

## KALIN KÖMÜR TABAKALARINDA UYGULANABİLECEK ŞEVALTI ÜRETİM YÖNTEMİ SEÇENEKLERİ VE DOLGULU YÖNTEMİN SAYISAL MODELLEME İLE İNCELENMESİ

Highwall mining method alternatives for thick coal seams and investigation of the backfilling method by numerical modelling

Mahmut Murat CEYHAN<sup>(\*)</sup>  
Bahtiyar ÜNVER<sup>(\*\*)</sup>  
Nazmi Erhan YAŞITLI<sup>(\*\*\*)</sup>

### ÖZET

Açık işletmelerin doğası gereği, örtü kazı oranının ekonomik sınırları aştığı yerlerde rezervin bir kısmı şev altında terk edilmektedir. Kaybedilen bu rezervin üretilmesi doğal kaynakların en yüksek oranda kullanılmasını sağlayacaktır. Ülkemizde şevaltı üretim yöntemi uygulamasına rastlanmamakla birlikte, dünyada söz konusu yöntemle ciddi miktarlarda üretim yapılmaktadır.

Bu çalışmada, Tunçbilek Bölgesi'nde şev altında bırakılan kalın kömür tabakalarının üretilmesi için dört farklı üretim yöntemi önerilmiştir. Ancak, bu yöntemlerden önerilen aşama dolgulu şevaltı üretim yönteminin FLAC<sup>3D</sup> programı kullanılarak sayısal modelleri oluşturulmuş ve sonuçları verilmiştir. Modelleme sonuçları değerlendirildiğinde üretim açıklıklarında, topuklarda ve şevlerde herhangi bir duraysızlık probleminin olma olasılığının düşük olduğu görülmektedir.

**Anahtar Sözcükler:** Şevaltı Üretim Yöntemi, Kalın Kömür Tabakası, Nümerik Modelleme, Dolgu

### ABSTRACT

Due to nature of surface mining methods, some parts of reserves are inevitably abandoned under slopes where stripping ratio exceeds the economical limit. An important part of the reserve that is lost by abandoning under slopes can be produced by highwall mining method. Appreciable amounts of coal has been produced by using highwall mining method in the world whereas no application of the method has been recorded in Turkey despite of having numerous open pit mines.

In this paper, four different highwall mining method alternatives are proposed for Tunçbilek Region. One of these alternatives with varieties of backfilling and pillar method was analysed by means of numerical modelling with FLAC<sup>3D</sup>. Modelling results have revealed that any major instability problem would not be encountered in production galleries, pillars and slopes.

**Keywords:** Highwall mining method, Thick coal seam, Numerical Modelling, Backfilling

<sup>(\*)</sup> Maden Yük.Müh., Maden İşleri Genel Müdürlüğü, Emek, Ankara, muratce@hacettepe.edu.tr.

<sup>(\*\*)</sup> Prof.Dr., Hacettepe Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Ankara

<sup>(\*\*\*)</sup> Maden Yük.Müh., Hacettepe Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Ankara

## 1. GİRİŞ

Ülkemizde enerji ihtiyacının önemli bir kısmı mevcut kömür rezervleri tarafından karşılanmaktadır. Bu ihtiyacın karşılanması ve bunun ülke ekonomisine sağlayacağı yararlar göz önünde bulundurulduğunda, şev altında terk edilmiş kömür rezervleri ve bu rezervlerin üretilme olanağını sağlayan şevaltı üretim yöntemleri (highwall mining methods) önem kazanmaktadır.

Kelly (1999) ve Matsui vd., (2001), şevaltı üretim yöntemini açık işletmelerde şev altında bırakılan kömür rezervlerinin basamak üzerinde konumlandırılan burğu (auger), ya da sürekli kazı makinesi (continuous miner) ile üretilmesi olarak tanımlamışlardır. Dermendjiev ve Slavov (2003) ise şevaltı üretim yöntemlerini oluşturan en önemli özelliğın, yeryüzüyle ya da basamakla doğrudan bağlantısı olacak şekilde oluşturulan açıklıklarla üretim yapılması olarak belirtmişlerdir.

Şevaltı üretim yöntemlerinin yeraltı üretim yöntemlerine göre en önemli avantajları, yatırım maliyetlerinin düşük olması ve üretimin daha kısa bir sürede tamamlanabilmesidir. Aynı zamanda, şevaltı üretim yöntemlerinde çalışan işçi sayısı yeraltı yöntemlerine göre daha azdır (Shen ve Duncan Fama, 2000). Böylelikle üretim için yapılan harcamalar da daha düşük olmaktadır.

