

**AÇIK İŞLETMELERDE KISA VE ORTA DÖNEM ÜRETİM
PLANLAMASINDA YENİ BİR YAKLAŞIM****A New Approach To Short And Medium Term Production Planning In Open Pit
Mines**

Mustafa Kumral (*)

A. Hakan Onur***

Anahtar Sözcükler : Üretim Planlaması, Açık İşletme Dizayını, Hammadde Kontrolü,
Harmanlama**ÖZET**

Açık işletmelerin 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. Bu çalışmada, Adana Çimento hammadde ocağı için kısa ve orta vadede istenilen planlamayı yapabilmek için FORTRAN dili kullanılarak yazılmış bir bilgisayar programı tanıtılmaktadır. Tanıtımı yapılan yöntem bir optimizasyon yöntemi değildir. Kullanıcıya mümkün olduğu kadar fazla sayıda alternatifi deneyip içlerinden en iyisini seçme prensibine dayanır. Yöntem ve bu yöntem ile ilgili bir uygulama bu makalede verilmiştir.

ABSTRACT

In the short, medium and long term open pit production planning, the quality and quantity requirements in week, month or year time period must be provided. In this study, a computer program that gives a simple tool to provide production planning for Adana Cement Factory is introduced. The method introduced in this paper is not an optimisation method. The purpose of the method is to provide many solutions to choose from. An application of the method with a case study is given later in this study.

* Araş. Gör., İnönü Üniversitesi, Maden Müh. Böl., Malatya

**^Doç. Dr., Çukurova Üniversitesi, Maden Müh. Böl., 01330 Balcalı, Adana

1. GİRİŞ

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 üretilceğinin belirlendiği üretim planlamasını içerir. Üretim planlaması iki bakımdan önemlidir. Birincisi, "paranın bugünkü 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. İkincisi 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 göstermiş ve tanıtımı yapılan çalışma gerçekleştirilmiştir.

2. GELİŞTİRİLEN BİLGİSAYAR PROGRAMININ TANITIMI

2.1. Genel Bilgiler

Bu çalışma 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 değildir. 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.

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 jeostatistik, mesafelerle ağırlıklandırma gibi interpolasyon teknikleri kullanılarak üç boyutlu modelleme yapılır. Üretim planlamasının doğruluğu, yapılan bu modellemenin hassasiyeti ile doğru orantılı olarak artar. Blok modellemesinde mevcut tüm parametrelerin atandığı sabit boyutlu bloklar üretim planlaması için kullanılmaktadır. Programın çalıştırılması ile birinci basamaktaki tüm bloklar ve bunların atanmış tenor değerleri farklı renklerde olmak sureti ile ekrana yansır. İşletmeye ilk basamaktan başlanacağı, diğer bir deyişle, ikinci^N basamağı işleyebilmek için

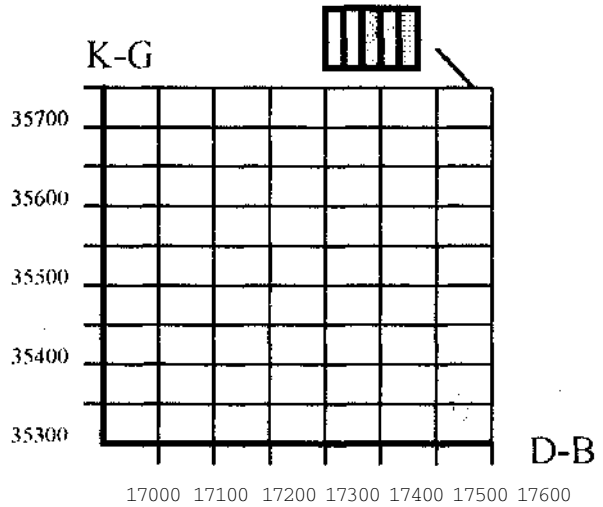
birinci basamağın üretilmiş olması açıktır. Ekrandaki istenilen bölgeye, kullanım kolaylığının sağlanması bakımından *mouse* ile tıklayarak, daha önceden köşe sayısı verilen ve istenildiği sayıda köşeden meydana gelen bir çokgen çizilir. Çizilen bu çokgen içerisindeki tüm bloklar değerlendirilmeye alınarak, tam blokların tamamı, herhangi bir poligonun kenarı ile kesilmiş bloklar ise kesildikleri oran nispetinde planlamaya etki ettirilir

