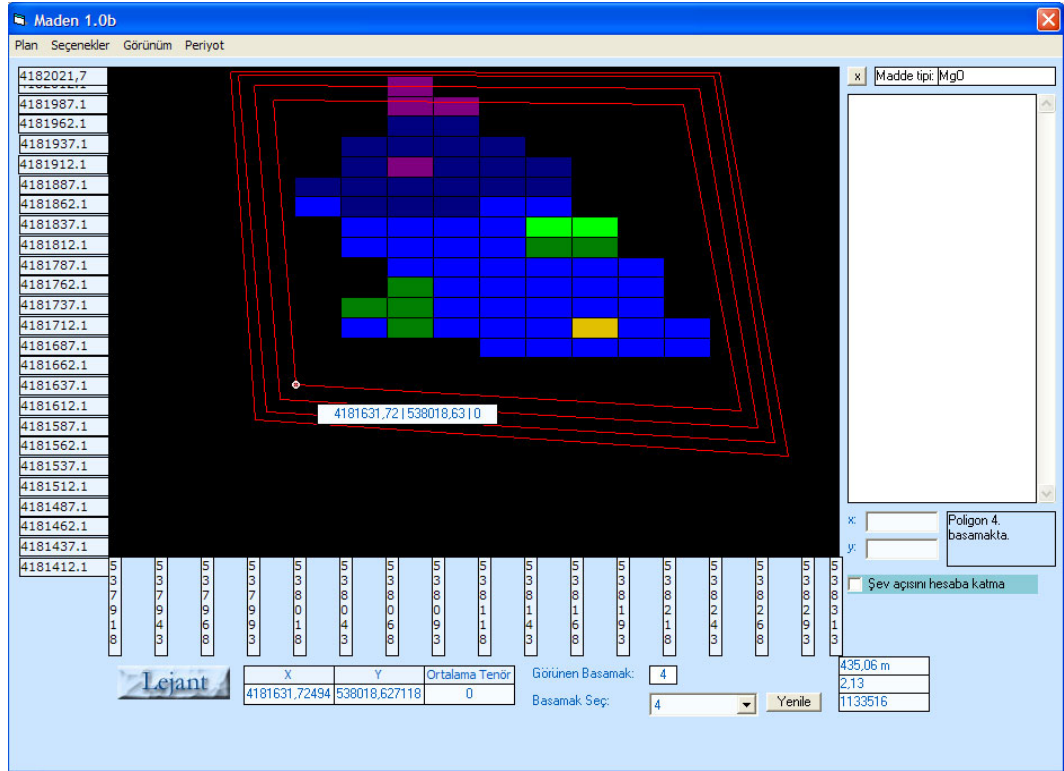


Şekil 8.12 Birinci yılda üçüncü poligondan üretilecek malzeme miktarını ve CaO kalite dağılımını gösterir program görüntüsü

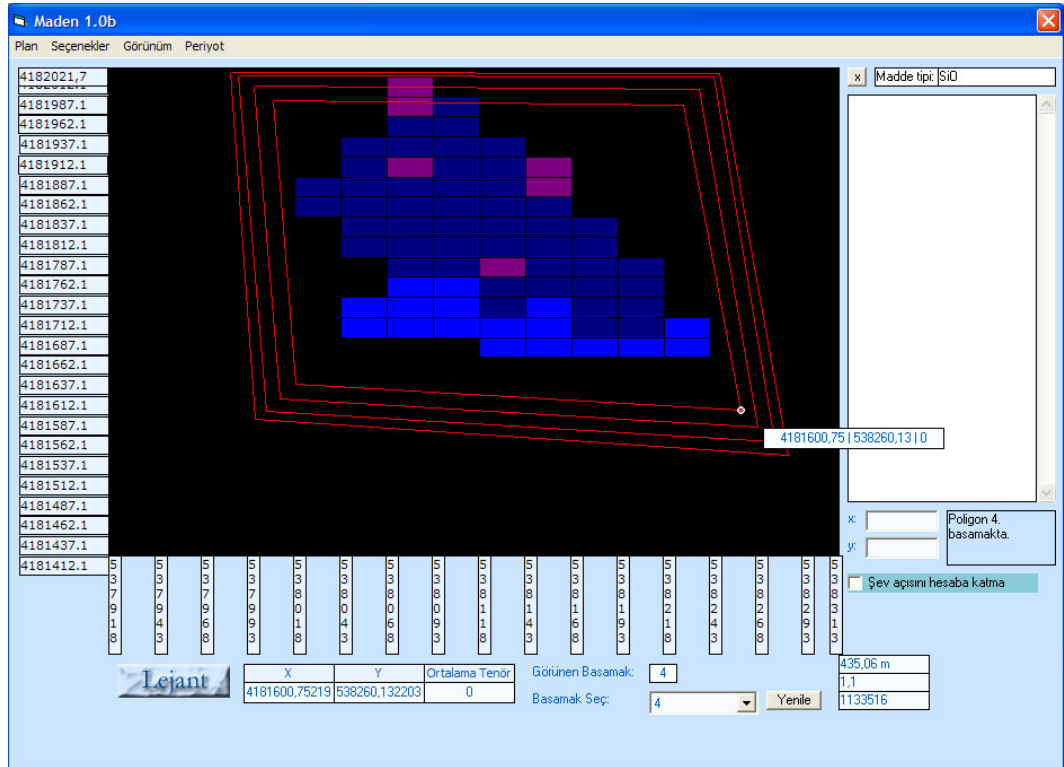
Cankurtaran kalker sahasında birinci yılda üretilecek birinci poligon, ikinci poligon ve üçüncü poligondan (465, 455 ve 445 basamaklarında) üretilecek malzeme miktarı toplamı 1.084.842 ton dur. Yıllık üretimi karşılamak için bir alttaki 435 basamağından da 165.158 ton malzeme üretmemiz gerekecektir. Birinci yılda 435 basamağında dördüncü poligon alanı oluşturulmuştur. Bu alandaki MgO, SiO₂ ve CaO değerleri de istenilen değerlerdedir. Birinci yılda eksik kalan 165.158 ton malzeme dördüncü poligon alanından üretilecektir. Bu basamaktaki % MgO içeriği 2,13, %SiO₂ içeriği 1,10 ve % CaO içeriği de 52,47 dir.

8.2.2 Cankurtaran Kalker Sahası 2007-2008 Dönemi (İkinci Yıl) Üretim Planı

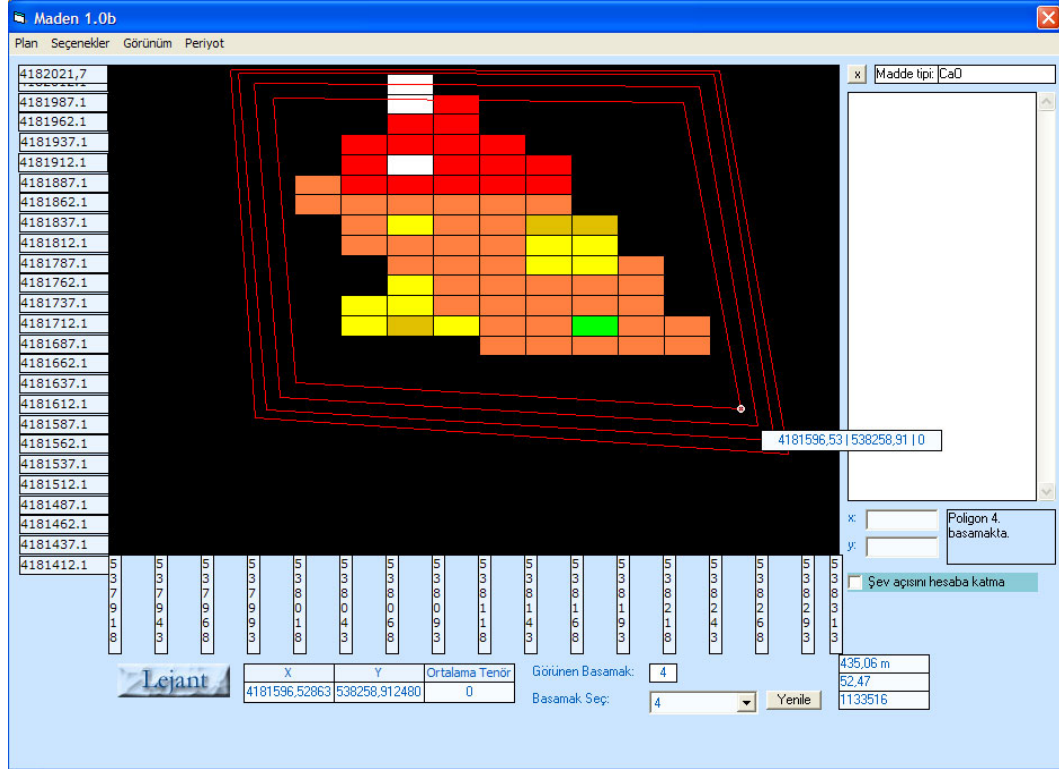
2006 yılında 465, 455, 445 ve 435 basamaklarından toplam 1.250.000 ton üretim gerçekleştirilmiştir. 435 basamağındaki toplam malzeme miktarı 1.137.516 ton idi. Bu malzemenin 165.158 ton birinci yılda üretildiği için ikinci yılda bu basamakta üretilebilecek 968.358 tonluk malzeme miktarı bulunmaktadır. İkinci yılda beşinci poligondan üretilecek 968.358 ton malzemenin % MgO içeriği 2,13, %SiO₂ içeriği 1,10 ve % CaO içeriği de 52,47 dir. İkinci yılda dördüncü poligondan (435 basamağı) üretilecek malzeme miktarı, MgO, SiO₂ ve CaO içeriklerine bağlı kalite dağılım blok model program görüntüleri Şekil 8.13, Şekil 8.14 ve Şekil 8.15’de verilmiştir.



Şekil 8.13 İkinci yılda dördüncü poligondan üretilecek malzeme miktarını ve MgO kalite dağılımını gösterir program görüntüsü



Şekil 8.14 İkinci yılda dördüncü poligondan üretilecek malzeme miktarını ve SiO₂ kalite dağılımını gösterir program görüntüsü

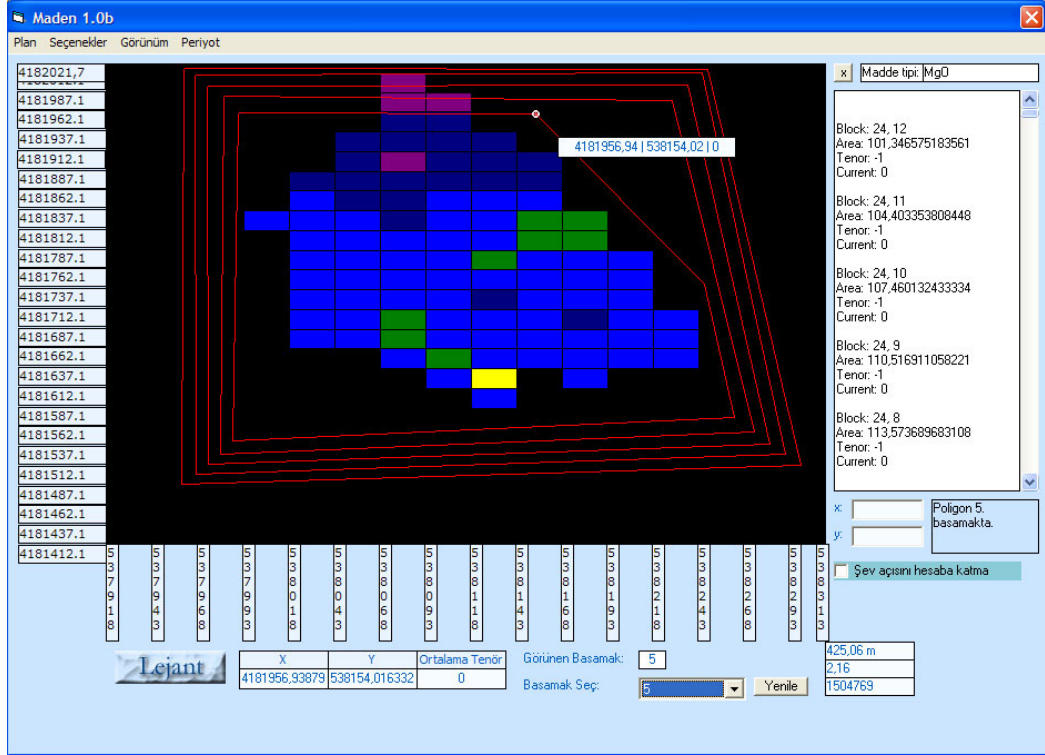


Şekil 8.15 İkinci yılda dördüncü poligondan üretilecek malzeme miktarını ve CaO kalite dağılımını gösterir program görüntüsü

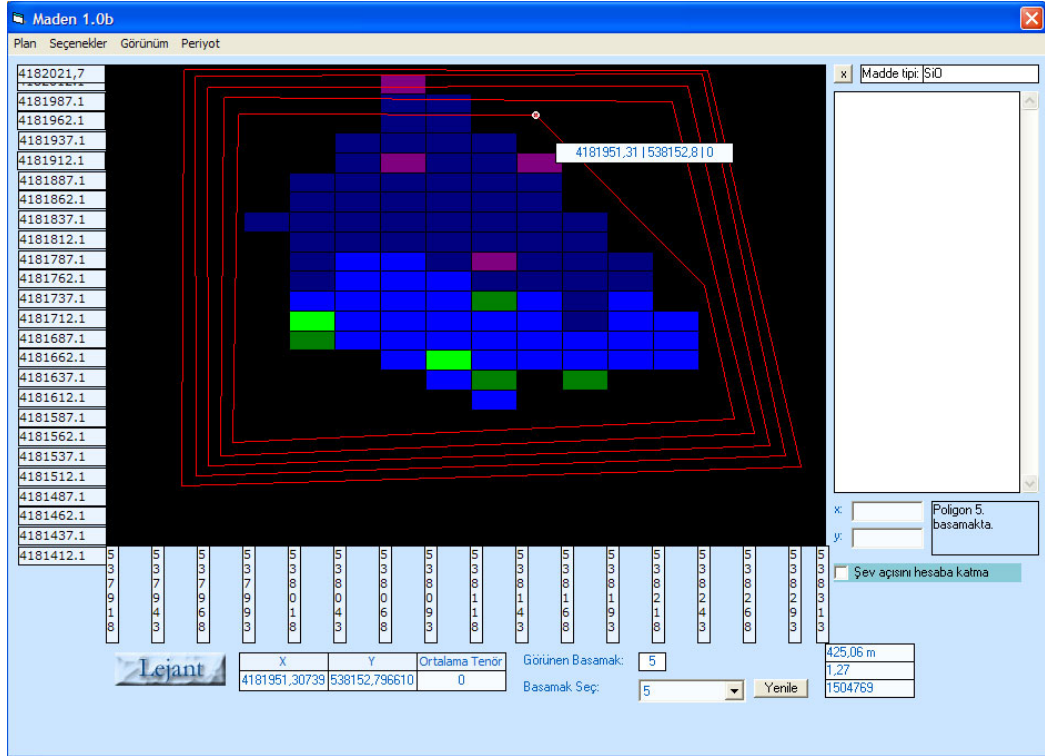
İkinci yılda üretilmesi gereken malzeme miktarı 1.250.000 ton olduğu için ve dördüncü poligondan üretilecek malzeme miktarı da 968.358 ton olduğu için 281.642 ton'luk yapılması gereken üretim vardır. Üretim planlaması devam ettirilerek 425 basamağında beşinci poligon alanı oluşturulmuştur. Beşinci poligondaki toplam malzeme miktarı 1.504.769 tondur. İkinci yılda bu alandan 281.642 ton malzeme üretilecektir. Beşinci poligonun MgO, SiO₂ ve CaO değerleride istenilen özelliklerdedir. Bu basamaktaki % MgO içeriği 2,16, %SiO₂ içeriği 1,27 ve % CaO içeriği de 52,35 tir.

