

Döner Kepçeli Ekskavatörlü Kömür Açık İşletme Yönteminde Bilgisayar Destekli Kazı Planlaması

A.Dağ

Çukurova Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, 01330 Balcalı, Adana, Türkiye

ÖZET: Üretim planlamasında hedef, nihai ocak sınırı, kazı sırası, sınır değer ve üretim optimizasyonu ile paranın net bugünkü değerinde beklenen karı maksimum yapmaktır. Planlama aşamalarının (nihai ocak sınırı, kazı sırası, sınır değer vb.), birbirlerine bağlı olması, parametrelerin ve kısıtlamaların çokluğu ve bunların zamanla değişiklik arzemesinden dolayı, bilgisayarla yapılması kaçınılmazdır. Bu çalışmada, döner kepçeli ekskavatörlü kömür açık işletmelerindeki kazı sırasının belirlenmesinde, kısıtlamaların neler olduğuna, bu kısıtlamaların geliştirilmiş olunan matematiksel modellerine, bu matematiksel modellere göre FORTRAN 77 ile yazılmış olan programa ve programın TEAŞ Afşin-Elbistan Linyit İşletmesi Çöllolar açık işletmesine uygulanma sonuçlarına yer verilmiştir.

ABSTRACT: The objective of the production planning is to maximize the net present value of the prospect, which can only be accomplished by optimizing of the ultimate pit limits, mining sequence, cut off grade and production rate. Due to number of planning parameters and varying constraints, it is inevitable to use computer on the planning stages. In this study, constraints, mathematical model of constraints, the computer program which has been written in FORTRAN 77 in bucket wheel excavator stripping method and outcomes of application of computer program to TEAS Afşin-Elbistan Lignite Establishment, Collolar district are presented.

1 GİRİŞ

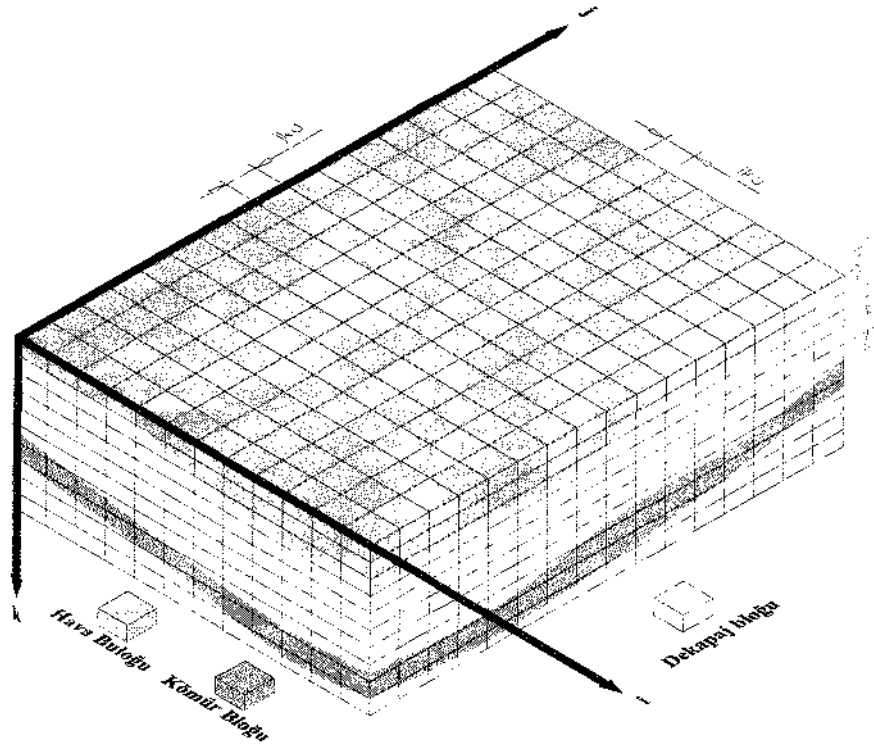
Teknolojik gelişmeler, açık işletmelerin ekonomik derinliklerini arttırmış ve ekonomik olmayan düşük tenörlü maden yataklarını ekonomik olarak işletilebilir hale getirmiştir. Düşük tenörlü yataklar üzerinde oluşturulacak daha derin açık ocakların işletilmesi ile, işletmenin her seviyesindeki plan kesit yüzey alanı genişlemiş ve dolayısıyla da üretim planlaması için alternatifler artmıştır.