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. 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. Eğer bu değerler kullanıcıyı tatmin etmiyor ise hemen programın başına dönerek istenilen aşamadaki poligon sınırları değiştirilerek sonuçlar bir dosyaya yazılırlar. Böylece çok esnek olarak istenilen bölgeler arttırılabilir veya azaltılabilir. Bir sonraki planlama aşamasında, önceden üretimi yapıldığı varsayılan poligonlar içerisinde kalan kısımlar çıkartılarak planlamaya devam edilir. Bu işlemleri kısa vadede planlamaya gereksinim duyulduğunda tekrarlamak mümkündür. Diğer optimizasyon yöntemlerinde olduğu gibi bütün bir ocağı bir defada planlamak yerine, üretim başladıktan sonra her bir üretim periyodu için (ay, hafta veya gün) ocağın ilerleme yönü hakkında, malzemenin kalitesine bağlı olarak karar verilebilir.

2.2. Poligonların Oluşturulması

Daha önceden de bahsedildiği gibi program esas olarak arazinin interpolasyon teknikleri vardımı ile elde edilmiş blok yapısını temel

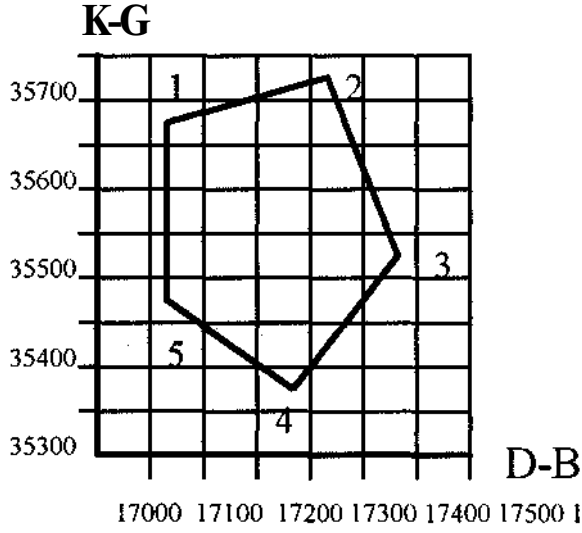
olarak çalışır. Her bir blok, eldeki mevcut tüm kalite değerlerini içerir. Blokların boyutları sabittir ve bölgeden bölgeye değişmez. İlk seviyeden başlamak üzere ekrana tüm bloklar ve bunların renklere ayrılmış olarak parametre içerikleri gelir. Her bir blok, mevcut parametre sayısı kadar eşit aralığa bölünmüştür ve bu, planlamayı yapacak kullanıcıya fikir vermesi, bakımından önemlidir (Şekil 1).



Şekil 1. n. Seviyedeki arazi blok modeli

Blok modelinin ekrana eizdirilebilmesi için bilgisayar ekranı piksel koordinatlarının, maden yatağının uzaysal koordinat sistemine dönüştürülmesi gerekir. Bu işlem basit bir dönüşüm formülü ile gerçekleştirilebilir. Bu aşamada *mouse* hareketi piksel bazında FORTRAN derleyici (Power Station) ile kontrol edilir ve ekranda bulunan blok modeli üzerinde *mouse* 'un hareketi, yine maden yatağının uzaysal konumuna çevrilerek gösteren bir eleman bulunmaktadır. Bunun sayesinde iki boyutlu uzayda maden yatağı üzerindeki konumu bulunabilir. *Mouse* tıkladığı anda bulunan koordinat, poligonun köşe noktası olarak hafızaya alınır. Aynı işlem istenilen sıklıkla devam ettirilerek kapalı bir poligon meydana getirilir (Şekil 2). Poligonların meydana getirilmeleri için öncelikle poligonun köşe sayısının girilmesi gerekir. 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 arttırır. Mouse, verilen köşe sayısı kadar tıklatılarak poligon kapatılır.



D-B

D-B

17000 17100 17200 17300 17400 17500

Şekil 2. Poligonun meydana getirilmesi

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 :

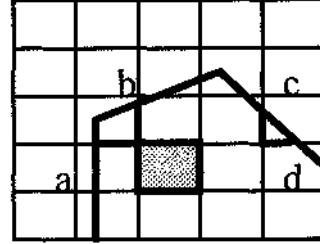
i) Poligon köşe noktasının herhangi bir bloğun içerisinde olma durumu (Şekil 2. 1, 2, 3, veya 5 nolu köşelerin durumu).