8.2.3 Cankurtaran Kalker Sahası 2008-2009 Dönemi (Üçüncü Yıl) Üretim Planı

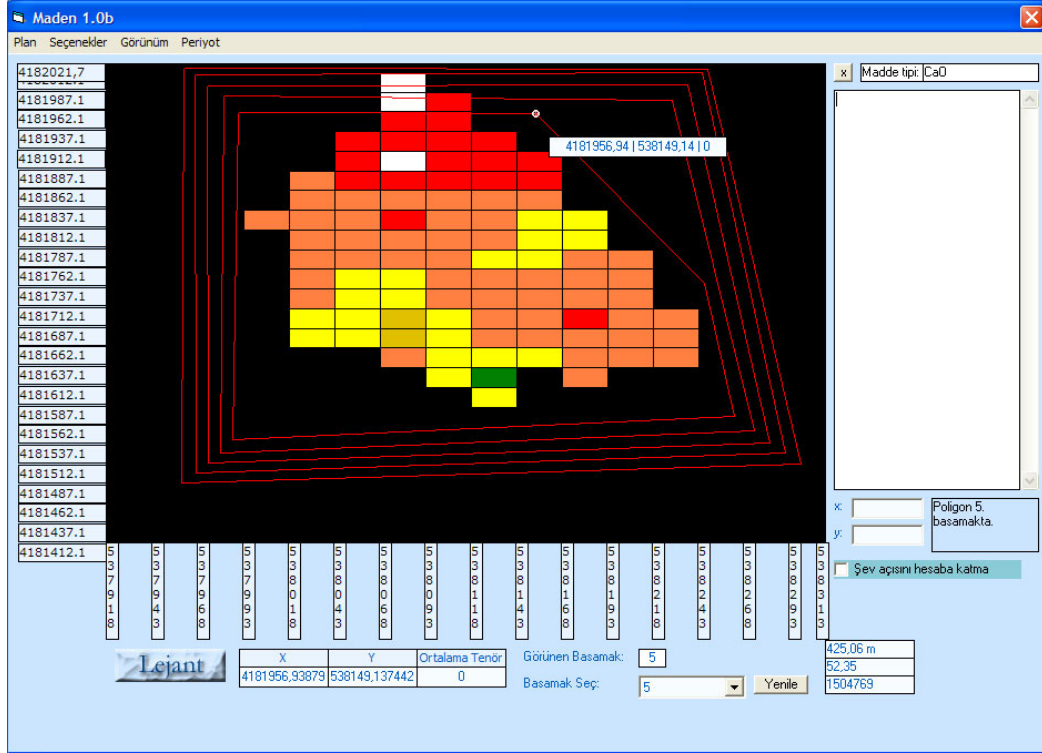
2007 yılında 425 basamağında 281.642 ton malzeme üretilmiştir. Bu basamaktaki malzeme miktarı toplam 1.504.769 tondur. Geriye kalan 1.223.127 ton malzeme 2008 yılında üretilecektir. Bu malzemenin % MgO içeriği 2,16, %SiO₂ içeriği 1,27 ve % CaO içeriği de 52,35 tir. Üçüncü yılda beşinci poligondan yani 425 basamağında üretilecek malzeme miktarı, MgO, SiO₂ ve CaO içeriklerine bağlı kalite dağılım blok model program görüntüleri Şekil 8.16, Şekil 8.17 ve Şekil 8.18'de verilmiştir



Şekil 8.16 Üçüncü yılda beşinci poligondan üretilecek malzeme miktarını ve MgO kalite dağılımını gösterir program görüntüsü

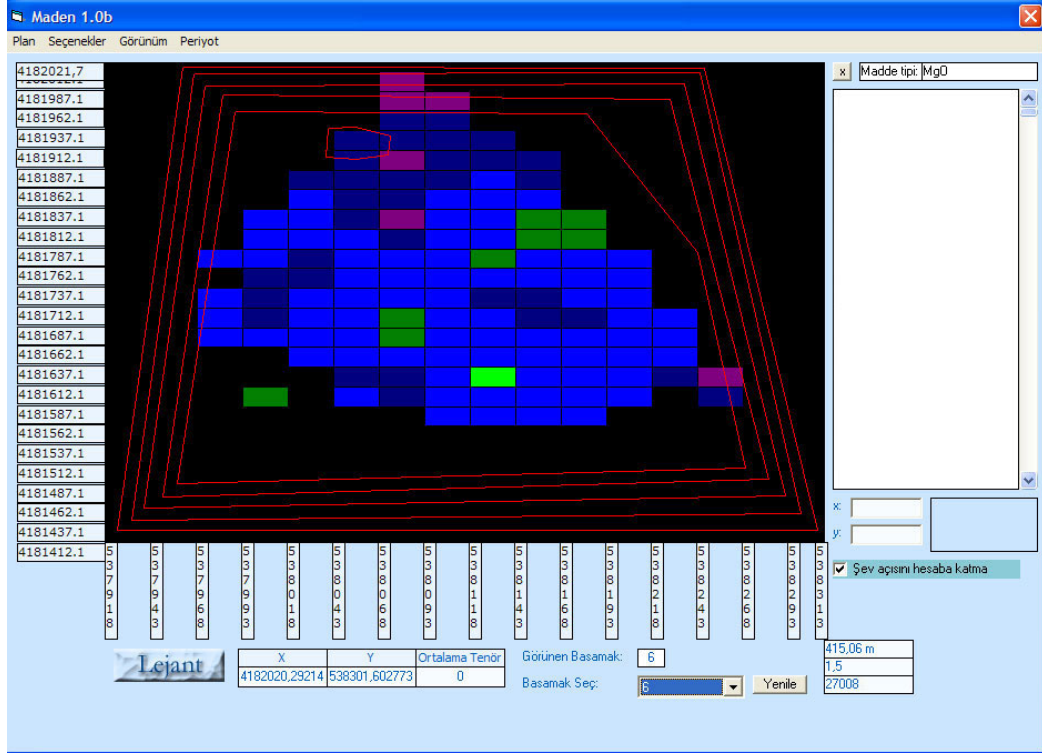


Şekil 8.17 Üçüncü yılda beşinci poligondan üretilecek malzeme miktarını ve SiO₂ kalite dağılımını gösterir program görüntüsü

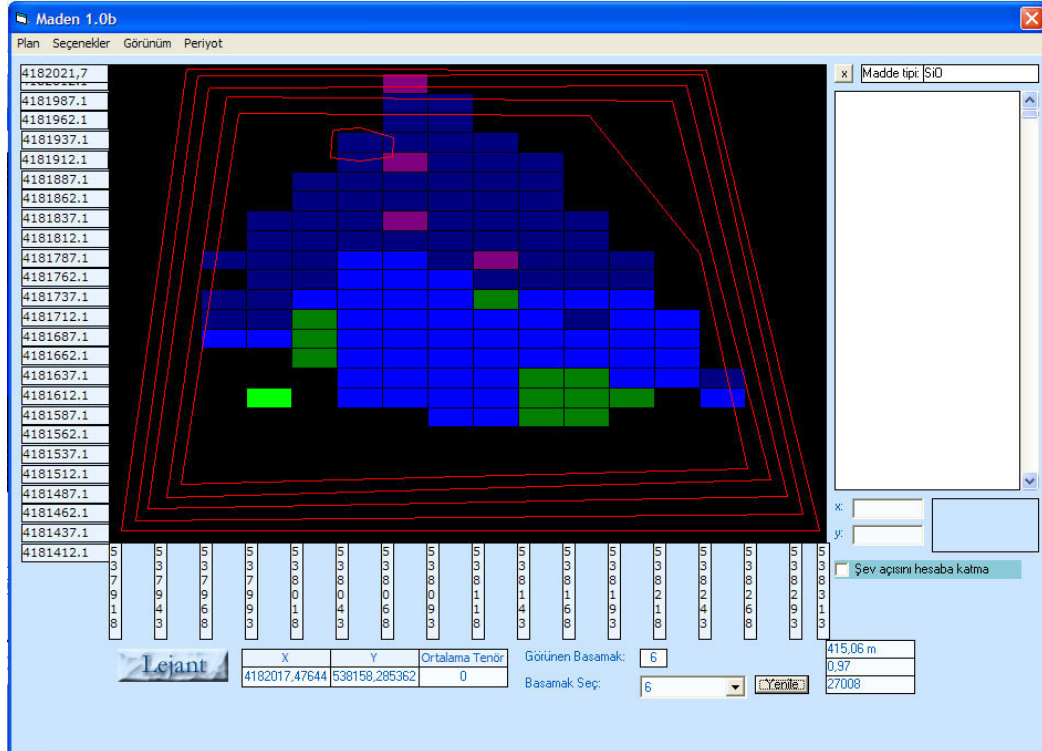


Şekil 8.18 Üçüncü yılda beşinci poligondan üretilecek malzeme miktarını ve CaO kalite dağılımını gösterir program görüntüsü

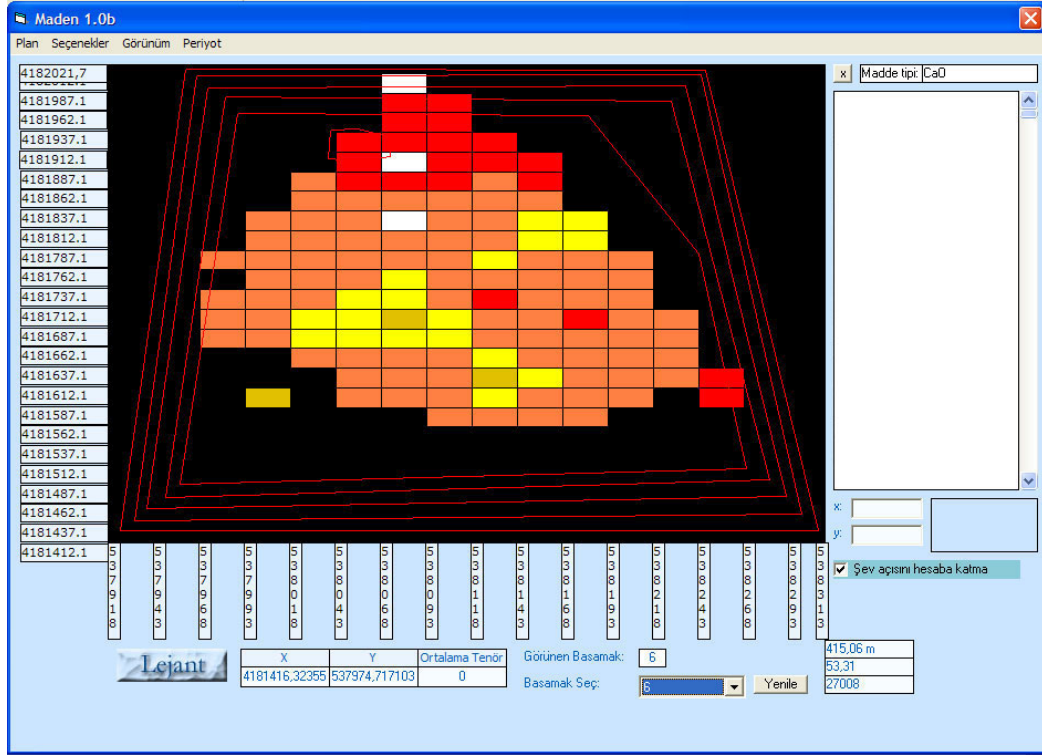
2008 yılında üretilecek toplam 1.250.000 ton malzeme miktarının 1.223.127 ton beşinci poligon alanından üretilmiştir. Geri kalan 26.873 ton malzeme de 415 basamağında oluşturulan altıncı poligondan üretilecektir. 2008 yılında üretilecek toplam malzeme miktarını tamamlamak amacı ile altıncı poligon alanı oluşturularak üretim planlaması yapılmış olup, eksik kalan üretim miktarı tamamlanmıştır. Oluşturulan poligon alanı ile 27.008 ton kalker üretimi gerçekleştirilecektir. Bu poligon alanı ile eksik kalan 26.873 ton malzeme miktarını tam olarak hesaplamak mümkün olmamaktadır Oluşturulan bu poligon alanındaki malzemenin % SiO_2 içeriği 0,87, % CaO içeriği 53,31 ve % MgO içeriği de 1,50'dir. Üçüncü yılda altıncı poligondan üretilecek malzeme miktarı, MgO, SiO_2 ve CaO içeriğine bağlı kalite dağılım blok model program görüntüleri Şekil 8.19, Şekil 8.20 ve Şekil 8.21'de verilmiştir.



Şekil 8.19 Üçüncü yılda altıncı poligondan üretilecek malzeme miktarını ve MgO kalite dağılımını gösterir program görüntüsü



Şekil 8.20 Üçüncü yılda altıncı poligondan üretilecek malzeme miktarını ve SiO₂ kalite dağılımını gösterir program görüntüsü

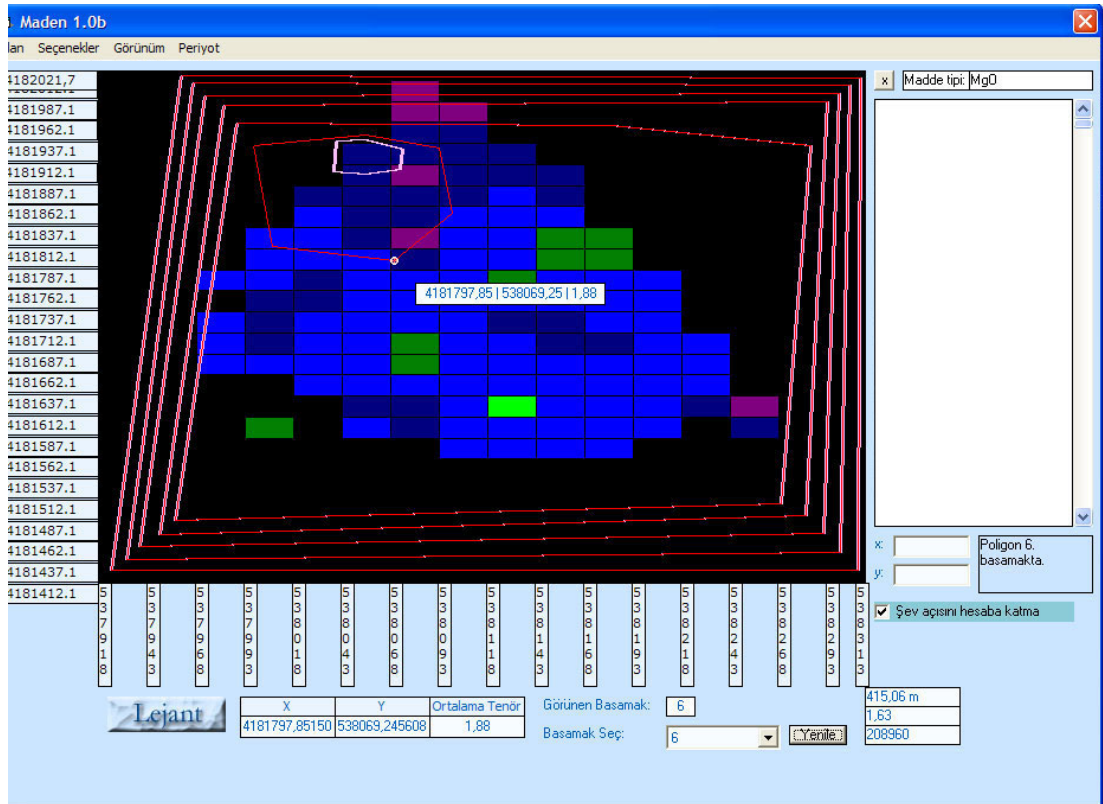


Şekil 8.21 Üçüncü yılda altıncı poligondan üretilecek malzeme miktarını ve CaO kalite dağılımını gösterir program görüntüsü.