Kömür açık işletmelerindeki üretim planlamasında en önemli planlama parametresi, talep edilen kömür miktarı ve kömür kalite sınır değerleridir. Eğer yatak uniform olmayan bir yataksa; sabit olan kömür üretimi için kaldırılması gereken toplam örtü miktarında çok büyük dalgalanmalar ve bunun yanında da kömür kalite değerlerinde değişiklikler olmaktadır. Kömür kalitesindeki bu değişiklikler ve örtü miktarındaki büyük dalgalanmalar, hem istenilen kalitedeki kömürün sağlanabilmesi için yapılan harmanlama işleminin zorluğuna, hem de mevcut makina/ekipman kapasitelerinde oluşabilecek dar-

boğazlarla örtü miktarının kaldırılamaması, dolayısıyla da talep edilen kömür üretiminin gerçekleştirilememesine neden olmaktadır.

Döner kepçeli ekskavatör kömür açık işletmelerinde, mevcut olan teknik ve ekonomik parametrelerin tam ve doğru olarak, bütün parametre ve kısıtlamalar birlikte değerlendirilerek planlama aşamaları belirlenmelidir. Kömür açık işletmelerindeki planlama aşamalarının bilgisayar yardımıyla belirlenmesinde en çok kullanılan yatak blok modeli Şekil 1'de ifade edilmiştir.

Bu çalışmada, işletme ömrü boyunca dar boğazların varlığı halinde oluşabilecek problemlerin minimuma indirilmesi, kömür gereksiniminin kesintisiz sağlanabilmesi ve herşeyden önemli olan en büyük karı getirecek olan kömür ve örtü kazı sırasının belirlenmesinde, bilinmesi gereken kısıtlama ve parametrelere ve onların matematiksel modellerine yer verilmiştir. Ayrıca, Dağ (1997) tarafından geliştirilen bilgisayar programının TEAŞ Afşin-Elbistan Linyit İşletmesi Çöllolar açık işletmesine uygulanmasından elde edilen sonuçlar sunulmuştur.



Şekil 1. Kömür açık işletmelerinde yatağın düzgün sabit blok modeli.

2 ÜRETİM PLANLAMASI

2.1 Kısıtlamalar

Açık işletmelerde üretim sırası belirlenirken, talep edilen kömür kalite değerleri, kazı makinalarının kapasiteleri, üretimi yapılacak örtü ve kömür miktarları ve geometrik kazı kısıtlamaları değerlendirilmelidir.

2.1.1 Kömür Kalite Gereksinimleri

Herhangi bir zaman periyodu içerisinde üretilecek olan blokların ortalama kalori, kül, nem gibi kömür kalite değerleri ile arzu edilen değerler arasındaki sapma minimum olmalı veya bu değerlere ait alt/üst sınırların içinde olmalıdır. Bu kısıtlamalar aşağıdaki matematiksel modellerle ifade edilebilir.

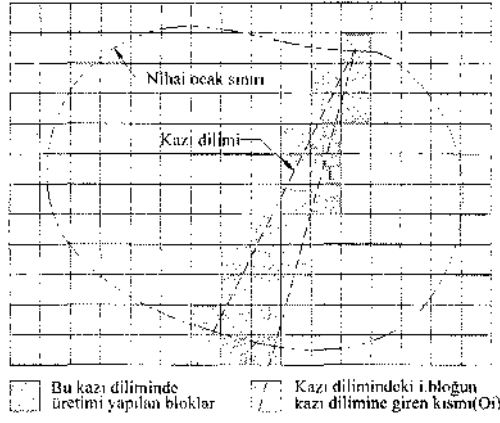
$$M = ikd \cdot jkd \cdot kkd \cdot YK \quad (1)$$

$$\frac{\sum_{i=1}^N (K_{ij} O_{ij} KAL_{ij} M)}{\sum_{i=1}^N (K_{ij} O_{ij} M)} \geq AKAL, j = 1, 2, \dots, NO \quad (2)$$

$$\frac{\sum_{i=1}^N (K_{ij} O_{ij} NEM_{ij} M)}{\sum_{i=1}^N (K_{ij} O_{ij} M)} \geq UNEM, j = 1, 2, \dots, NO \quad (3)$$

$$\frac{\sum_{i=1}^N (K_{ij} O_{ij} KUL_{ij} M)}{\sum_{i=1}^N (K_{ij} O_{ij} M)} \geq UKUL, j = 1, 2, \dots, NO \quad (4)$$