Böyle bir durumun meydana geldiği saptanırsa, öncelikle köşenin hangi blok içerisinde kaldığı bulunur. Blokların herbirini 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 3)

ii) Poligon kenarının bir bloğu kestiği iki noktanın saptanması.

Şekil 3'de c ve d ile gösterilen noktalar, basit doğru denklemlerinin kesişmesi formüllerinden belirlenerek yine poligon içerisinde kalan alan tesbit edilir.

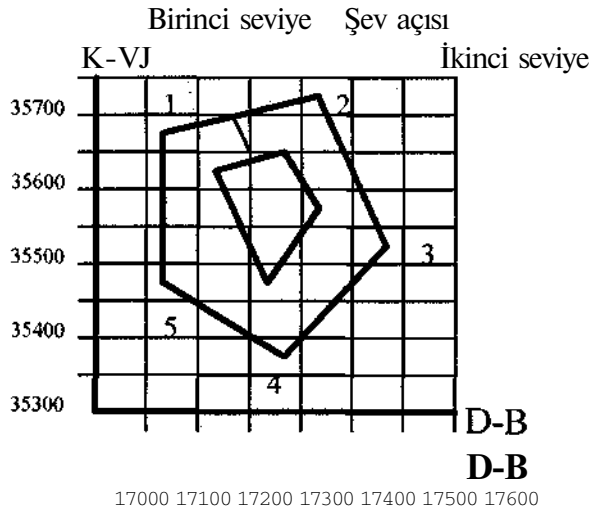
iii) Şekil 3'de, taralı olarak gösterilen ve poligonun hiçbir kenarı tarafından kesilmeyen, ancak tamamı poligon içerisinde kalan blok.



Şekil 3. Poligon ile ilgili üç durum

Bu blok hesaplamalarda bir bütün olarak göz önünde bulundurulur. İlk seviyedeki bölgenin seçiminden sonra dilerse ikinci aşamada aynı seviyeden ikinci bir planlama yapılabilir, dilerse aynı seviyede herhangi bir yönde ilerleme sağlanabilir. Bu aşamalarda hep bir önceki aşamada seçili bölgeler (poligonlar) ekranda gösterilir (Şekil 4).

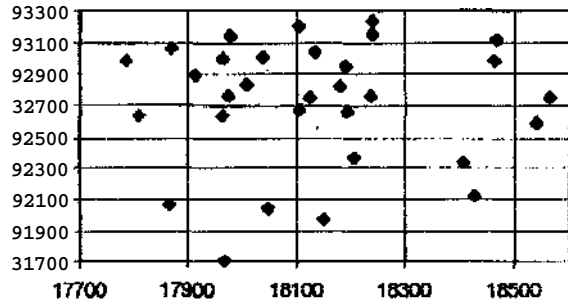
Eğer farklı seviyelerde bölge seçimi yapıyorsa, burada daha önce belirlenmiş olan sev açısının ihlal edilmemesi gereklidir. İki seviyenin yükseklikleri belli olduğu için trigonometrik olarak iki poligonun minimum ne kadar birbirine yaklaşabileceği bellidir. Bu değer altına inildiği zaman program bir uyarı vererek poligonun bu kenarının yeniden oluşturulması için kullanıcıyı uyarır. Program yeni verilerle istenildiği kadar çalıştırılarak her defasında farklı alternatif sonuçları değerlendirilebilir. Sonuçlarda, herbir aşamadaki poligon içerisinde kalan cevher rezervi, daha önceden belirlenip bloklara atanmış parametrelerin ortalamalarıdır. Bu değerler, poligon koordinatları ile birlikte dosyalarda saklanarak istenildiği anda, istenilen alternatife ulaşılabilir.



Şekil 4. Sonraki periyotların gelişimi

3. GELİŞTİRİLEN PROGRAMIN ADANA ÇİMENTO HAMMADDE OCAĞI İÇİN UYGULANMASI

Adana çimento fabrikasına hammadde sağlayan ve işletme ruhsatına sahip hammadde ocağında 1987-88 yıllarında 16, 1992 yılında 15 adet olmak üzere toplam 31 adet sondaj açılarak karotlar farklı seviyeler için kimyasal analize tabi tutularak saklanmıştır. Şekil 5 'de sahadaki sondaj lokasyonları gösterilmektedir.