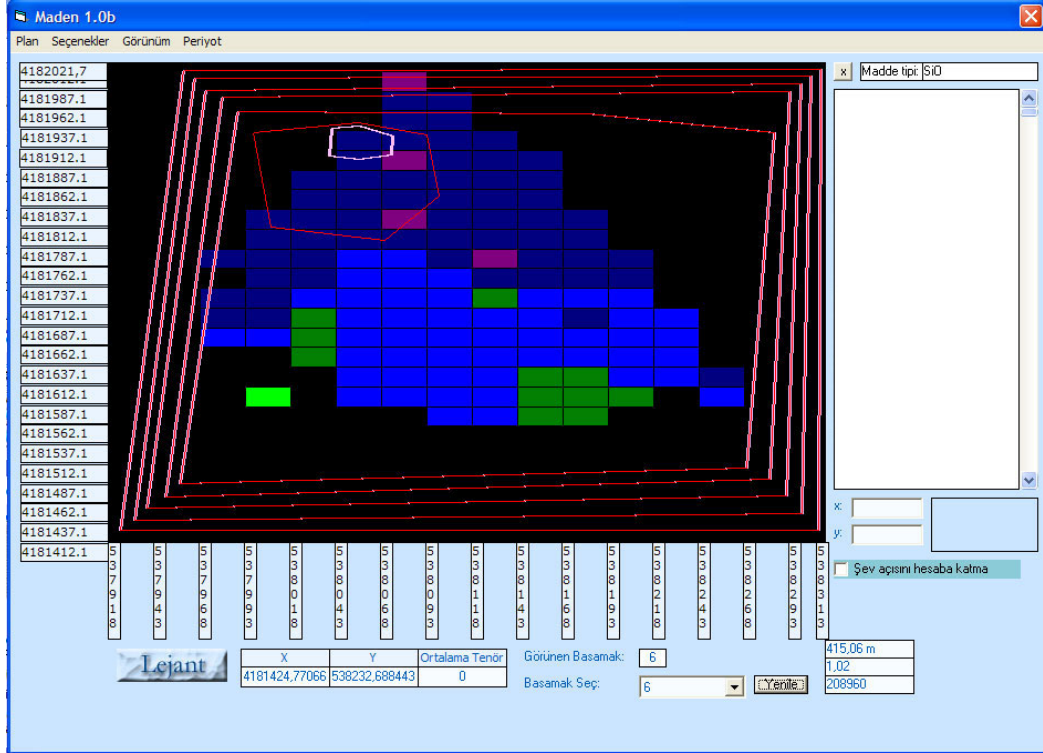
8.2.4 Cankurtaran Kalker Sahası 2009-2010 Dönemi (Dördüncü Yıl) Üretim Planı

Dördüncü yılda, programın özelliklerinin kullanılmasını ve poligonların esnekliğini gösterecek şekilde aynı kademede daha kısa periyot dönemleri seçilerek üretim planlaması yapılmıştır. Dördüncü yılda ikişer aylık kısa dönem üretim periyotları oluşturulmuştur. Bir yıl ikişer aylık altı döneme bölünmüştür. Yıllık yapılacak 1.250.000 ton üretim miktarı göz önüne alınarak iki aylık yapılacak ortalama 208.300 ton üretime göre kısa dönem üretim planlamaları yapılmıştır. Planlama 415 basamağında yapılmıştır. Planlamanın bu aşamasında program üçüncü yılda 27.008 ton malzemenin üretildiği poligon alanından sonra program menüsündeki “sonraki periyot” penceresi seçildiğinde program bundan önceki tüm bilgileri hafızaya kayıt eder ve bu kayıt etme işlemi tamamlandıktan sonra önceki poligon alanları program tarafından kalın pembe çizgi şeklinde gösterilir. Bu basamakta oluşturulan en son poligon alanı genişletilerek yapılacak üretim miktarına ve istenilen malzeme kalite değerlerine göre yeni poligon alanı oluşturulur.

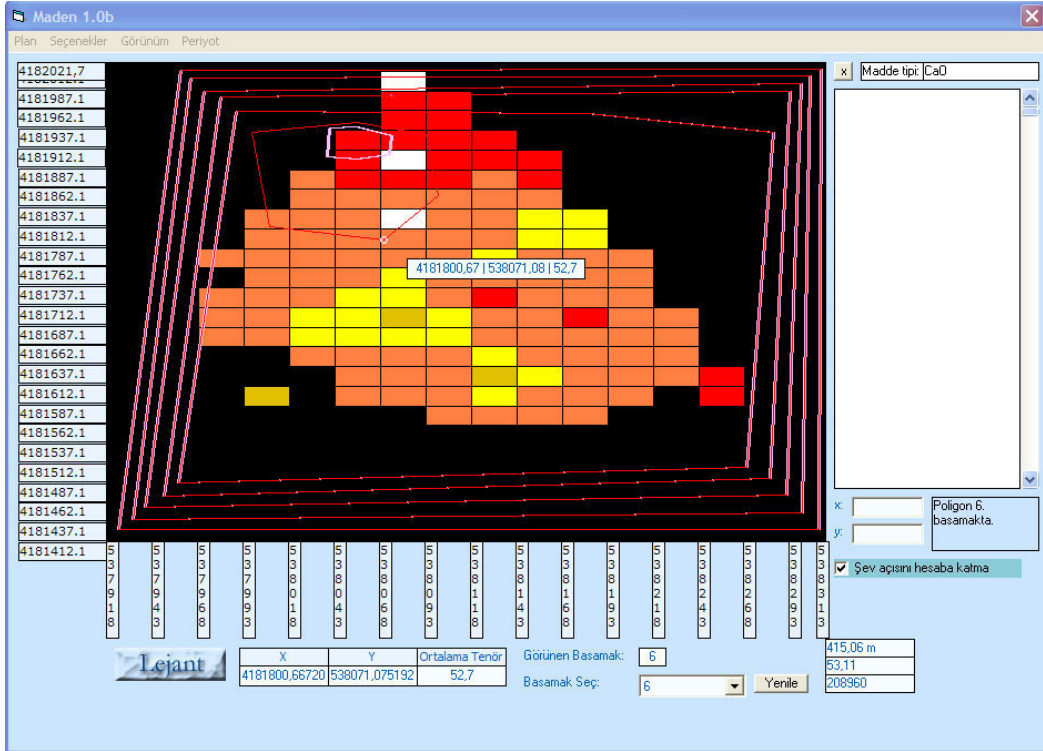
Dördüncü yılın ilk iki aylık döneminde yapılacak üretim miktarı ve malzeme kalite değerleri göz önüne alınarak ilk iki aylık üretim planlaması yapılmıştır. Oluşturulan poligon alanından üretilecek malzeme miktarı 208.960 ton'dur. Üretilecek malzemenin % SiO₂ içeriği 1,02 % CaO içeriği 53,11 ve % MgO içeriği de 1,63'tür. Dördüncü yılın ilk iki aylık döneminde üretilecek malzeme miktarı, MgO, SiO₂ ve CaO içeriğine bağlı kalite dağılım blok model program görüntüleri Şekil 8.22, Şekil 8.23 ve Şekil 8.24'de verilmiştir.



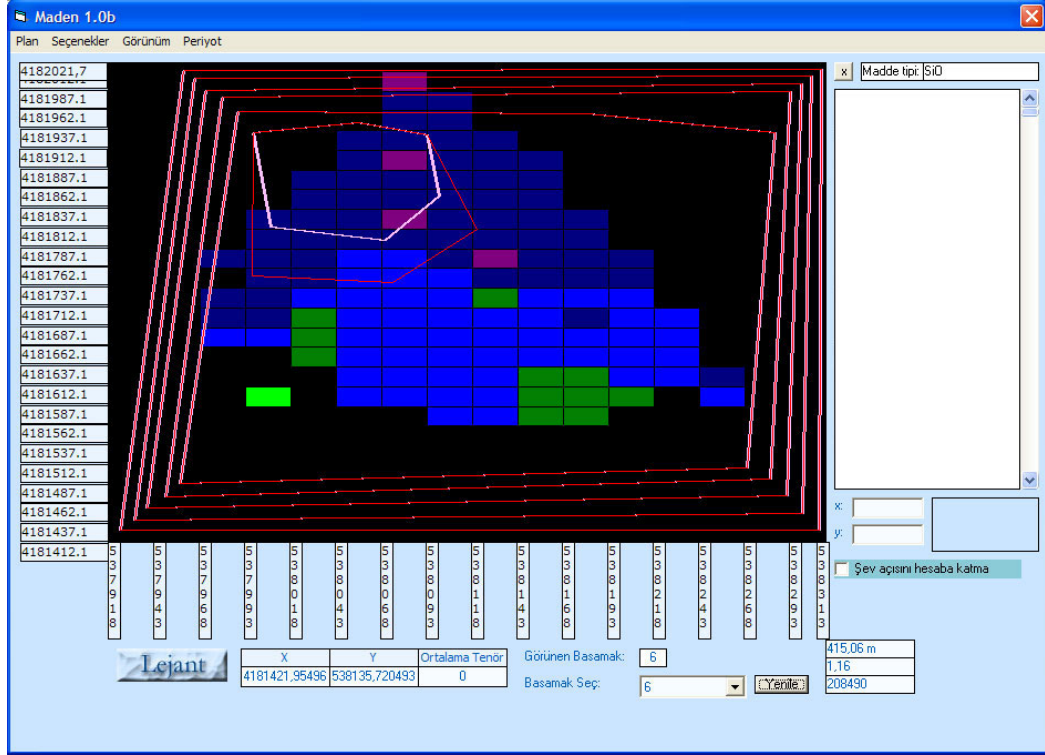
Şekil 8.22 Dördüncü yılda ilk iki aylık periyotta üretilecek malzeme miktarını ve MgO kalite dağılımını gösterir program görüntüsü



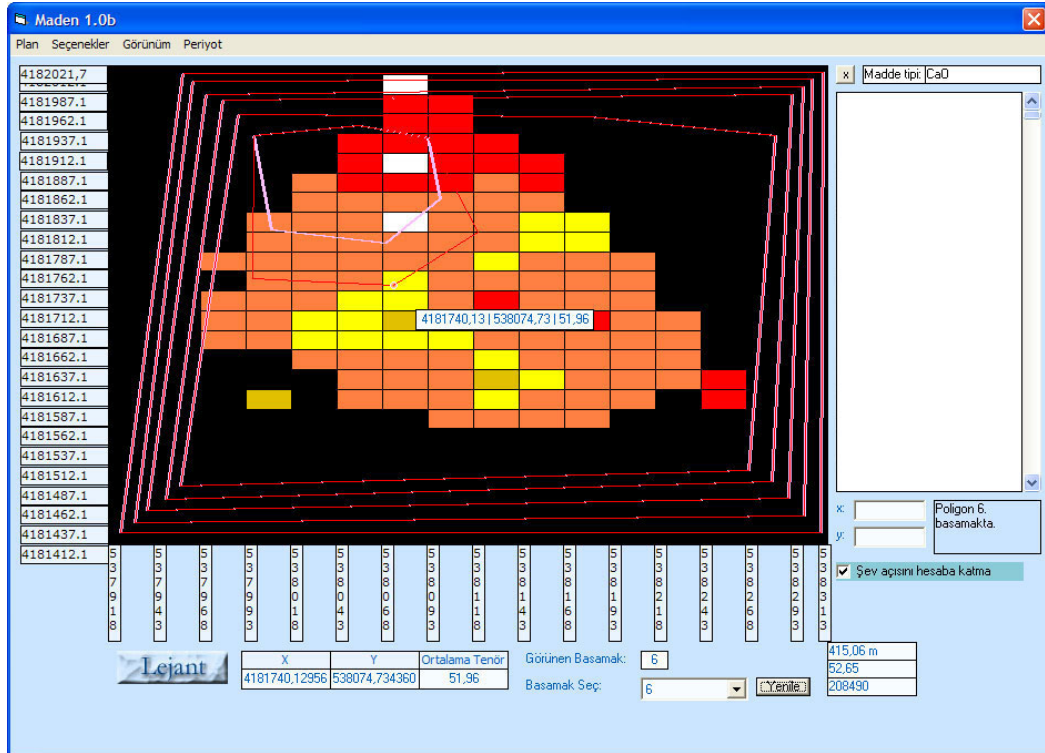
Şekil 8.23 Dördüncü yılda ilk iki aylık periyotta üretilecek malzeme miktarını ve SiO₂ kalite dağılımını gösterir program görüntüsü



Şekil 8.24 Dördüncü yılda ilk iki aylık periyotta üretilecek malzeme miktarını ve CaO kalite dağılımını gösterir program görüntüsü

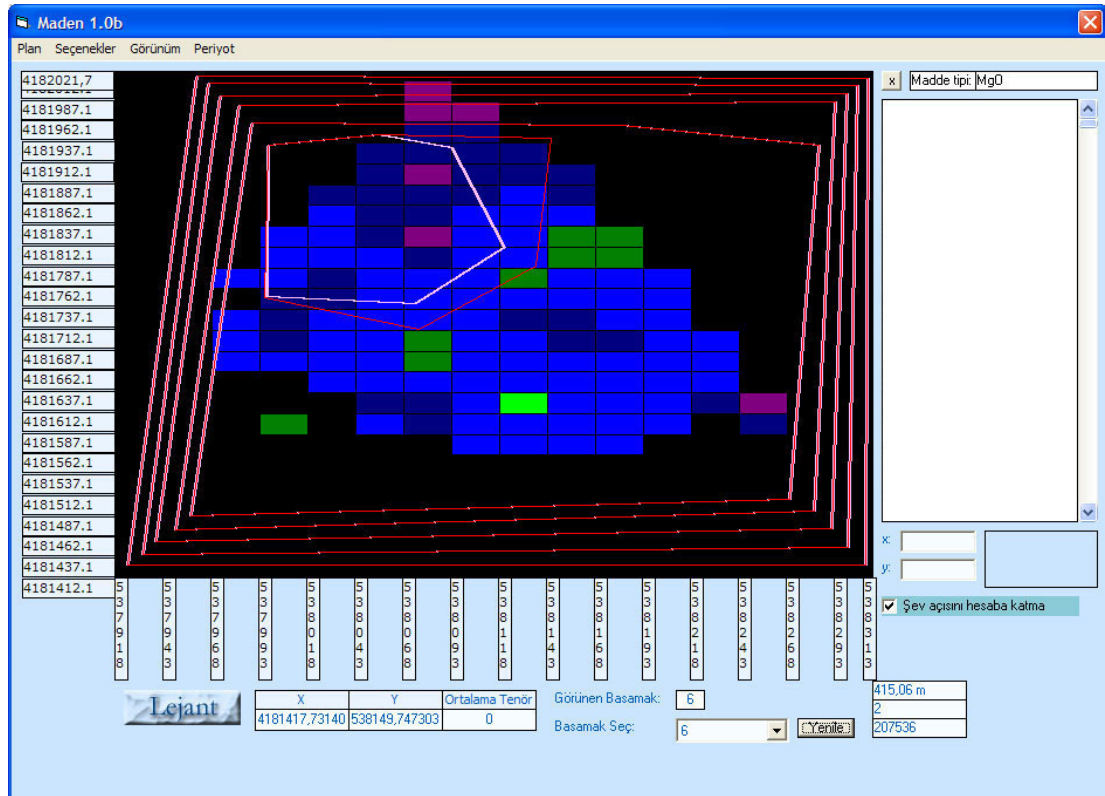


Şekil 8.26 Dördüncü yılda ikinci iki aylık periyotta üretilecek malzeme miktarını ve SiO₂ kalite dağılımını gösterir program görüntüsü