Burada M, kömür bloğunun tonajını (t); YK, Kömür yoğunluğunu (t/m^3); N, j. periyotta üretimi yapılacak olan toplam blok sayısını; K, i. bloğun kömür oranını (%); O, i. bloğun kazı dilimine giren kısmın oranını (%); KAL, i. bloğun kalori değerini (kcal/kg); KUL, i. bloğun kül içeriğini (%); NEM, i. bloğun nem içeriğini (%); AKAL, j. periyodunda ortalama kömür kalorisinin arzulanan alt limit sınırı (kcal/kg); UNEM, j. periyodda kömür nem içeriğinin arzulanan üst limit sınırını (%); UKUL, j. periyodda ortalama kömür kül içeriğinin arzulanan üst limit sınırını (%) ve NO ise işletme ömrünü (periyodunu) ifade etmektedir.



Şekil 2. Herhangi bir basamakta ve periyot üretimi yapılacak kazı dilimi ve bloklar.

2.1.2 Kazı Makinalarının Kapasiteleri

Döner kepçeli ekskavatörler yalnız bulunduğu basamakta üretim yapabildiği düşünüldüğünde, bir zaman periyodunda ve herhangi bir basamakta üretimi yapılabilecek olan kazı dilimindeki dekapaj ve kömür miktarı ekskavatör kapasitesi ile sınırlıdır.

Bu sınırlama aşağıdaki matematiksel model ile ifade edilebilir.

$$\sum_{i=1}^N [V_{O_{ij}}(K_{ij} + T_{ij})] \leq C n_{ort}, j = 1, 2, \dots, NO \quad (5)$$

Burada V, boyutları bilinen bloğun hacmini (m³); K, i.bloğun kömür oranını (%); T, i.bloğun örtü oranını (%); C, ekskavatörün teorik kapasitesini (m³/periyod) ve T_{ort} ise ortalama ekskavatör verimini (%) ifade etmektedir.

2.1.3 Talep Edilen Kömür Üretim Miktarı

Üretim planlaması yapılırken genellikle bir periyod için sabit üretim talebini sağlayabilecek bir plan yapılmaya çalışılır. Dolayısıyla herhangi bir periyodda üretimi yapılacak kömür miktarının bu değerden küçük olmaması gerekir. Bu kısıtlama şu matematiksel model ile ifade edilebilir.

$$\sum_{i=1}^N K_{ij} O_{ij} M \geq TKM, j = 1, 2, \dots, NO \quad (6)$$

Burada TKM, bir periyodda talep edilen kömür üretim miktarıdır (t/periyod).

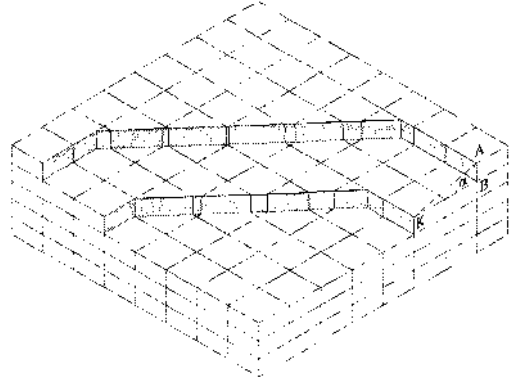
2.1.4 Geometrik Kısıtlamalar

Açık işletmelerde geometrik kısıtlamalar şu şekilde özetlenebilir.

(i) Üretimi yapılacak olan blok açık işletme sınırı içerisinde olmalıdır. Bu sınırlama (i,j).sütunda yukarıdan aşağıya kaç bloğun ocak sınırı içerisinde düşüğünü ifade eden blok açık işletme sınır verilerine (B_{ij}) göre belirlenir. Üç boyutlu olarak, (i,j,k). blok değerlendiriliyorsa, eğer k < B_{ij} ise, bu blok açık işletme sınırı içerisinde değildir.