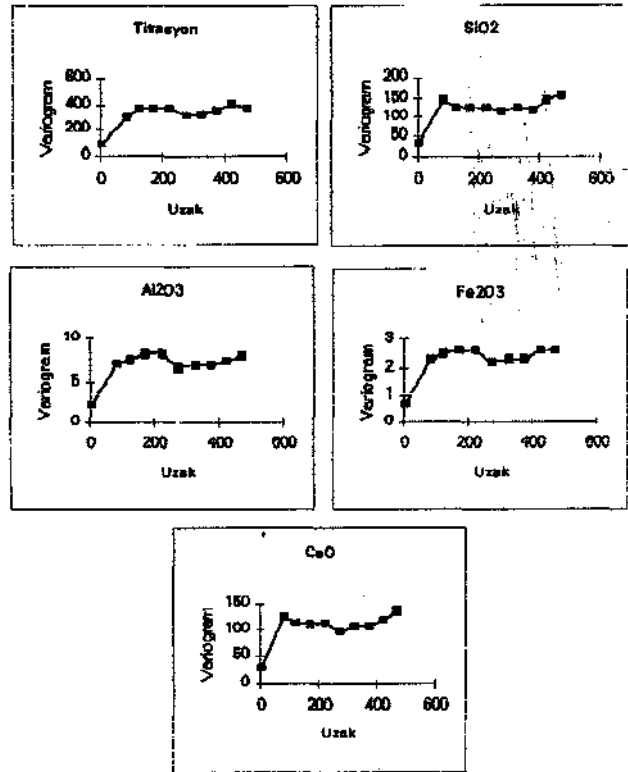
Şekil 5. Sahada yapılan sondaj lokasyonları

3.1. Arazinin Blok Modelinin Oluşturulması

Çalışmaya konu olan bölgenin üç boyutlu analizini yapabilmek için jeostatistik kullanılmıştır. Çalışılan farklı uzunluklardaki karotlar 2 m. uzunluğundaki eşit örneklere dönüştürülmüştür. Dönüştürme işlemi, bu iş için geliştirilen bir bilgisayar programı ile gerçekleştirilmiş ve eşit uzunluğa sahip 507 adet karot örneği jeostatistik kullanılarak değerlendirilerek kriging ile interpolate edilmiştir. Değerlendirme işlemi sonunda,

standart hatanın en az olduğu 50x50x5 m lık 4960 adet bloğa titrasyon, SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 ve CaO değerleri atanmıştır.

Hammadde yatağının tenor devamlılığında yönsel değişimlerin (anizotropi) ya da tenor devamlılığının kuvvetli olduğu yönlerin belirlenmesi amacı ile farklı yönlerde variogramlar çizilmiştir. Çizilen tüm variogramlarda etki uzunluğunun birbirine yakın olması, sahada anizotropi olmadığı sonucuna vermiştir. Modellemeye esas olan variogram parametreleri Şekil 6 ve Çizelge 1 'de verilmektedir.



Şekil 6. Farklı parametreler için elde edilen variogramlar.

Çizelge 1. Variogram Parametreleri ve Modelleri

Değişken	Yön (°)	Toi (°)	Külçe Etk. Co (m)	Eşik Değ. C(m)	Etki Mes. (m)
Titrasyon	0	90	80	270	130
SiO_2	0	90	30	95	130
Al_2O_3	0	90	2.1	5	130
Fe_2O_3	0	90	0.7	1.7	130
CaO	0	90	28	80	130

Modellemenin güvenilirliğini kontrol etmek için çapraz sına yapılmış, tüm değişkenler için korelasyon katsayıları 0.595 ile 0.644 arasında bulunmuştur. Korelasyon katsayılarının düşük olmasının nedeni, sondajların, bölgenin, Şekil 5 'de görüldüğü gibif kuzey yönünde yoğunlaşmış olması ve sondajlar içerisinde bazı kısımların kayıp olarak değerlerinin bilinmemesidir.