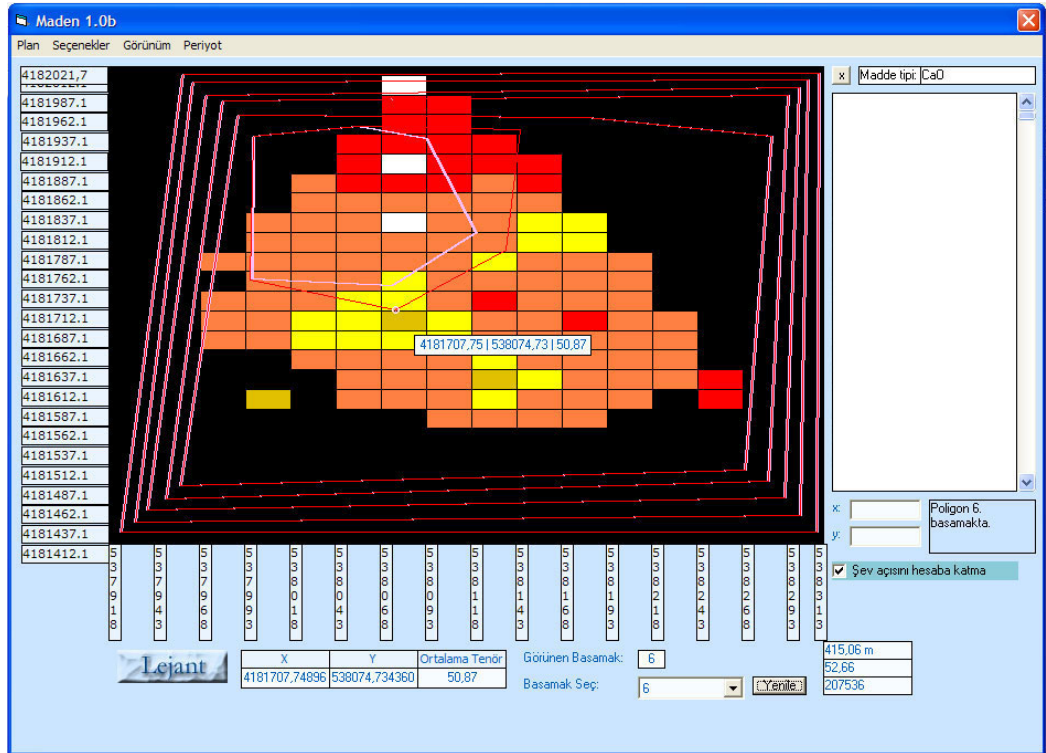
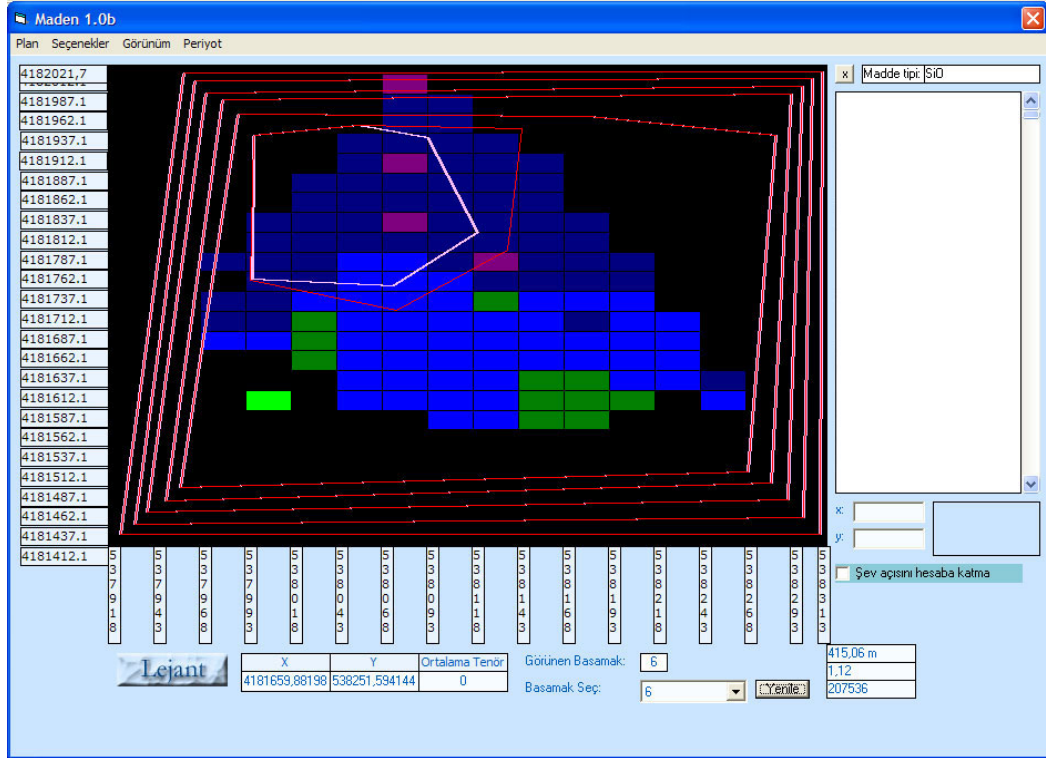


Şekil 8.27 Dördüncü yılda ikinci iki aylık periyotta üretilecek malzeme miktarını ve CaO kalite dağılımını gösterir program görüntüsü.

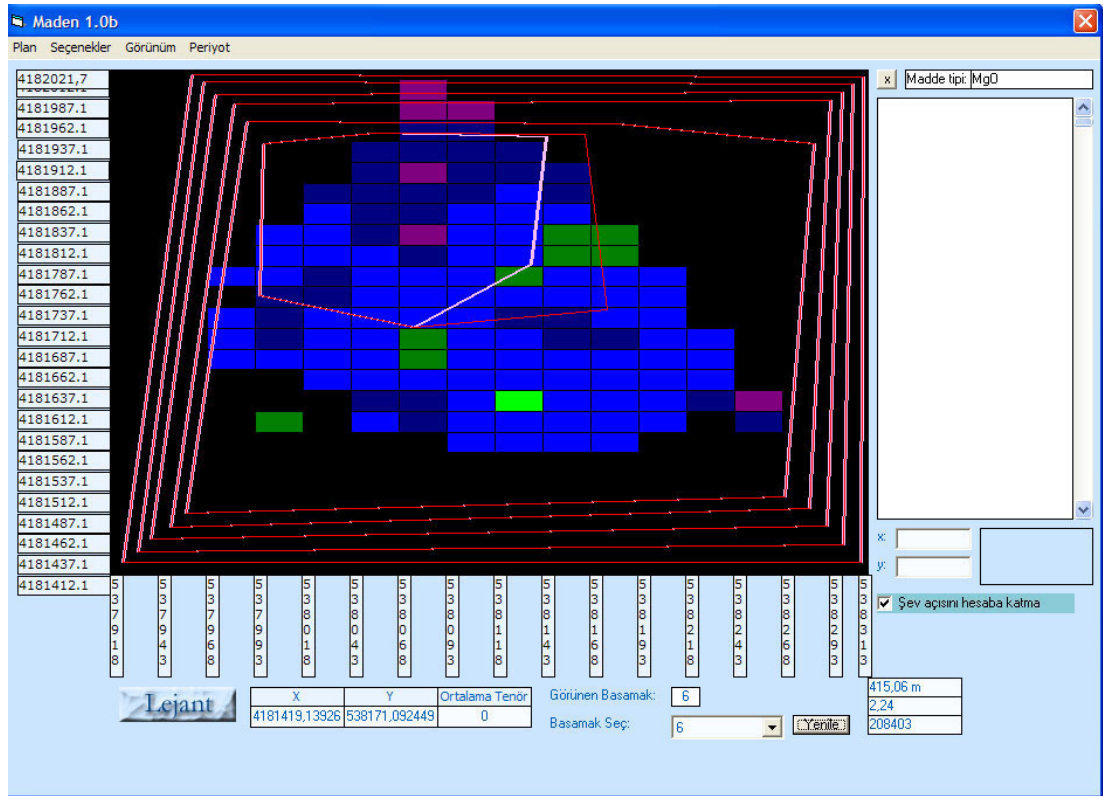
Dördüncü yılda üçüncü iki aylık üretim planlaması için yine programdan “sonraki periyot” penceresi seçilmekte ve program tüm bilgileri hafızaya alarak bir sonraki periyoda geçmektedir. Dördüncü yılın üçüncü iki aylık döneminde yapılacak üretim miktarı ve malzeme kalite değerleri göz önüne alınarak üçüncü iki aylık üretim planlaması yapılmıştır. Oluşturulan poligon alanından üretilecek malzeme miktarı 207.536 ton’dur. Üretilecek malzemenin % SiO₂ içeriği 1,12 % CaO içeriği 52,66 ve % MgO içeriği de 2,00’dır. Dördüncü yılın üçüncü iki aylık döneminde üretilecek malzeme miktarı, MgO, SiO₂ ve CaO içeriğine bağlı kalite dağılım blok model program görüntüleri Şekil 8.28, Şekil 8.29 ve Şekil 8.30’da verilmiştir.



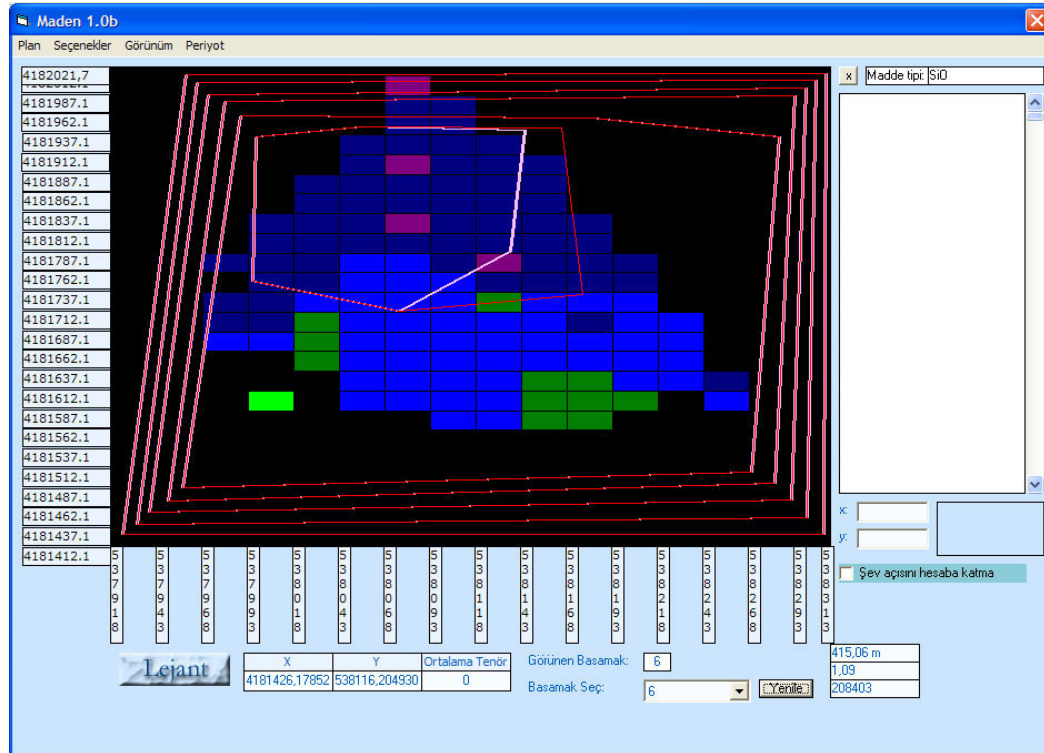
Şekil 8.28 Dördüncü yılda üçüncü iki aylık periyotta üretilecek malzeme miktarını ve MgO kalite dağılımını gösterir program görüntüsü



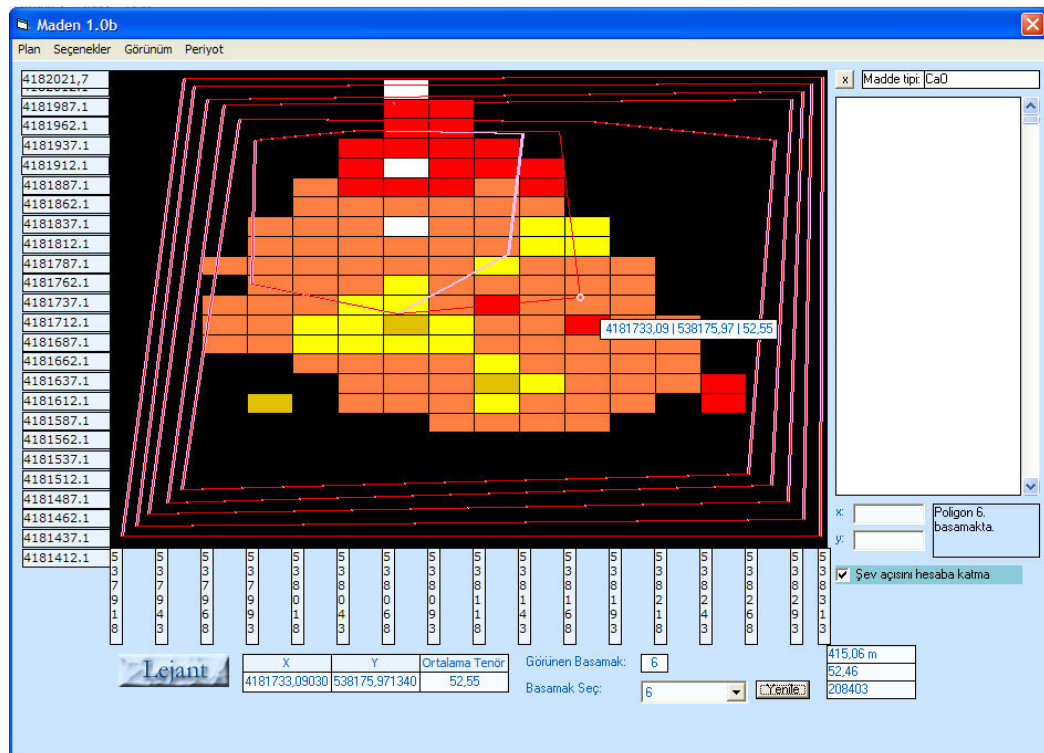
Dördüncü yılda dördüncü iki aylık üretim planlaması için yine programdan “sonraki periyot” penceresi seçilmekte ve program tüm bilgileri hafızaya alarak bir sonraki periyoda geçmektedir. Dördüncü yılın dördüncü iki aylık döneminde yapılacak üretim miktarı ve malzeme kalite değerleri göz önüne alınarak dördüncü iki aylık üretim planlaması yapılmıştır. Oluşturulan poligon alanından üretilecek malzeme miktarı 208.403 ton’dur. Üretilecek malzemenin % SiO₂ içeriği 1,09 % CaO içeriği 52,46 ve % MgO içeriği de 2,24’tür. Dördüncü yılın dördüncü iki aylık döneminde üretilecek malzeme miktarı, MgO, SiO₂ ve CaO içeriğine bağlı kalite dağılım blok model program görüntüleri Şekil 8.31, Şekil 8.32 ve Şekil 8.33’de verilmiştir.