(ii) Üretimi yapılacak blok, kazı makinasının erişebileceği konumda olmalıdır. Döner kepçeli ekskavatör bant konveyör açık işletme yönteminde kazı her basamakta ve dilim şeklinde yapılabilmelerinden dolayı üretimi yapılabilecek blok alternatifleri olarak sadece kazı dilimi boyunca komşu blok olmaktadır. Fakat bu bloğun hangi oranlarda kazısının yapılabileceği alternatifleri çoğaltabilmektedir.

(iii) Kazısı yapılan blok, diğer bir blok kazısının yapılabileceği şartları bozmamalıdır. Yani blok üretildikten sonra, üstteki basamağın minimum basamak genişliğinin korunması gerekir. Bu kısıtlama Şekil 2'de gösterilmiş ve aşağıdaki matematiksel model ile ifade edilmiştir.



Şekil 3. İki basamaktaki kazı dilimindeki minimum mesafe.

$$|BK| \geq \frac{|AB|}{\tan(\alpha)} \quad (7)$$

Burada BK, basamaklar arası minimum emniyetli mesafeyi (m); AB, basamak yüksekliğini (m) ve α ise emniyetli çalışma şev açısını (°) ifade etmektedir.

2.2 Kazı Dilimindeki Dekapaj ve Kömür Kazı Miktarının Hesabı

Herhangi bir periyod ve basamaktaki kazı diliminde kazısı yapılacak olan N adet bloğun toplam dekapaj ve kömür miktarları şu eşitliklerle hesaplanılır.

$$TOP_j = \sum_{i=1}^N (VO_{ij} \cdot T_{ij}) \quad j = 1, 2, \dots, BS \quad (8)$$

$$KOM_j = \sum_{i=1}^N (VO_{ij} \cdot K_{ij} \cdot YK) \quad j = 1, 2, \dots, BS \quad (9)$$

$$KAZ_j = TOP_j + \frac{KOM_j}{YK} \quad j = 1, 2, \dots, BS \quad (10)$$

Burada TOP, bir basamaktaki kazı dilimi ile kazısı yapılacak blokların toplam örtü miktarını (m^3); KOM, bir basamaktaki kazı dilimi ile kazısı yapılacak blokların toplam kömür tonajını (t); KAZ, bir basamaktaki kazı dilimi ile kazısı yapılacak olan toplam kazı miktarını (m^3) ve BS ise basamak sayısını ifade etmektedir.

2.3 İşletme Ömrünün Belirlenmesi

Yaklaşık işletme ömrü şu şekilde belirlenir. Blok modelinde belirlenen her bir seviyenin (k) bir basamak, bu basamakların hepsinde de üretimin yapılacağı kabul edilmektedir. Daha önce belirlenen ilk kazı noktası ve ilerleme yönüne göre, birinci basamaktan başlanılarak periyodlara göre kazı dilimi oluşturulur. Belirtilen kısıtlamalara göre ilerlemeler yapılarak sırayla alt basamaklarda da üretime başlanılır. Bu ilerleme en alt seviyedeki (nk) basamak oluşturuluncaya kadar devam eder. Bu arada en alttaki basamakta kazıya kaçınıcı periyotta (NY) başlanılabileceği ve bu periyodun başına kadar, bütün basamaklarda kazısı yapılacak olan toplam kazı miktarı (TK) belirlenir. Belirlenen bu değerler, nihai ocak sınırı içerisinde yapılacak olan toplam kazı miktarı ve bir periyotta talep edilen kömür miktarına göre işletme ömrü (NO) aşağıda belirtilen eşitlikle hesaplanılır.

$$TK_{NY-1} = \sum_{i=1}^{NY-1} \sum_{j=1}^{n_k} TBK_{ji} \quad (H)$$

$$NO = \left[\frac{(KM + TM - YM) - TK_{NY-1}}{KTM} + NY - 1 \right] \quad (12)$$

Burada TBK_{ji}, j.basamakta ve i.periyotta yapılan toplam kazı miktarını (m^3); TM, nihai ocak sınırı içerisindeki toplam dekapaj miktarını (m^3); KM, nihai ocak sınırı içerisindeki toplam kömür miktarını (m^3); KTM, bir periyotta üretimi arzulanan kömür miktarını (m^3) ve YM ise yardımcı işmakinaları ile yapılacak olan düzeltme yüzey kazı miktarını (m^3) ifade etmektedir.