3.2. Üretim Planının Gerçekleştirilmesi

Çimento, başlıca silisyum, kalsiyum, alüminyum ve demir oksitleri içeren hammaddelerin sinterleşme derecelerine kadar pişirilmesi ile elde edilen yarı mamul madde klinkerin, tek veya daha fazla katkı maddesi katılarak öğütülmesi ile üretilen hidrolik bağlayıcı maddelere denir (DPT, 1992). Portland çimentonun bileşim elemanları ve yüzde değerler Çizelge 2'de verilmektedir.

Çizelge 2. Portland Çimento Bileşim Elemanları

Kimyasal Bileşim	%
CaO	60-64
SiO ₂	21-26
Al ₂ O ₃	2.5-6.5
Fe ₂ O ₃	1.5-4.5
MgO	2.5-3.0
SO ₃	1.5-2.5
Ateşleme Kaybı	1.10-1.30
Çözünmeyen Madde	0.02-0.03

Çimento yapımında kullanılacak hammaddelerin miktar ve oranlarını teorik olarak yapılan hesaplamalar ile saptamak için geliştirilmiş pratik formüller vardır. Çimento niteliğini belirleyen formüller ve sınırlar Çizelge 3' de verilmektedir (Czernin, 1962).

Çizelge 2 ve 3 'de de görüleceği üzere hammadde olarak ocaktan çıkartılan malzemenin belirli kalite değerlerinde olması veya bu kaliteyi sağlayabilmek için harmanlanması gerekmektedir. Hammadde ocağından bu kalite değerlerine yakın malzeme üretmek, ancak iyi bir üretim planlaması ile söz konusu olmaktadır. Bu parametrelerin tümünün birbirlerine etkilerini dikkate alacak

bir çalışma oldukça emek yoğun ve dikkat isteyen uğraşdır. Bu tip işlemlerin bilgisayarlar yardımı ile yapılması hata miktarını da azaltır.

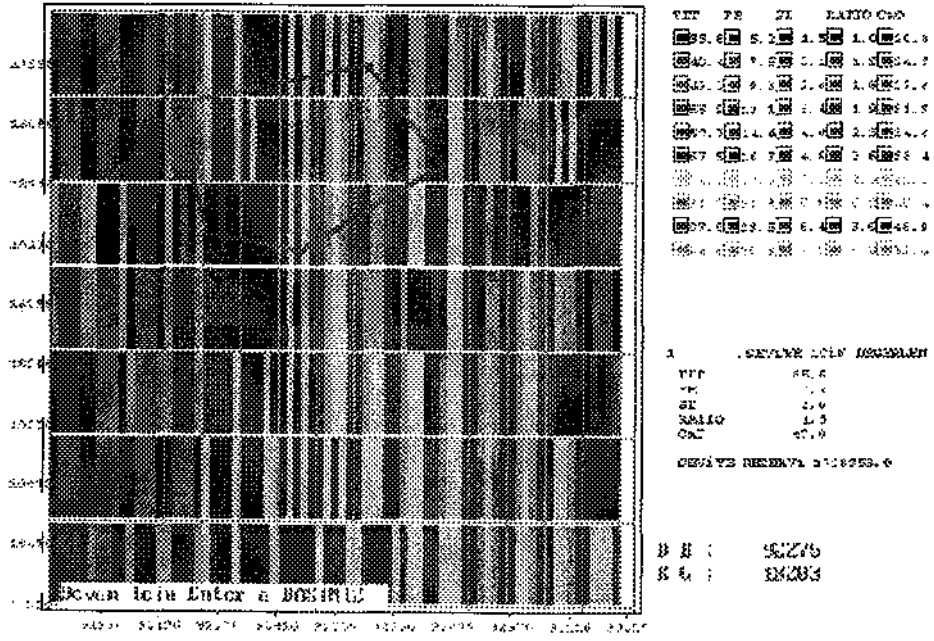
Çizelge 3. Çimento Niteliğini Belirleyen Formüller ve Sınırları (Czernin, 1962).