Şekil 8.31 Dördüncü yılda dördüncü iki aylık periyotta üretilecek malzeme miktarını ve MgO kalite dağılımını gösterir program görüntüsü

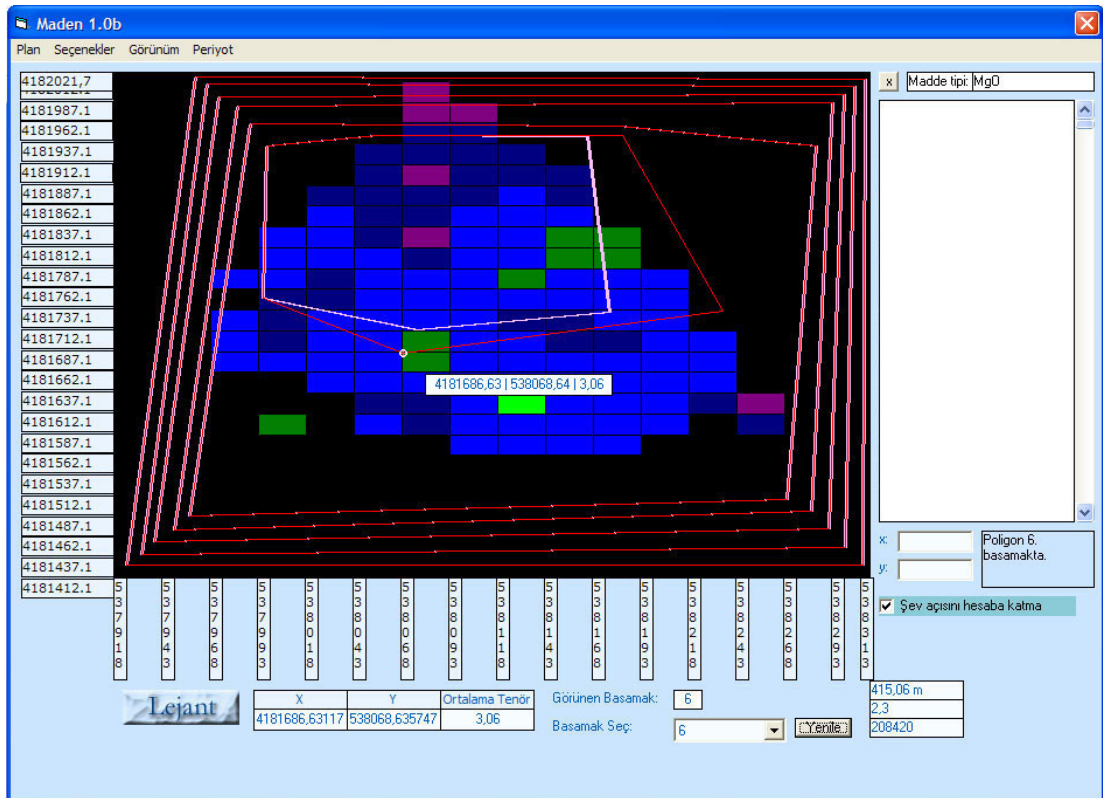


Şekil 8.32 Dördüncü yılda dördüncü iki aylık periyotta üretilecek malzeme miktarını ve SiO₂ kalite dağılımını gösterir program görüntüsü

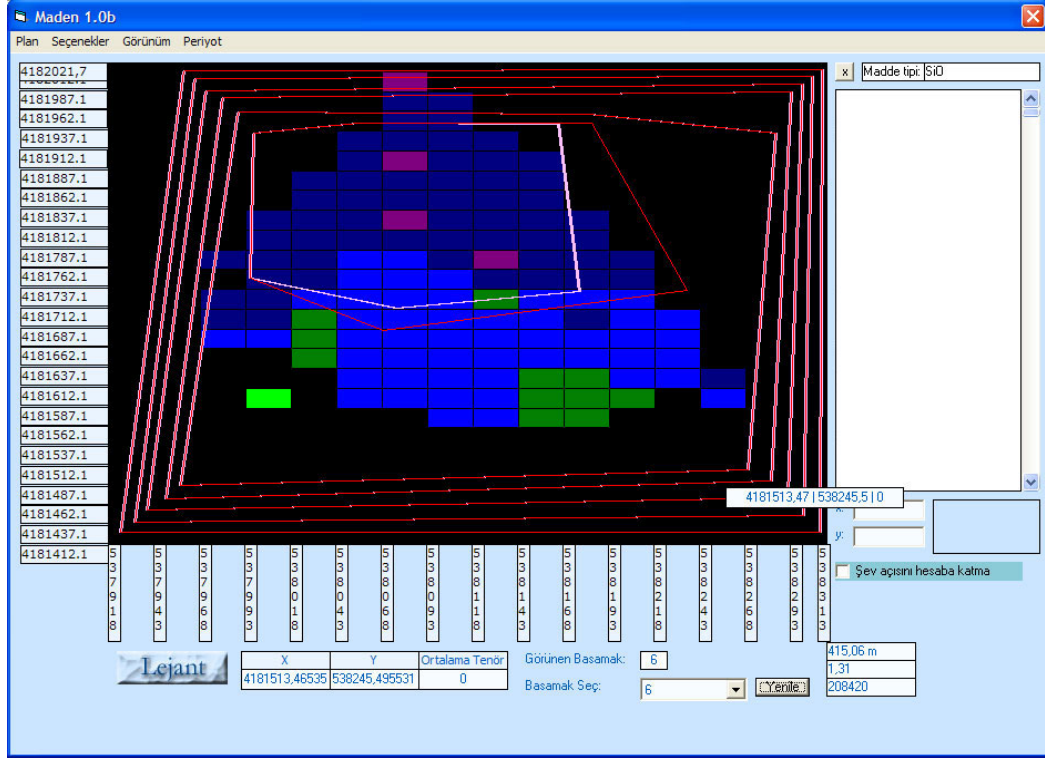


Şekil 8.33 Dördüncü yılda dördüncü iki aylık periyotta üretilecek malzeme miktarını ve CaO kalite dağılımını gösterir program görüntüsü.

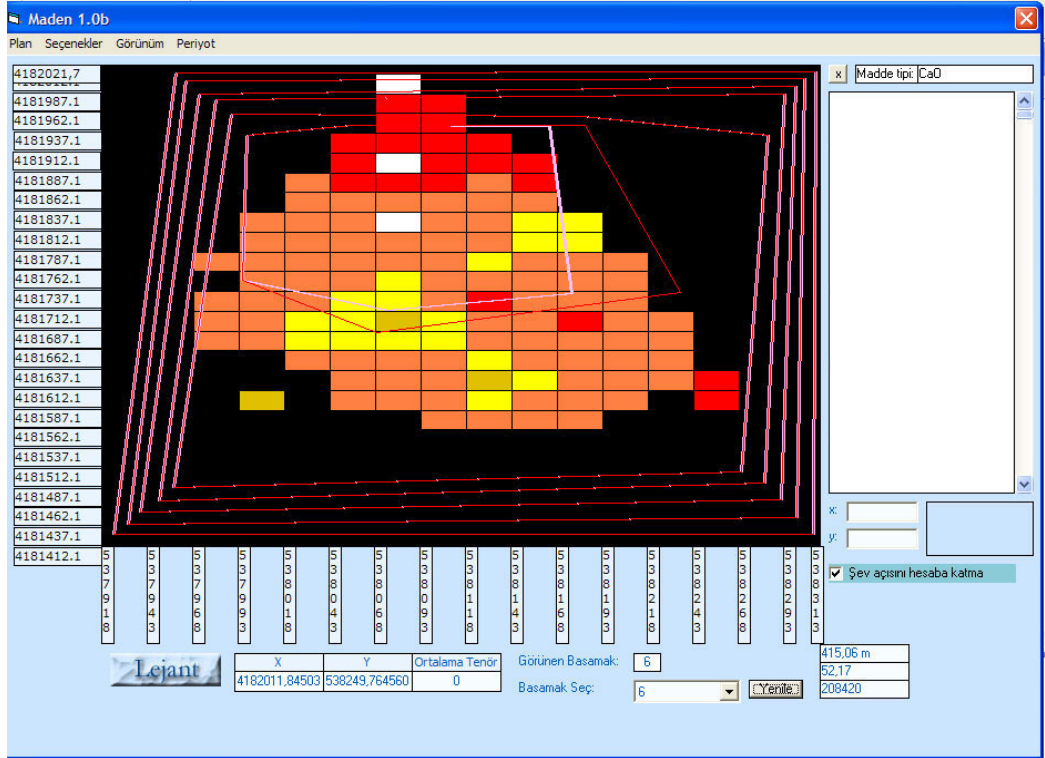
Dördüncü yılda beşinci iki aylık üretim planlaması için yine programdan “sonraki periyot” penceresi seçilmekte ve program tüm bilgileri hafızaya alarak bir sonraki periyoda geçmektedir. Dördüncü yılın beşinci iki aylık döneminde yapılacak üretim miktarı ve malzeme kalite değerleri göz önüne alınarak beşinci iki aylık üretim planlaması yapılmıştır. Oluşturulan poligon alanından üretilecek malzeme miktarı 208.420 ton’dur. Üretilecek malzemenin % SiO₂ içeriği 1,31 % CaO içeriği 52,17 ve % MgO içeriği de 2,30’tür. Dördüncü yılın beşinci iki aylık döneminde üretilecek malzeme miktarı, MgO, SiO₂ ve CaO içeriğine bağlı kalite dağılım blok model program görüntüleri Şekil 8.34, Şekil 8.35 ve Şekil 8.36’de verilmiştir.



Şekil 8.34 Dördüncü yılda beşinci iki aylık periyotta üretilecek malzeme miktarını ve MgO kalite dağılımını gösterir program görüntüsü

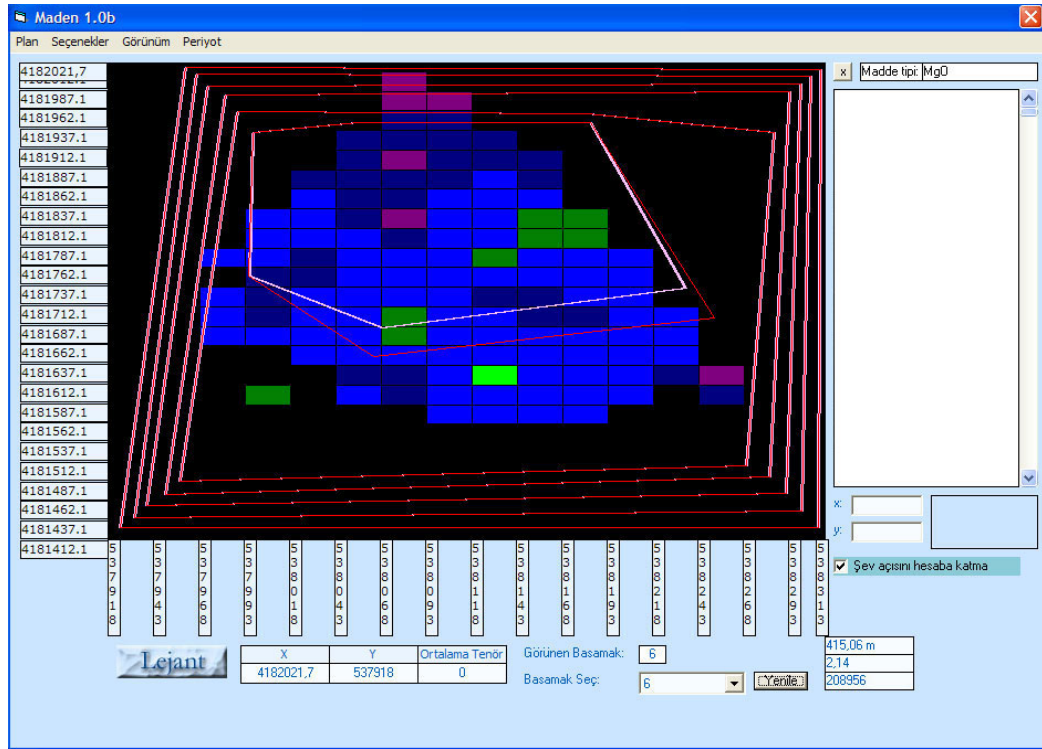


Şekil 8.35 Dördüncü yılda beşinci iki aylık periyotta üretilecek malzeme miktarını ve SiO₂ kalite dağılımını gösterir program görüntüsü

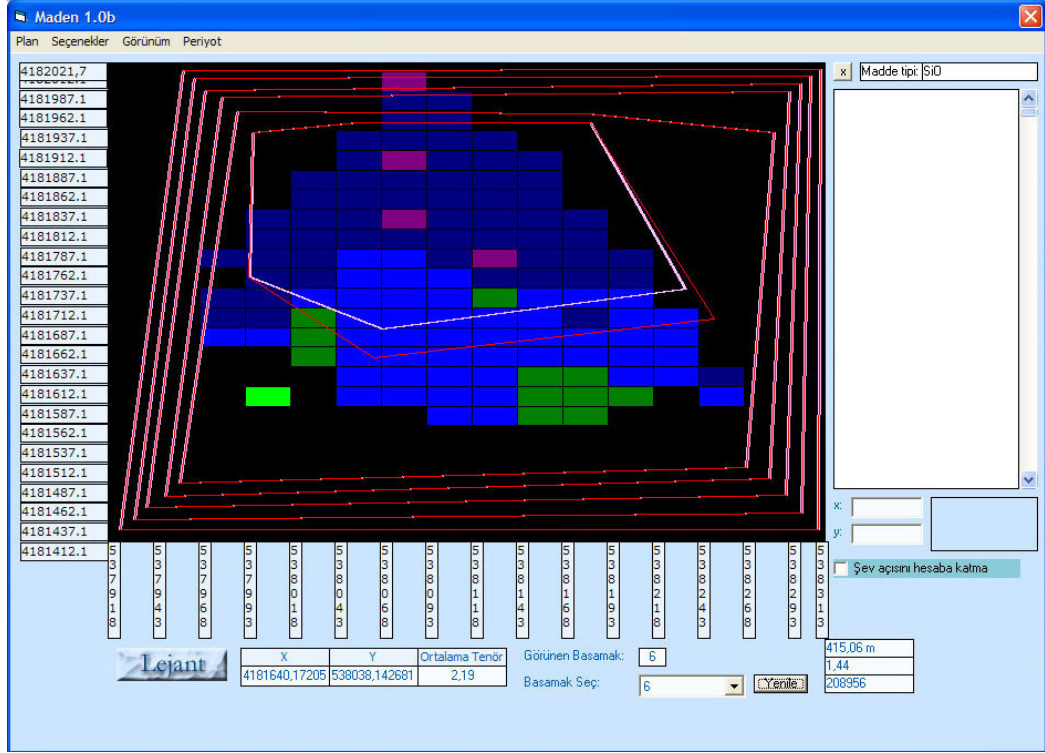


Şekil 8.36 Dördüncü yılda beşinci iki aylık periyotta üretilecek malzeme miktarını ve CaO kalite dağılımını gösterir program görüntüsü.

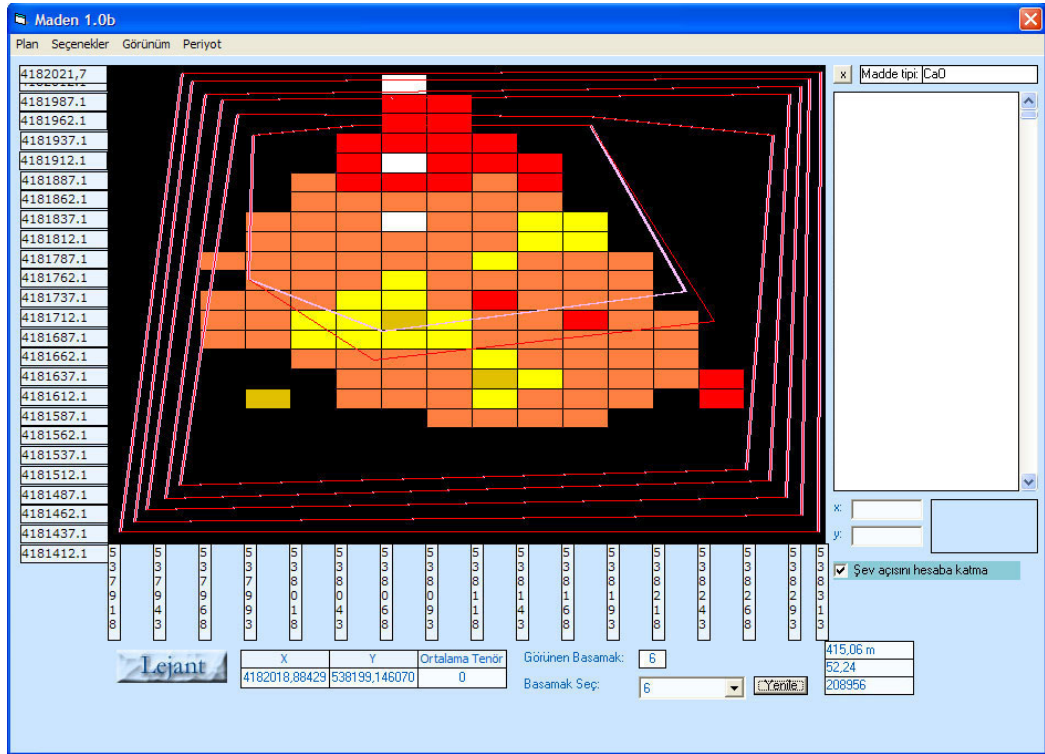
Dördüncü yılda altıncı iki aylık üretim planlaması için yine programdan “sonraki periyot” penceresi seçilmekte ve program tüm bilgileri hafızaya alarak bir sonraki periyoda geçmektedir. Dördüncü yılın altıncı iki aylık döneminde yapılacak üretim miktarı ve malzeme kalite değerleri göz önüne alınarak altıncı iki aylık üretim planlaması yapılmıştır. Oluşturulan poligon alanından üretilecek malzeme miktarı 208.956 ton’dur. Üretilecek malzemenin % SiO₂ içeriği 1,44 % CaO içeriği 52,24 ve % MgO içeriği de 2,14’tür. Dördüncü yılın altıncı iki aylık döneminde üretilecek malzeme miktarı, MgO, SiO₂ ve CaO içeriğine bağlı kalite dağılım blok model program görüntüleri Şekil 8.37, Şekil 8.38 ve Şekil 8.39’da verilmiştir.