2.4 Ekskavator Sayısının Hesabı

Kazı sırası belirlenirken, basamak sayısının tesbit edilmesi gerekir. Ocak sınırı içerisinde yardımcı iş makinaları ile yüzey düzeltme kazısı dışındaki toplam dekapaj ve kömür kazısını yapabilecek ekskavator sayısı (ES) şu eşitlikle hesaplanılır.

$$ES = \frac{TM + KM - YM}{NO \cdot C \cdot \eta_{ort}} \quad (13)$$

2.5 Paranın Net Bugünkü Değerinin Hesabı

Eğer faiz oranı O'dan büyük ise, bir bloğun net bugünkü değeri, o bloğun işletme ömrü boyunca üretileceği periyoda göre değişir. Kazı sırasının belirlenmesinde hedeflenen sonuç, işletme ömrü boyunca bütün blokların kazı sırasına göre net bugünkü değerlerinin toplamını maksimum yapan alternatif bulmaktır. Net bugünkü değerler şu eşitliklerle hesaplanabilir.

$$NBD_{ijk} = BED_{ijk} \cdot O_{ijk} \cdot \frac{1}{(1+r)^n} \quad (14)$$

$$NBD_i = \sum_{j=1}^N \left[BED_{ji} \cdot O_{ji} \cdot \frac{1}{(1+r)^n} \right], i = 1, 2, \dots, NO \quad (15)$$

$$TNBD_k = \sum_{i=1}^{NO} NBD_i, k = 1, 2, \dots, AS \quad (16)$$

Burada BED_{ijk}, i, j ve k ile tanımlanan bloğun ekonomik değerini (\$ veya TL); NBD, bir bloğun n. periyotta üretimi durumunda net bugünkü değerini (\$ veya TL); r, bir periyod için öngörülen faiz oranını (%); N, i.periyotta üretimi yapılacak blok sayısını ve TNBD_k ise k alternatif üretim sırasına göre işletme ömrü boyunca toplam net bugünkü değerini (\$ veya TL) ifade etmektedir.

3 UYGULAMA

Yukarıda tanımlanan algoritmaya göre, Dağ 1997 tarafından Fortran 77 diliyle yazılmış olan bilgisayar programı, TEAŞ Afşin-Elbistan Linyit İşletmesi Çöllolar sektörüne ait, yatak modellemesi ile bulunan blok verileri (örütü oranı, kömür oranı, kaloris, nem ve kül içeriği, ekonomik değerleri) blok açık işletme sınır verileri ve ilk kazı noktası alternatiflerine ait blok verileri ile aşağıda verilen girdi değerlerine göre çalıştırılmış ve girilen ilk kazı noktası sayısı kadar alternatif kazı sırası belirlenmiştir. Girdi değerleri;

-Yıllık kömür üretim miktarı : 20 milyon t/yıl,

Ekskavatörün teorik kapasitesi	3000 m ³ /saat
Çalışma şev açısı	1/6,
Kalori değeri (alt sınır)	1050kcal/kg.
Kül içeriği (üst sınır)	%21,
Kem içeriği (üst sınır)	%64

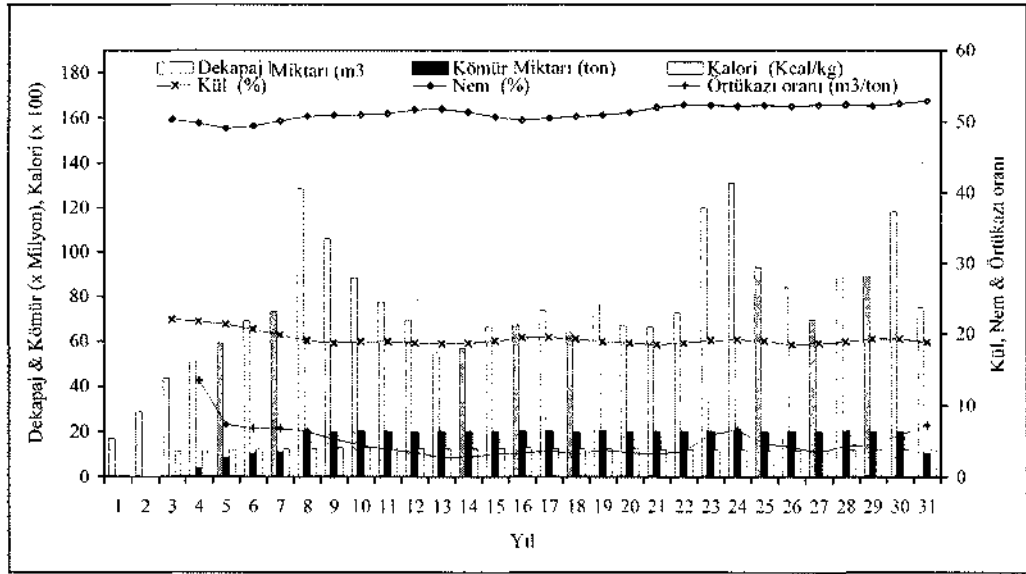
Belirlenen alternatifler arasında paranın net bugünkü değerinde maksimum karı veren alternatifin her yıl ve basamaktaki kazı dilimine ait Çizelge 1'deki gibi sonuçlar elde edilmiştir. Bu sonuçlara göre, işletme