Modül Adı	Formülü	Sınırlar
Hidrolik Modül (HM)	CaO/(SiO ₂ + Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃)	1.7 - 2.2
Silis Oranı (SO)	SiO ₂ / (Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃)	2.4 - 2.7
Alümin Oranı (AO)	Al ₂ O ₃ / Fe ₂ O ₃	1.5 - 2.5
Kireç-Silis Oranı (KSO)	CaO/SiO ₂	2.5 - 3.0
Silis-Alüminyum Oranı (SAO)	SiO ₂ / Al ₂ O ₃	2.0 - 2.5
Kireç Doygunluk Faktörü (KDF)	CaO-0.7SO ₃ / (2.8 SiO ₂ + 1.2 Al ₂ O ₃ + 0.65Fe ₂ O ₃)	0.66 - 1.02

Aşağıda, örnek olması bakımından, üç değişik seviyedeki üretim miktarlarını gösterebilmek için üç değişik poligon seçilmiştir. Ekranda her bloktaki değişik parametreler (Tit, Fe, Si, Ratio ve CaO) farklı renklerle verilmiştir. Bu uygulamanın sonucu olarak elde edilen değerler Şekil 7, 8 ve 9 da verilmektedir. Sırası ile Şekil 7'de birinci basamak için seçilen ilk poligon tanımlanmış ve ekranda poligon alanı içerisinde kalan bloklardaki ortalama değişken parametreleri ile toplam seçili bölge içerisinde kalan alan verilmektedir. Şekil 8 ve 9 aynı şekilde ikinci ve üçüncü basamaklar için poligonların seçimi ile oluşturulmuş ancak bunlarda bir önceki basamaklar için oluşturulmuş olan poligonlar da ekrana getirilir. Ayrıca seçilen alternatif üretim planı içerisindeki hammaddenin üç seviye için kalite dağılım değerleri Çizelge 4 'te verilmektedir.

Çizelge 4. Seçilen Bölgedeki Hammadde Nitelik Tablosu

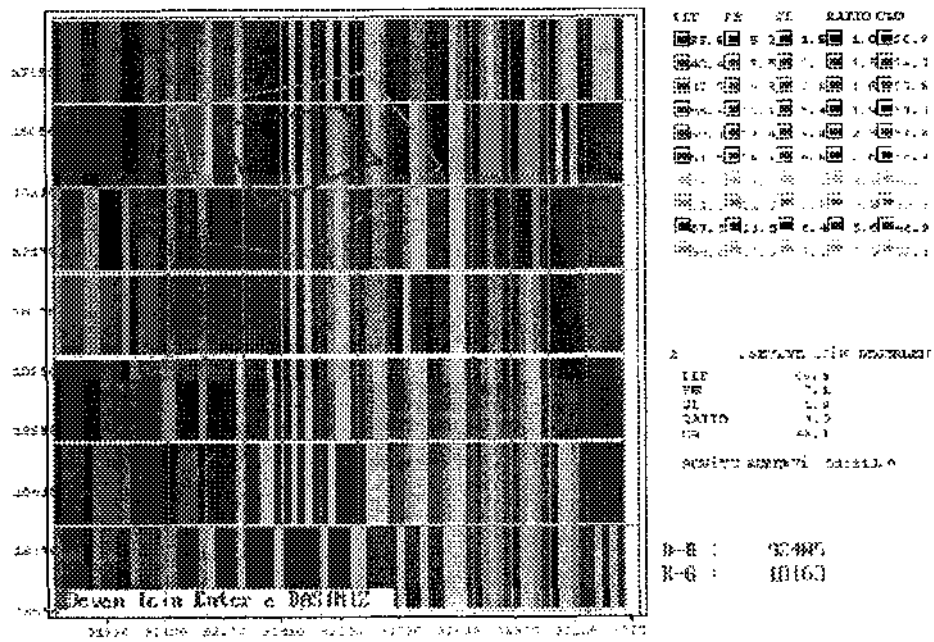
Hidrolik Modül (HM)	4.210
Silis Oranı (SO)	2.583
Alümin Oranı (AO)	1.703
Kireç Silis Oranı (KSO)	5.839
Silis Alüminyum Oranı (SAO)	4.100



Şekil 7. 1. Basamak için seçilen poligon ile ilgili bilgiler

Çizelge 4 'ten görüldüğü üzere, modellerden AO hariç hiçbirisi istenilen değerler arasında değildir ve toplam olarak üretim planı içerisinde verilen 2.346.81 1 tonluk hammadde

istenilen kaliteyi sağlamadığı için başka bir alternatif denenerek değişik yönlerde üretim programı geliştirilebilir.



Şekil 8. 2. Basamak için seçilen poligon ile ilgili bilgiler