Şevaltı üretim yöntemlerinde uygun yöntemin belirlenmesinde en önemli etmenlerden biri, kömür tabakasının kalınlığıdır. Kömür tabakaları ince, orta ve kalın olarak sınıflanmaktadır. Dünyada kalın kömür tabakası tanımı, ülkelere ve yerel madencilik endüstrilerine göre değişmekle birlikte, kalın kömür tabakası için 4,8 m alt sınır olarak kabul edilmektedir (Singh, 1999).

Şevaltı üretim yöntemleri; ABD'de ve Avustralya'da kalınlıkları 3 m'den az olan tabakalarda, % 40'dan az kömür kazanım oranı ile uygulanmaktadır. Avustralya'da şev altında terk edilmiş rezervlerde, yüksek kazanım elde etmek için 3-15 m arasındaki kalın damarlarda şevaltı üretim yöntemleri uygulamalarının gerekli olduğu belirtilmektedir (Clark ve Boyd, 1998).

Şevaltı üretim yöntemlerinin başarılı olabilmesi için aşağıda belirtilen konuların araştırılarak gerçekçi öngörülerde bulunulması gereklidir:

- Desteklenmeyen açıklıklardaki tavan tabakaları davranışlarının önceden tahmin edilmesi (sayısal modelleme vb., çalışmaların yapılması),
- Şev duraylılığının sağlanması,
- Açıklıklarda oluşabilecek olası göçük problemlerine karşı güvenilir topuk tasarımlarının yapılması ve ek destek yöntemlerinin belirlenmesi (Follington vd., 1997).

Belirtilen bu şartların ince damarlarda sağlanması zor olmamakla birlikte damar kalınlığının artmasıyla ciddi duraysızlık sorunlarıyla karşılaşılma olasılığı artmaktadır. Kalın kömür damarlarında belirtilen şartların sağlanması ve rezerv kazanım oranının artırılması için dolgulu yöntem kayda değer bir seçenek olarak düşünülmektedir.

Özellikle kalın kömür damarlarının üretildiği yeraltı ocaklarında dolgulu üretim yönteminin kullanılmasıyla daha etkin bir destek ve tasman kontrolü yapılmakta, çevre kayacın kontrolü daha iyi sağlanmaktadır (Frouz, 1994, Shimada vd., 2003'den). Kazılan açıklıkların doldurulması neticesinde duraylılık artacak ve şevaltı üretim yapıldığı kısmın üzerinde bulunan şevde oluşabilecek duraysızlık problemleri en aza indirilebilecektir.

Yapılan literatür araştırmasında, şevaltı üretim yöntemlerini incelemek amacıyla yapılan sayısal modelleme çalışmalarının oldukça az olduğu görülmüştür. İncelenen çalışmalarda, Adhikary vd., (2002) Avustralya'da şev altında bırakılan ince kömür damarlarında yapılan çalışmaları değerlendirmek amacıyla CSIRO FESOF (Sonlu Elemanlar) ve FLAC<sup>2D</sup> (Sonlu Farklar Yöntemi) sayısal gerilme çözümlemesi programlarını, Matsui vd., (2003)'de kalın kömür damarlarında açıklıkların çevresindeki gerilme koşullarına bağlı olarak uygun şevaltı üretim yönteminin belirlenmesi amacıyla Phase<sup>2</sup> (Sonlu Elemanlar ve Sınır Elemanlar) sayısal modelleme programını kullanarak modelleme yapmışlardır.

## 2. TUNÇBİLEK BÖLGESİ'NİN KISACA TANITILMASI

Tunçbilek Bölgesi Kütahya il sınırları içerisinde olup, Tavşanlı ilçesine 12 km'dir. Bölgedeki toplam

kömür rezervi yaklaşık 330 milyon ton'dur. Bu rezervin 263 milyon tonu yeraltı üretim yöntemleriyle, 67 milyon tonu ise açık işletme yöntemleri ile üretilmeye uygundur (Yaşitli ve Ünver, 2005).

Bu çalışmada, miktarı belirlenememekle birlikte Tunçbilek Bölgesi'ndeki açık ocaklarda önemli miktarlarda şev altında terk edilen kömür rezervlerinin üretilmesi için inceleme yapılmıştır. Bu amaç doğrultusunda üretim yöntemi seçenekleri belirlenmiş ve bu yöntemlerden aşama dolgulu şevaltı üretim yönteminin sayısal modellemesi yapılarak ayrıntılı olarak incelenmiştir.