ömrü boyunca yıllara göre; üretim, dekapaj, örtükazı oranı ve kömür kalite değerlerinin değişimi Şekil 4'de verilmiştir. Çizelge 1'deki gibi işletme ömrü boyunca her yıla ait planlama sonuçlarından elde edilen blok verileri ile işletme ömrünün istenilen periyodu sonundaki ocak imalat haritaları da elde edilebilmektedir.

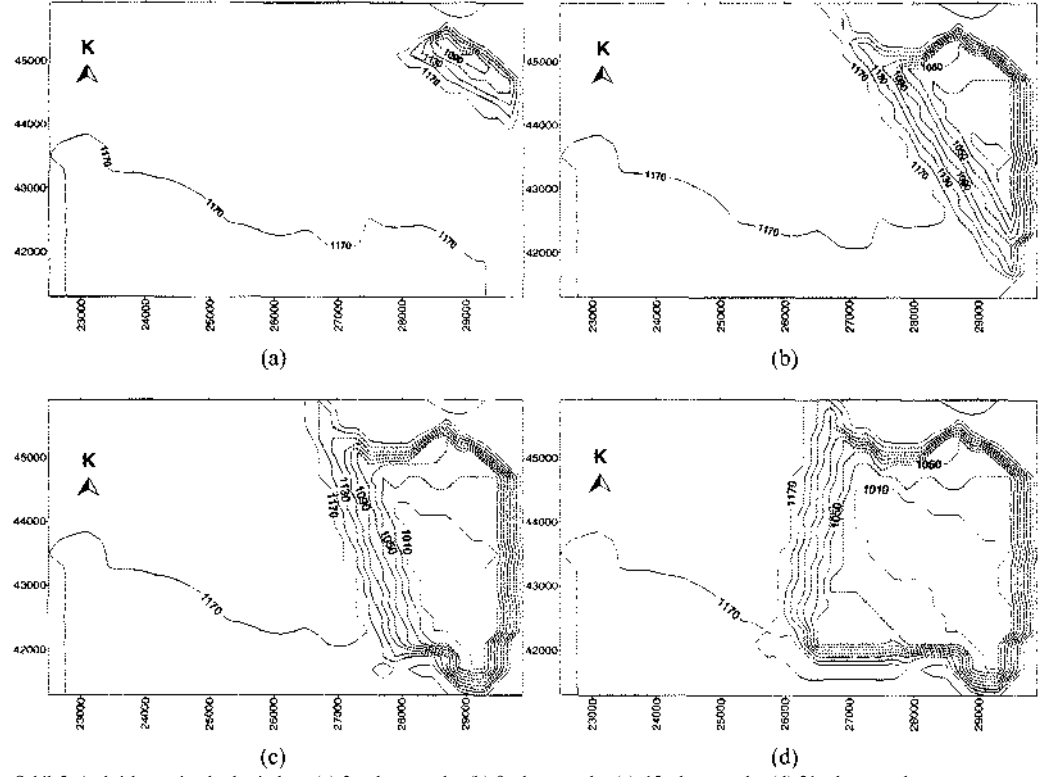
Şekil 5'de verilen ocak imalat haritaları elde edilen sonuçlara göre Surfer programı ve Kriging yöntemi kullanılarak çizilmiştir.