Şekil 8.37 Dördüncü yılda altıncı iki aylık periyotta üretilecek malzeme miktarını ve MgO kalite dağılımını gösterir program görüntüsü



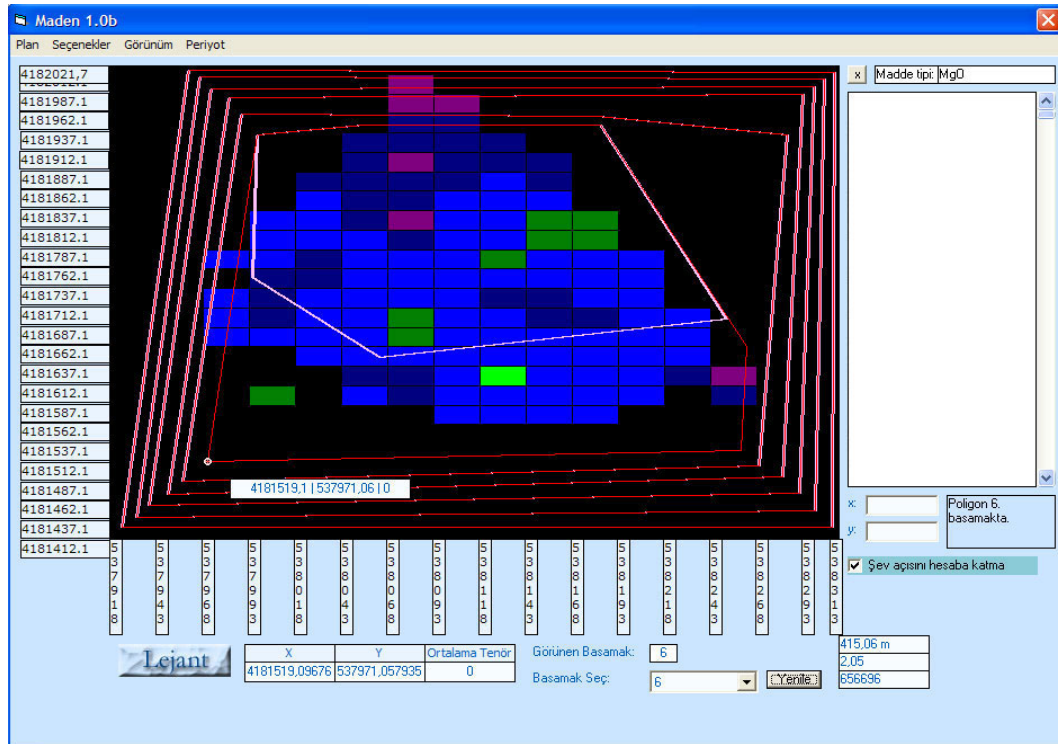
Şekil 8.38 Dördüncü yılda altıncı iki aylık periyotta üretilecek malzeme miktarını ve SiO₂ kalite dağılımını gösterir program görüntüsü



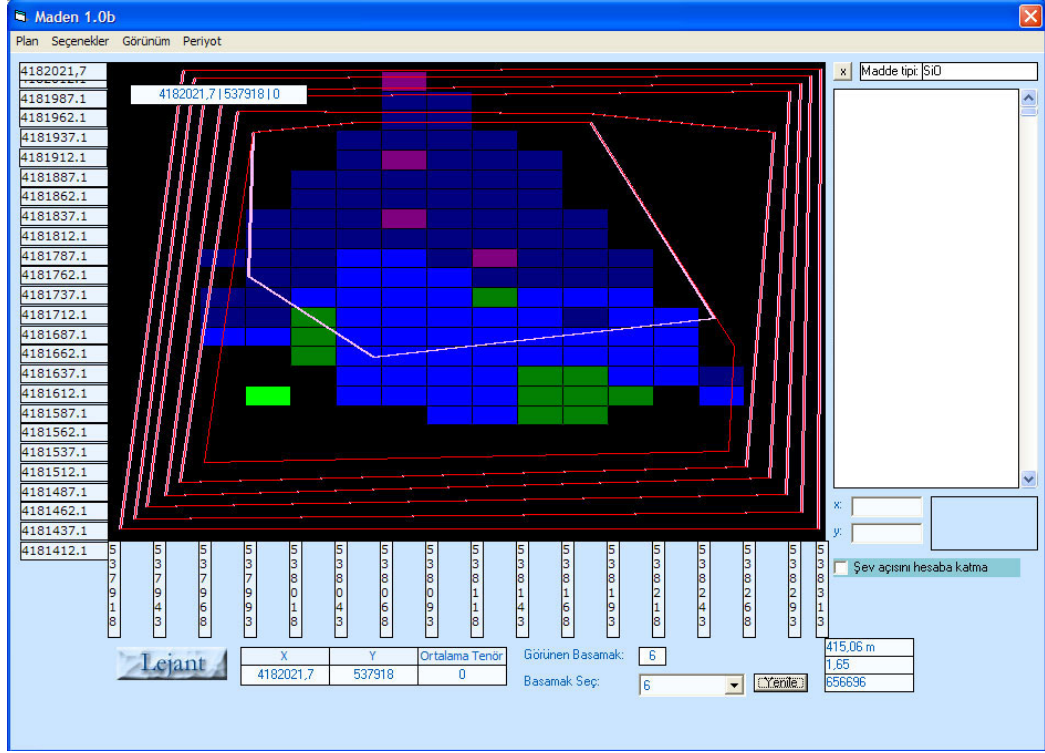
Şekil 8.39 Dördüncü yılda altıncı iki aylık periyotta üretilecek malzeme miktarını ve CaO kalite dağılımını gösterir program görüntüsü.

8.2.5 Cankurtaran Kalker Sahası 2010-2011 Dönemi (Beşinci Yıl) Üretim Planı

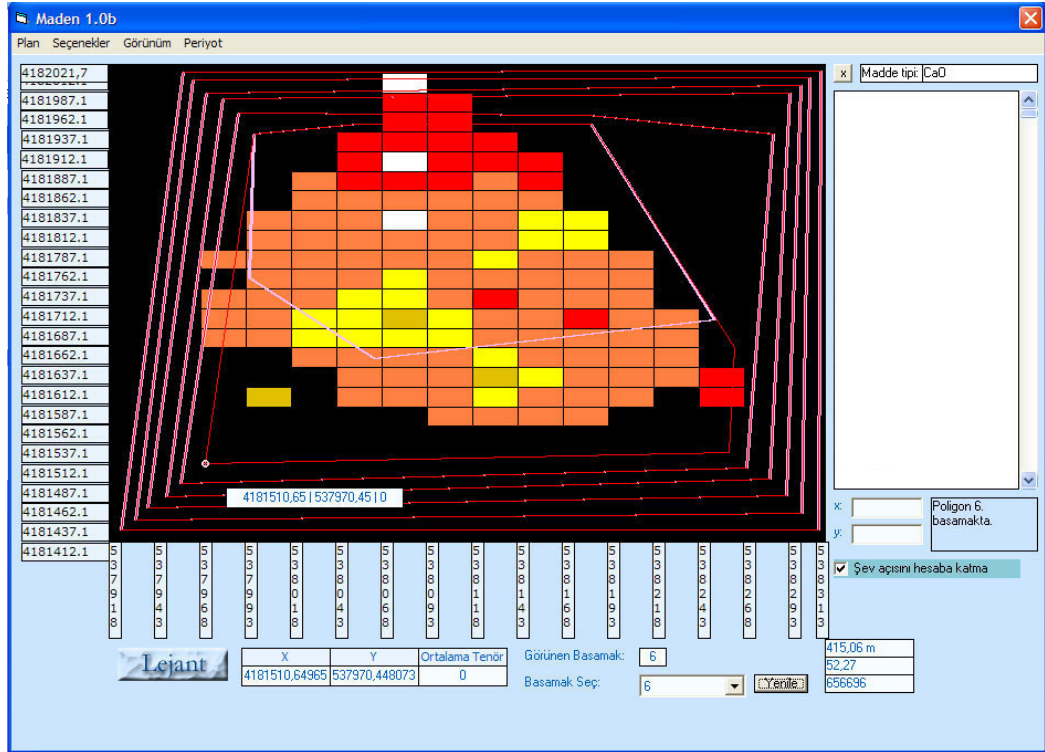
Dördüncü yılda ikişer aylık üretim planlamaları yapılarak toplam 1.250.765 ton malzeme üretilmiştir. Beşinci yıldaki üretim planlaması yine bir yıllık olarak yapılmıştır. Öncelikle beşinci yıl üretim planlaması için 415 basamağında kalan malzemenin üretim planlaması yapılmıştır. Dördüncü yılın son iki aylık periyot döneminden itibaren programın tekrar “sonraki periyot” penceresi tıklanarak program çalıştırılmıştır. Bu ana kadar olan bilgiler kayıt altına alınmıştır. Beşinci yılda 415 basamağında kalan malzemenin üretilmesi amacıyla en son periyotta kalan kalın çizgili poligon alanının köşelerinden genişletme yapılarak yeni poligon alanı oluşturulmuştur. Belirlenen bu poligon alanından üretilcek malzemenin ortalama % MgO içeriği 2,05, %SiO₂ içeriği 1,65 ve % CaO içeriği de 52,27’ dir. Bu kalite değerleri kabul edilebilir değerler arasındadır. Bu poligondan üretilcek malzeme miktarı da 656.696 ton dur. Beşinci yılda bu poligondan üretilcek malzeme miktarı, MgO, SiO₂ ve CaO içeriğine bağlı kalite dağılım blok model program görüntüleri Şekil 8.40, Şekil 8.41 ve Şekil 8.42’de verilmiştir.



Şekil 8.40 Beşinci yılda altıncı poligondan üretilcek malzeme miktarını ve MgO kalite dağılımını gösterir program görüntüsü

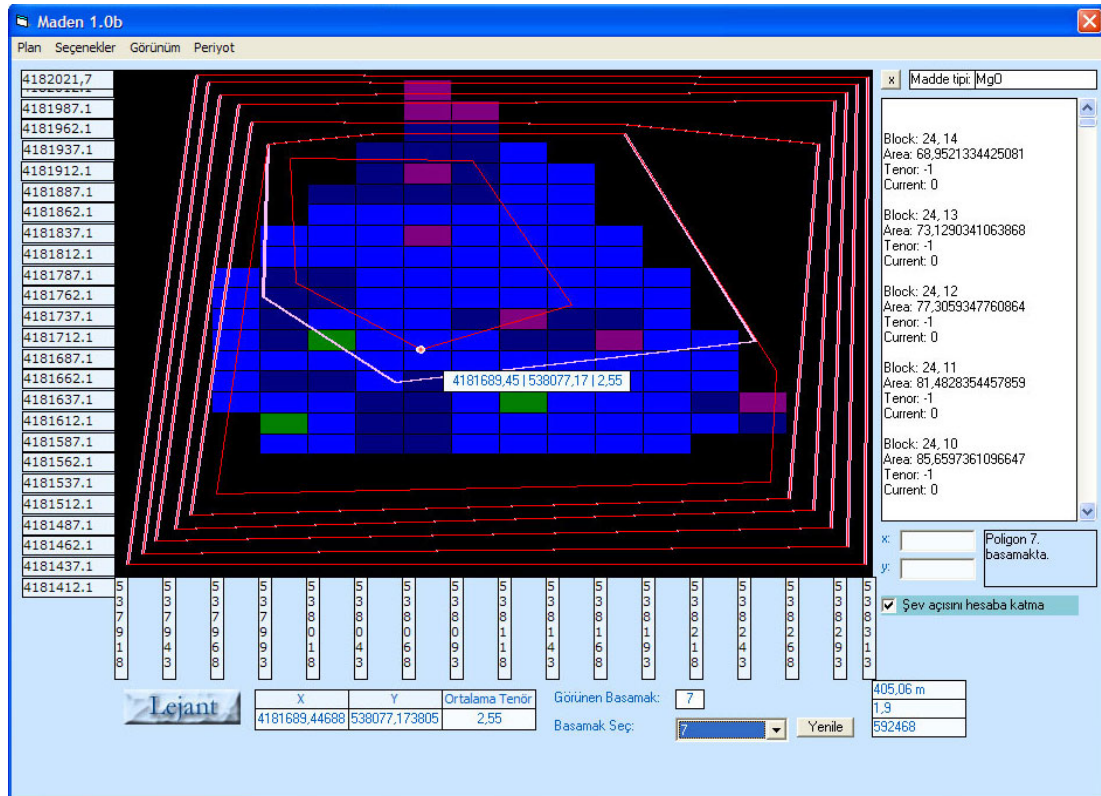


Şekil 8.41 Beşinci yılda altıncı poligondan üretilecek malzeme miktarını ve SiO₂ kalite dağılımını gösterir program görüntüsü

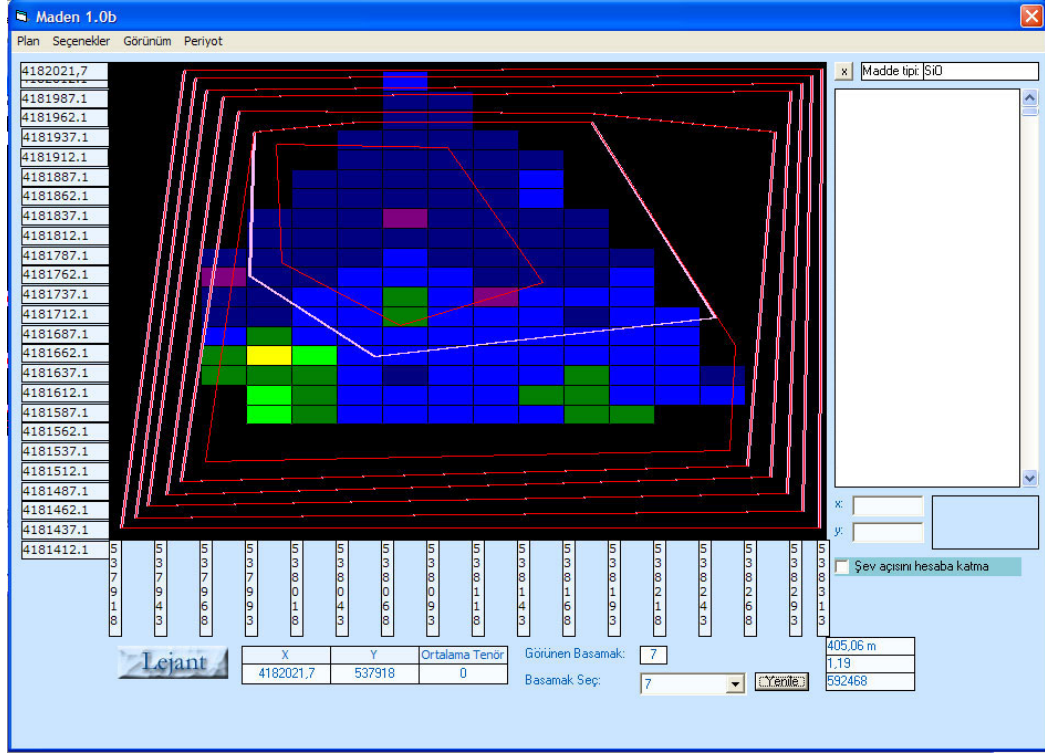


Şekil 8.42 Beşinci yılda altıncı poligondan üretilecek malzeme miktarını ve CaO kalite dağılımını gösterir program görüntüsü