Çizelge 1. Programın ürettiği kazı sırasını ifade eden sonuçlardan sadece işletmenin birinci yılı kazı planlamasına ait bilgiler (Dağ ve Anıl, 1998).

Yıl Bas.	Kazı Dilimi Poligon Noktaları ve Koordinat Değerleri								-Bl. Dekapaj (x10 ³ m ³)	Kömür Kal. (kcal/kg)	Kül (%)	Nem (%)	
	1	2	3	4	5	6	7	8					
1 1	26648.545900.030100.045900.030100.044505.526648.545900.0								3	13658.1	.0	.0	.0
1 2	27102.745900.030100.045900.030100.044689.027102.745900.0								2	2622.7	.0	.0	.0
1 3	27405.545900.030100.045900.030100.044811.327405.545900.0								2	883.6	.0	.0	.0
1 4	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
1 5	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
1 6	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
1 7	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
1 8	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
1 9	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0



Şekil 4. Elde edilen planlama sonucuna göre kazı, üretim, örtükazı ve kömür kalite değerlerinin değişimi.



Şekil 5. Açık işletme imalat haritaları; (a) 3. yılı sonunda, (b) 9.yılı sonunda, (c) 15.yılı sonunda, (d) 21.yılı sonunda.

4 SONUÇLAR

Planlama aşamalarının bilgisayarla belirlenmesi, yatak modellemesi sonucu tahmin edilen blok verilerine göre yapıldığından dolayı tahmin edilen bu değerlerin yatağı temsil eden doğru değerler olması gerekmektedir. Sondajlarla elde edilen jeolojik verilerin hassasiyeti, sondaj sayısı, tahmin tekniği ve bu teknikte yapılan analizler blok değerlerin tahminindeki hassasiyeti önemli ölçüde etkileyecektir. Blok değerlerinin yanında teknik ve ekonomik kısıtlama ve parametrelerin tamamının birlikte değerlendirilmesi de sonuçların optimizasyonunu belirleyecektir.

İlk kazı noktasına inşa edilen bir tek bant dağıtım noktasının planlandığı ve kazı yüzeyinin bir eksen etrafında döndürüldüğü kazı yöntemine göre geliştirilmiş olan program ile optimum sonuçlar bulunmuştur. Fakat değerlendirilen kısıtlama ve parametrelere uygun bir planlama sonucu bulunamaması durumunda, o zaman bant dağıtım noktasının işletme ömrü boyunca birden fazla noktada planlanması ve diğer kazı yöntemlerinin de (kazı yüzeyinin paralel ilerletilmesi, bir eksen etrafında döndürülmesi veya ikisinin birlikte uygulanması) değerlendirilmesi ile bulunan sonuçlar optimum sonuçlar olacaktır. Program, Afşin-Elbistan Linyit işletmesi Çöllolar sahasına ait verilere göre çalıştırılmış ve uygun so-

nuçlar elde edilmiştir. Mevcut verilere ve B Elektrik santralinin yıllık 20 milyon ton linyit ihtiyacına göre, Çöllolar açık işletmesinin, yaklaşık 510 milyon ton kömür, 4.66 m³/ton örtü kazı oranı ile 3000 m³/saat teorik kapasiteli 9 adet döner kepçeli ekskavatörle 31 yılda üretimi yapılabilecektir. Elde edilen sonuçlara göre; basamak ve ekskavatör sayısı, kazı makineleri için ne zaman yatırımların yapılması gerektiği, kömür üretimine veya istenilen kapasitede kömür üretimine ne zaman başlanılabileceği, yaklaşık dış döküm miktarı, iç döküme ne zaman başlanılabileceği, yıllık kazı miktarlarının basamaklara dağılımı, kazıda olabilecek muhtemel darboğaz dönemleri gibi birçok bilgiler de elde edilebilmektedir.

KAYNAKLAR

- Dağ, A., 1997. *Döner kepçeli ekskavatör açık işletme yönteminde bilgisayar destekli üretim planlaması: Afşin-Elbistan Linyit İşletmesi Çöllolar sahasına uygulaması*. Çukurova Üni-versitesi, Fenbilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 184s.
- Dağ, A. ve Anıl, M., 1998. *Afşin Elbistan Linyit (TEAŞ) Çöllolar açık işletmesi kazı sırasının belirlenmesi*. Türkiye 11. Kömür Kongresi Bildiriler Kitabı, 173-184.