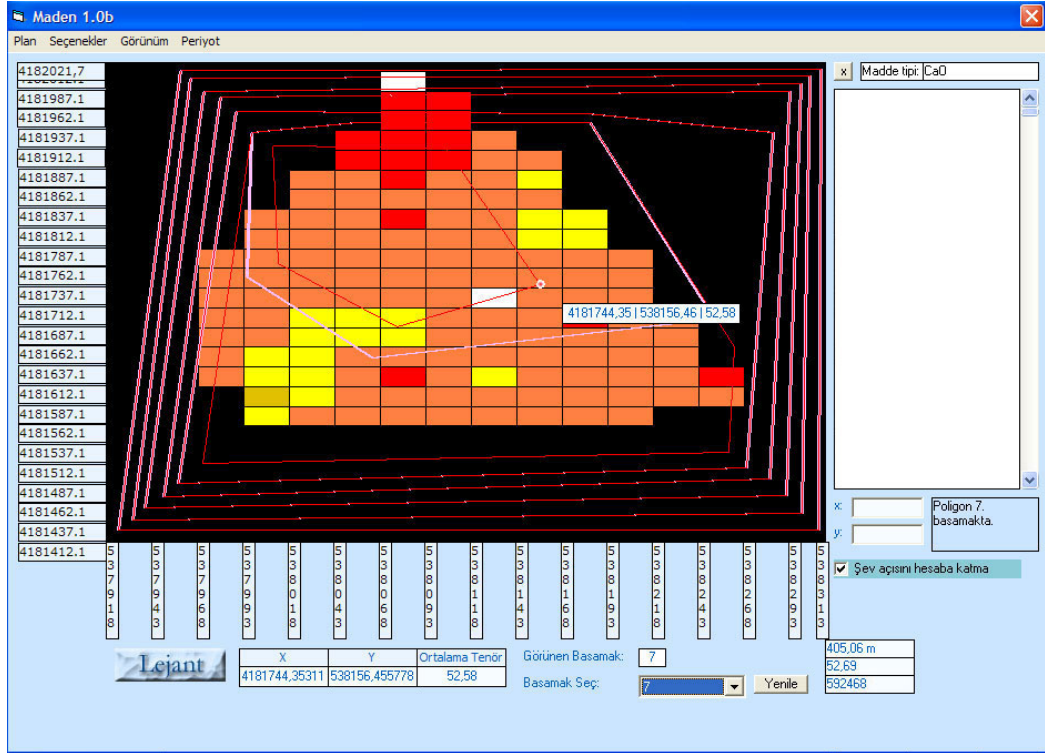
Beşinci yılda yapılacak toplam 1.250.000 ton üretimin 656.696 tonu altınca poligon alanından yapılmış olup geri kalan 592.404 ton malzemenin de bir alt kademedan üretilmesi gerekmektedir. Bundan dolayı, 405 basamağında geri kalan yıllık üretimi karşılayacak kadar bir yedinci poligon alanı belirlenmiştir. Yedinci poligon alanından üretilbilecek malzeme miktarı 592.468 tondur. Yedinci poligondan üretilcek malzemenin % MgO içeriği 1,90, %SiO₂ içeriği 1,19 ve % CaO içeriği de 52,69 dur. Yedinci poligon alanı belirlenirken sadece ihtiyaç duyulan üretim miktarını karşılayacak bir alan belirlenmiştir. Fakat poligon alanı çizilirken eksik kalan 592.404 ton malzeme miktarının tam olarak belirlenmesi zor olduğu için seçilen alandan 592.468 ton malzeme üretilcektir. Beşinci yılda yedinci poligondan üretilcek malzeme miktarı, MgO, SiO₂ ve CaO içeriğine bağlı kalite dağılım blok model program görüntüleri Şekil 8.43, Şekil 8.44 ve Şekil 8.45’de verilmiştir.



Şekil 8.43 Beşinci yılda yedinci poligondan üretilcek malzeme miktarını ve MgO kalite dağılımını gösterir program görüntüsü

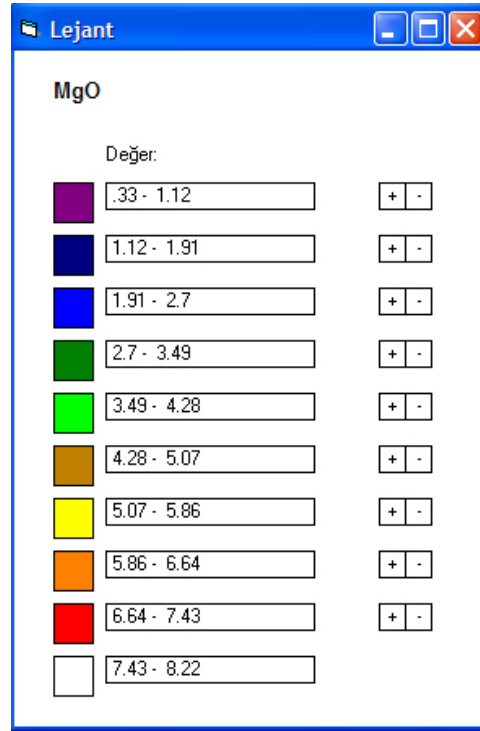


Şekil 8.44 Beşinci yılda yedinci poligondan üretilcek malzeme miktarını ve SiO₂ kalite dağılımını gösterir program görüntüsü

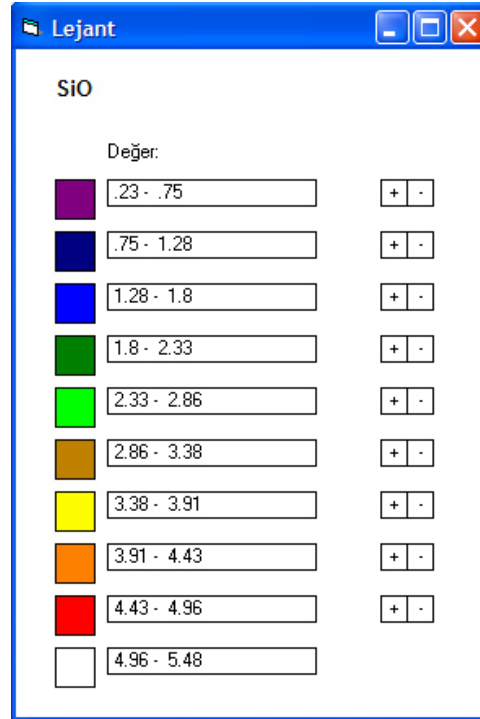


Şekil 8.45 Beşinci yılda yedinci poligondan üretilcek malzeme miktarını ve CaO kalite dağılımını gösterir program görüntüsü

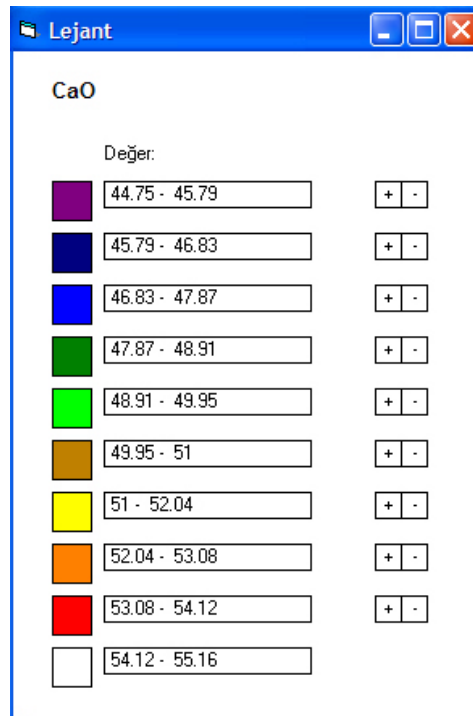
Üretim planlaması aşamasında sahanın üç değişik madde tipi için blok modellemesi yapılırken tüm bloklar belirli renklerde görünmektedir. Programdan “Lejant” menüsü tıklandığında görünen renk dağılımları seçilen madde tipinin hangi oranlara denk geldiğini göstermektedir. Bu görüntüde on ayrı renk sınıflandırması vardır ve her renk belirli değerler arasındaki madde tipinin dağılımını göstermektedir. Cankurtaran kalker sahasında MgO, SiO₂ ve CaO değerlerine göre yapılan üretim planlamasına ait kalite dağılım renk sınıflandırması her madde tipi için program tarafından belirlenmiştir. MgO’a ait renk sınıflandırmasının bilgisayar görüntüsü Şekil 8.46’da SiO₂ ‘ye ait renk sınıflandırmasının bilgisayar görüntüsü Şekil 8.47’de CaO’a ait renk sınıflandırmasının bilgisayar görüntüsü Şekil 8.48’de verilmiştir.



Şekil 8.46 MgO’a ait renk sınıflandırmasının bilgisayar görüntüsü



Şekil 8.47 SiO₂'ye ait renk sınıflandırmasının bilgisayar görüntüsü



Şekil 8.48 CaO'a ait renk sınıflandırmasının bilgisayar görüntüsü

8.2.6 Kısa Dönem Üretim Planlarının Değerlendirilmesi

İlk beş yılı kapsayan 2011 yılına kadar yapılan üretim planlarına göre Cankurtaran kalker sahasından ortalama %2,05 MgO, %1,21 SiO₂ ve % 52,50 CaO içerikli 6.250.064 ton kalker üretimi yapılacaktır. Kısa dönem üretim planı içerisinde sahadan dekapaj kazısı gerçekleştirilmeyecektir. Çünkü bu dönemde, üretim yapılacak alanlardaki MgO, SiO₂ ve CaO değerleri tespit edilen sınır değerlerini aşmamaktadır. Fakat orta dönem üretim planlamasına geçileceği durumda dekapaj yapılacak alanlar bulunmaktadır. Bunu da program ile daha alt kotlara inildikçe sınır değerlerinin üzerinde üretim alanları bulunmaktadır. Cankurtaran kalker sahasında kısa dönem üretim planlarına ait poligon numaralarını, basamak kotlarını, üretilen malzeme miktarlarını %MgO, %SiO₂ ve % CaO kalite içeriklerinin yıllara göre dağılımlarını gösterir Tablo 8.3, Tablo 8.4, Tablo 8.5, Tablo 8.6 ve Tablo 8.7 de aşağıda verilmiştir

Tablo 8.3 Cankurtaran kalker sahası birinci yıl kısa dönem üretim değerleri

Poligon No	Basamak Kotu (m)	Üretilen Malzeme Miktarı (ton)	Dekapaj m ³	%MgO İçeriği	%SiO ₂ İçeriği	% CaO İçeriği
1	465	49.688	-	1,12	1,25	53,64
2	455	215.312	-	2,06	1,04	52,64
3	445	819.842	-	1,97	1,01	52,70
4	435	165.158	-	2,13	1,10	52,47
Toplam		1.250.000				

Tablo 8.4 Cankurtaran kalker sahası ikinci yıl kısa dönem üretim değerleri

Poligon No	Basamak Kotu (m)	Üretilen Malzeme Miktarı (ton)	Dekapaj m ³	%MgO İçeriği	%SiO ₂ İçeriği	% CaO İçeriği
4	435	968.358	-	2,13	1,10	52,47
5	425	281.642	-	2,16	1,27	52,35
Toplam		1.250.000				

Tablo 8.5 Cankurtaran kalker sahası üçüncü yıl kısa dönem üretim değerleri

Poligon No	Basamak Kotu (m)	Üretilecek Malzeme Miktarı (ton)	Dekapaj m ³	%MgO İçeriği	%SiO ₂ İçeriği	% CaO İçeriği
5	425	1.223.127	-	2,16	1,27	52,35
6	415	27.008	-	1,50	0,87	53,31
Toplam		1.250.135				

Tablo 8.6 Cankurtaran kalker sahası dördüncü yıldaki ikiye aylık kısa dönem üretim değerleri

Poligon No	Basamak Kotu (m)	Periyot Dönemi	Üretilecek Malzeme Miktarı ton	Dekapaj m ³	%MgO İçeriği	%SiO ₂ İçeriği	% CaO İçeriği
6	415	Dördüncü Yıl İlk İki Ay	208.960	-	1,63	1,02	53,13
6	415	Dördüncü Yıl İkinci İki Ay	208.490	-	1,93	1,16	52,65
6	415	Dördüncü Yıl Üçüncü İki Ay	207.536	-	2,00	1,12	52,66
6	415	Dördüncü Yıl Dördüncü İki Ay	208.403	-	2,24	1,09	52,46
6	415	Dördüncü Yıl Beşinci İki Ay	208.420	-	2,30	1,31	52,17
6	415	Dördüncü Yıl Altıncı İki Ay	208.956	-	2,14	1,44	52,24
Toplam			1.250.765				

Tablo 8.7 Cankurtaran kalker sahası beşinci yıl kısa dönem üretim değerleri

Poligon No	Basamak Kotu (m)	Üretilecek Malzeme Miktarı (ton)	Dekapaj m ³	%MgO İçeriği	%SiO ₂ İçeriği	% CaO İçeriği
6	415	656.696	-	2,05	1,65	52,27
7	405	592.468	-	1,90	1,19	52,69
Toplam		1.249.164				

Ayrıca tablo 8.8’de de üretim planlaması yapılan sahada poligonlardan üretilen toplam malzeme miktarları ve bu poligonlardaki MgO, SiO₂ ve CaO içeriklerinin kalite değerleri de verilmiştir.

Tablo 8.8 Kısa dönem üretim planlamasında üretim yapılacak poligonları, bu poligonlardaki malzeme miktarları ve kalite içerikleri dağılımları

Poligon No	Üretim Yapılacak Yıllar	Basamak Kotu (m)	Üretilen Malzeme Miktarı (ton)	Dekapaj m ³	%MgO İçeriği	%SiO ₂ İçeriği	%CaO İçeriği
1. Poligon	Birinci Yıl	465	49.688	-	1,12	1,25	53,64
2. Poligon	Birinci Yıl	455	215.312	-	2,06	1,04	52,64
3. Poligon	Birinci Yıl	445	819.842	-	1,97	1,01	52,70
4. Poligon	Birinci Yıl	435	165.158	-	2,13	1,10	52,47
	İkinci Yıl		968.358	-			
5. Poligon	İkinci Yıl	425	281.642	-	2,16	1,27	52,35
	Üçüncü Yıl		1.223.127	-			
6. Poligon	Üçüncü Yıl	415	27.008	-	1,50	0,87	53,31
	Dördüncü Yıl İlk İki Ay		208.960	-	1,63	1,02	53,13
	Dördüncü Yıl İkinci İki Ay		208.490	-	1,93	1,16	52,65
	Dördüncü Yıl Üçüncü İki Ay		207.536	-	2,00	1,12	52,66
	Dördüncü Yıl Dördüncü İki Ay		208.403	-	2,24	1,09	52,46
	Dördüncü Yıl Beşinci İki Ay		208.420	-	2,30	1,31	52,17
	Dördüncü Yıl Altıncı İki Ay		208.956	-	2,14	1,44	52,24
	Beşinci Yıl		656.696	-	2,05	1,65	52,27
7. Poligon	Beşinci Yıl	405	592.468	-	1,90	1,19	52,69
Toplam			6.250.064	-			

Yukarıdaki tabloda verilen poligon alanı içerisindeki her bloğun ortalama kalite değeri ve o bloktaki malzeme miktarı program tarafından hesaplanmıştır. Her bloğun kalite değeri ile o bloğun malzeme miktarı çarpılarak hesaplanan değer poligon içerisindeki tüm blokların oluşturduğu toplam malzeme miktarına bölünmektedir. Hesaplanan bu değer seçilen poligon alanının ağırlıklı ortalama kalite değerini vermektedir.

BÖLÜM DOKUZ

SONUÇ

Üretim planlaması, tüm açık işletme madenciliğinde olduğu gibi, çimento sanayinde de sağlanması gereken hammadde kriterlerinin çokluğundan dolayı oldukça önemlidir. Bu yüzden de farklı yapılarıdaki çimento hammaddelerinin üretim bölgelerinde harmanlanması amacıyla sondaj verilerinden yararlanılarak otomatik bir üretim planı gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada genel bir planlama stratejisi geliştirilerek Söke Çimento fabrikasına ait Cankurtaran kalker sahasından elde edilen verilere uyarlanmıştır.

Projede ilk olarak üretim planlaması ortaya konulduktan sonra problemin çözümünde kullanılacak üç boyutlu bilgisayar programı hazırlanmıştır. Program Visual Basic programlama dili kullanılarak yazılmıştır. Üretim planlaması için yazılan bilgisayar programı ile blok modeli üzerine inşa edilmiş olan açık işletme sınırı içerisindeki blokların hangi zaman dilim içerisinde üretilmesinin gerekliliği belirlenmiştir. Bu program, kullanıcıya çok kısa süre içerisinde üretim yapılacak yerin özellikleri hakkında bilgiler sunduğundan dolayı oldukça büyük avantaja sahiptir.

Yazılan bilgisayar programında blok model oluşturmak için mesafelerin tersi yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem bir blok veya orta noktaya, onu çevreleyen noktalara olan uzaklıkların tersi oranında ağırlıklı olarak uzaklığın tersinin karesi oranında değer atama esasına dayandığından kullanılmıştır. Bunun yanında tahmin yöntemleri içinde en iyilerden birisi olarak tanımlanan jeostatistik yöntemi, hem kullanım zorluğu ve hem de konunun uzmanı olmayan ellerde hatalı sonuçlara yol açabileceği için, insan faktörünü minimum kılan mesafelerin tersi yöntemi programda kullanılmıştır. Çoğu durumda jeostatistik yöntemine yaklaşık sonuç veren bu yöntemin en büyük kolaylığı kullanımındaki pratikliktir.

Yazılan bilgisayar programı ile incelenecek olan bir değişkenin, mesafelerin tersi yöntemiyle projede anlatılmış olan tüm parametrelerin değişik kombinasyonları kullanılarak en az mutlak hata veren bir model geliştirilmiştir. Bu model

saptandıktan sonra, maden yatağı uygun boyutlarda bloklara bölünerek her bir bloğun orta noktası bilinmeyen bölge olarak tanımlanıp, belirli bir değişken için tüm bloklar ortalama mutlak hata kavramına göre tahmin edilmiştir. Her bir veri sırası ile veri dosyasından çıkartılıp arazideki tüm veriler üç boyutlu olarak kullanılarak bu verinin değeri tahmin edilmektedir. Mutlak hata bu tahmin değeri ile verinin gerçek değeri arasındaki farkın mutlak değeridir. Bu işlem diğer tüm veriler içinde sırası ile yapılarak modelin uygunluğu tespit edilmiştir. En az mutlak hatayı veren m değeri ve elipsoidin A , B , C değerleri tespit edilmiştir. Sondaj noktalarının her noktasına karşılık gelen gerçek değerine karşılık program tarafından tahmin edilen değer de hesaplanmakta ve hesaplanan tahmin değerleri de veri dosyasına yazılmaktadır. Bu dosyada seçilen madde tipine göre tüm hesaplamalar yapılarak gerçek değerlere karşılık gelen tahmin değerlerinin grafiği çizdirilerek korelasyon katsayısı hesaplanabilmektedir.

Yazılan program ile üretim planlaması yaparken dışarıdan hiçbir müdahaleye gerek yoktur. Program kullanıcıya dosyadaki verilerin değerlendirilebilmesi amacıyla istatistiksel analiz yapabilme imkanı verdiği gibi tüm yapılan üretim planları da bir dosya adı altında kayıt altına alınabilmektedir. Bu da kullanicılara geriye dönük işlemleri takip etme imkanı vermektedir. Program kullanıcıya elipsoidi oluşturacak mesafeleri kendisinin girebilmesine imkan verdiği gibi, ikinci alternatif olarak da elipsoidi oluşturan en iyi A , B ve C değerlerini ve mesafelerin tersi yönteminde ağırlıklandırma katsayısı olan m değerini en az mutlak hata ile hesaplamaktadır. Bu ikinci seçenek kullanıcıya büyük kolaylık sağlamaktadır.

Program esas olarak arazinin interpolasyon teknikleri yardımı ile elde edilmiş blok yapısını temel alarak çalışmaktadır. Her bir blok eldeki mevcut tüm kalite değerlerini içerir. Blokların boyutları sabittir ve bölgeden bölgeye değişmez. İlk seviyeden başlamak üzere ekrana tüm bloklar ve bunların renklere ayrılmış olarak parametre içerikleri gelir. Her bir blok, mevcut parametre sayısı kadar eşit aralığa bölünmüştür ve bu planlamayı yapacak kullanıcıya fikir vermesi bakımından çok önemlidir.

Blok modelinin ekrana çizdirilebilmesi için bilgisayar ekranı piksel koordinatlarının maden yatağının uzaysal koordinat sistemine dönüştürülmüştür. Mouse tıklandığında bulunan koordinat poligonun köşe noktası olarak hafızaya alınır. Aynı işlem istenilen sıklıkla devam ettirilerek kapalı bir poligon meydana getirilir. Poligon köşeleri istenildiği kadar seçilebilir. Poligon kapatılacağı zaman mouse'un sağ tuşuna basılır. Daha fazla köşe sayısı ile daha esnek kenarlar oluşturulabilir. Köşe sayısı arttıkça poligon bir çok kenarlıdan çok bir eğri gibi ifade edilebilir. Bu da seçilecek alanın hassasiyetini arttırmaktadır. Poligon kapatıldığı gibi o poligonun ortalama madde miktarı ve ortalama tenörü program tarafından hesaplanır ve ekranda gösterilir. Çizilen bu çokgen içerisindeki tüm bloklar değerlendirilmeye alınarak, tam blokların tamamı, herhangi bir poligonunun kenarı ile kesilmiş bloklar ise kesildikleri oran nispetinde planlamaya etki ettirilir. Birinci periyot dönemi için yapılan üretim planlamasının sonunda seçilen en uygun poligon alanları içerisindeki cevherin üretimi gerçekleştirildikten sonra veya uygun şev açısı sağlanamadığı durumlarda daha alt seviyelerde üretim yapılamama durumunda ikinci periyot dönemi için ve daha sonraki dönemler içinde üretim planlaması yapılması gerekmektedir. Birinci döneminde üretimi yapılan tüm alanların koordinatları, ortalama tenör değerleri ve toplam malzeme miktarı dosyada kayıt altına alınabilmektedir. Program kullanıcıya ikinci periyot dönemi için ve sonraki dönemler içinde üretim planı yapma imkanını vermektedir.

Yazılan bilgisayar programı ile Söke Çimento'ya ait Cankurtaran kalker sahasına ait sondaj verileri kullanılarak klinker üretimine sınırlama getiren MgO , SiO_2 ve CaO içeriklerine göre modelleme yapılmıştır. Program tarafından her değişken için elipsoidin A, B, C ve ağırlıklandırma faktörü m'nin optimum değerleri ve bu optimum değerler için en küçük mutlak hatalar hesaplanmıştır. Her değişken içinde sondajın gerçek değeri ve tahmin edilen değeri arasındaki korelasyon katsayıları bulunmuştur. Elipsoidi oluşturan A, B ve C değerlerine ve en az mutlak hatayı veren m değerine göre Cankurtaran kalker sahasının modellemesi yapılmıştır.

Cankurtaran kalker sahasının üretim planlaması kısa vadeli olarak tek periyotta hazırlanmıştır. Kısa dönem üretim planlaması ilk beş yılın (2006-2011) üretimi göz önüne alınarak yıllık bazda hazırlanmıştır. Projede sadece kısa dönem üretim

planlaması verilmiştir. Orta ve uzun dönem üretim planlaması bu proje kapsamında yapılmamıştır. Kısa dönem üretim planlamasındaki amaç, yazılan bilgisayar programının gerçek verileri belirli olan bir maden sahasında uygulanarak kullanılabilirliğini göstermektir.

Kısa dönem üretim planı Batı Söke Çimento Fabrikası'nın 1.000.000 ton/yıl ve hazır beton tesisinin ise 250.000 ton/yıl olan kalker ihtiyacını karşılayacak şekilde hazırlanmıştır. 5 yıllık dönem içerisinde kalker sahasının 465 ve 405 kotları arasında malzeme üretimi gerçekleştirilecektir. 5 yıllık üretim dönemi içerisinde oluşturulan poligonlar ile ilk beş yılı kapsayan üretim planlarına göre Cankurtaran kalker sahasından ortalama % 2,05 MgO , %1,21 SiO₂ ve % 52,50 CaO içerikli 6.250.064 ton kalker kazısı yapılacaktır.

Doktora projesinde, farklı kimyasal yapıya sahip hammaddelerin kullanıldığı bir proseste, üretimin devamlılığını sağlamak amacı ile işletme ömrü boyunca hammadde kullanımının optimizasyonunu gerçekleştirecek bir algoritma ve bilgisayar programı üretilmiştir

KAYNAKLAR

- Barnes, M.P. (1979). *Mineral inventory vs. production planning*. New York : AIME.
- Barnes, R.J., & Johnson, T.B. (1982). *Bounding techniques for the ultimate pit limit problem*. New York : AIME.
- Braticevic, D.B.(1984), *Open pit optimization method*. London: IMM.
- Brown, A.W., Bye, G.C. (1989). *Portland çimentosunun yapısı ve kimyası*. Çimento Teknolojisi ,1, (3-4). Ankara; Çimento ve Yan Mamulleri Sanayii Holding A. Ş.
- Caccetta, I., & Giannini, L.M. (1985). *On bounding techniques for the optimum pit limit problem*. Melbourne: Australasia. Ins. Min. Metall.
- Caccetta, L.& Giannini, L.M.(1986). *Optimization techniques for the open pit problem*. New York: AIME.
- Chen, T. (1976). *3D pit design with variable wall slope capabilities*. New York: AIME.
- Chen, T.(1976). *3D pit design with variable wall slope capabilities*. New York: AIME.
- Coleov,T. (1989). *Technical parameterization of reserves for open pit design and mine planning*. Colorado: AIME.
- Couzens, T.R. (1979). *Aspects of production planning: Operating layout and phase plans*. J.T. Crawford, W.A.Hustrulid, (Ed.). Open pit mine planning and design (219-231). Baltimore: The United States Of America By Port City Pres.
- David, M. (1974) *Geostatistical ore reserve estimation*. Canada: Ecole Polytechnique de Montreal, PQ.

- David, M., Dowd, P.A., & Korobov, S.(1974). *Forecasting departure from planning in open pit design and grade control*. Colo: Colorado School of Mines.
- Dowd, P.A., & David, M.(1976). *Planning from estimates: sensitivity of mine production schedules to estimation methods*. Dordrecht: Reidel Pub.Co.
- Duda, W.H. (1985). *Cement Data Book (3 rd ed.)*. Berlin : Bauverlay.
- Fytas, K., Pelley, C. & Calder, C. (1987). *Optimization of open pit short and long range production scheduling*. CIM BULL, 80, 55-61.
- Gershon, M.E.(1987). *An open pit production scheduler: Algorithm and Implementation*, Mining Engineering, 39, 793-796.
- Giannini, L.(1991). *A new high speed network flow technique for optimum pit design facilitating rapid sensitivity analysis*. Colorado: AIME.
- Hughes, W.W., & Davey, R.K. (1979). *Drill whole interpolation: Mineralized iInterpolation techniques*. J.T. Crawford, W.A. Hustrulid, (Ed.). Open pit mine planning and design (67-80). Baltimore: The United States of America by Port City Pres.
- Huttagosol, P., & Cameron, R.E. (1992). *Modified-tree graph algorithms for ultimate pit limit analysis*. Las Vegas : AIME.
- Johnson, T.B. (1973). *A comperative study of methods for defers mining ultimate open pit mining limits*. Arizona: University of Arizona.
- Journel, A.G., & Huijbregts, Ch.J. (1991). *Structural analysis mining geostatistics*. London: Academic Press.
- Kim, Y.C.(1978). *Ultimate pit limit design methodologies using computer models*.

- Koenigsberg, E. (1982). *The optimum contours of an open pit mine: An application of dynamic programming*. New York: AIME.
- Köse, H., Yalçın, E., Şimşir, F., Konak, G., Onargan, T. ve Kızıl, M.S.(2002) *Açık işletme tekniği* (2. Baskı). İzmir: DEÜ Mühendislik Fakültesi Basım Ünitesi.
- Lipkewich, M.P., & Borgman, L.(1969). *Two- and three-dimensional pit design optimization techniques*. New York : AIME
- Onur, A.H. ve Dowd, P.A.(1993). *Open pit optimization Part 1: Optimal Open Pit Design*. London: Paper published in Trans. Instn. Min. Metall.
- Onur, A.H. ve Kumral, M. (1997). *Açık işletmelerde kısa ve orta dönem üretim planlamasında yeni bir yaklaşım*. Madencilik, 36,4-10.
- Onur, A.H.(1994). *Mesafenin tersi yönteminin tanıtımı ve bilgisayara uyarlanması*. Adana: Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Yayınevi.
- Onur, D.H., Konak, G., Karakuş, D. ve Mallı, T. (2003). *Batisöke T.A.Ş. cankurtaran kalker sahası kalite değerlendirmesi ve üretim planlaması*. İzmir.
- Oran, S. (2002). *Batisöke A.Ş. söke dolayı kalker hammaddesi araştırma raporu*. Doğaner Madencilik.
- Öney, N.(1999). *Çimento işletmeciliği el kitabı*. Bolu: Kemal Matbaacılık Ltd. Şti.
- Pana, M.T.(1965). *The simulation approach to open pit design*. Arizona: University of Arizona.
- Peray, E.K.(1979). *Cement manufacturer's handbook*.
- Perçin, M.(1984). *Çimento üretiminde kullanılan hammaddeler*. Ankara: Türkiye Çimento Sanayi T.A.Ş.

- Robinson, R.H., & Prenn, N.B. (1973). *An optimum pit design model*. South Africa: SAIMM.
- Royle, A.G.(1971). *A practical introduction to geostatistics*. England: Dept. Of Mining and Mineral Science.
- Rychkun, E.A., & Chen, T.(1979). *Open pit mine feasibility method and application at placer development*. New York: AIME.
- Stuart, N.J. (1992). *Pit optimization using solid modeling and the Lerchs-Grossman Algorithm*.
- Surpac Minex Group, 2006, 22,05,2006, www.surpac.com/Quarry
- Ural, S. (1999). *Afşin-elbistan linyitlerinin sınıflandırılarak termik santralin performansı üzerindeki etkilerinin araştırılması*.
- Ural, S., Onur, A.H., Anıl, M., Bayat, O. ve Yıldırım, M.(1998). *Kömür Üretiminde Kalite Kontrolü*. O.Kural, (Ed.) *Kömür Özellikleri Ve Çevre İlişkisi* (669-685). İstanbul: Özgün Ofset Matbaacılık A.Ş.
- Whittle, J. (1989). *The facts and fallacies of open pit optimization*. Australia: Whittle Programming Pty. Ltd.
- Wilke, F.L., Mueller, K., & Wright, E.A.(1984). *Ultimate pit limit and production scheduling optimization*. London: IMM
- Wright, E.A.(1984). *The use of dynamic programming for open pit mine design: Some Practical Implications*.

Wright, E.A.(1989). *Dynamic programming in open pit mining sequeerce planning a case study*. 21st Symposium on Application of Computers and Operations Research in the Mineral Industry, 415-422.

Zhao, Y.,& Kim, Y.C.(1990). *A new graph theory algorithm for optimal ultimate pit design*. Utah, USA: SME Annual Meeting.

Zhao, Y.,& Kim, Y.C.(1992). *A new optimum pit limit design algorithm*. Colorado: AIME.