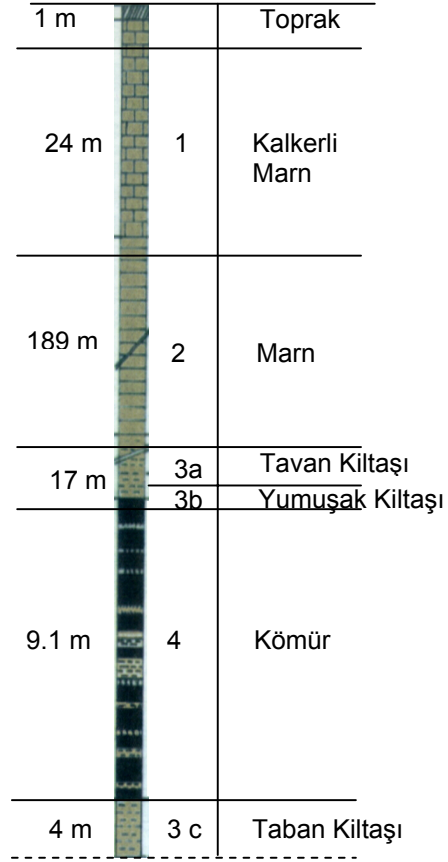
### 2.1. Kömür Tabakasının Yapısı ve Tabakayı Çevreleyen Kayaçlar

Bölgede işletilmekte olan kömür tabakası, genellikle orta sertlikte, siyah ve parlak linyit ihtiva etmektedir. Tabakanın tavan ve taban kısımlarında genellikle arakesmeler daha az, orta kısımlarında ise daha fazladır. Bölgede yapılan sondajlarda tüfit, kilitaşı, kireçtaşı, kumtaşı, konglomera, serpantin ve peridotit, kilitaşı, dolomit, manyezit, kireçtaşı, kalkerli marn ve marn birimleri kesilmiştir (Destanoğlu vd., 2000). Şekil 1'de bölgeye ait stratigrafik istif verilmektedir. Yapılan modellerde bu stratigrafik istif esas alınmıştır.

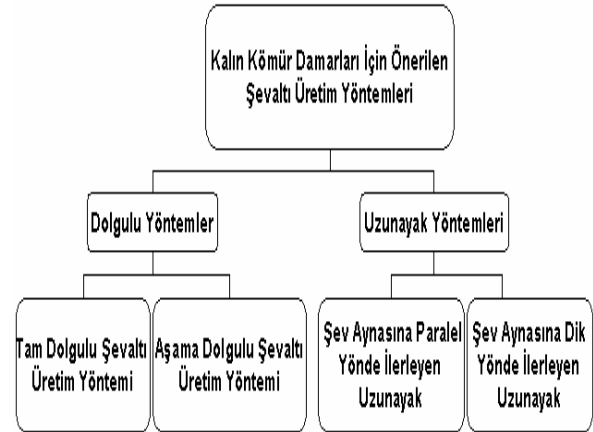
Kömür tabakasının hemen üzerinde yer alan zayıf kalkerli kilitaşı tabakası, "yumuşak kilitaşı" olarak adlandırılmıştır. Bu tabaka, tavan kontrolü bakımından oldukça dayanımsızdır ve çok süreksizlik içermektedir. İşletmede ana kömür tabakasının hemen üzerinde görülen 30 cm ile 80 cm arasında değişen kalınlıklarda siyahimsı koyu gri renkli bu tabaka, "3b" olarak tanımlanmıştır.

### 3. TUNÇBİLEK BÖLGESİ İÇİN ÖNERİLEN ŞEVALTI ÜRETİM YÖNTEMİ SEÇENEKLERİ

Açık kömür ocaklarında şev altında bırakılan kömür rezervlerinin kazanılabilmesi için temel olarak 2 farklı yöntem ve her yöntemin iki ayrı seçeneği önerilmektedir (Ceyhan, 2004). Önerilen bu yöntemlerden ikisi dolgulu, diğer ikisi ise şev altında uzunayak oluşturularak kömürün kazanıldığı yöntemlerdir. Şekil 2'de Tunçbilek Bölgesi'ndeki şev altında bırakılan kalın kömür tabakalarının üretilmesi için önerilen yöntemler gösterilmiştir.



Şekil 1. Kömür tabakasını çevreleyen tabakalar (ölçeksiz) (Konak, 1995).



Şekil 2. Tunçbilek Bölgesi kalın kömür tabakaları için önerilen şevaltı üretim yöntemleri (Ceyhan, 2004).

### 3.1. Önerilen Şevaltı Üretim Yöntemleri

Ceyhan (2004), kalın kömür tabakalarında şev altında bırakılan kömür rezervlerinin kazılabilmesi için aşama ve tam dolgulu olmak üzere iki farklı dolgulu üretim yöntemi önerilmiştir. Ancak, önerilen yöntemler ve kullanılacak ekipmanlar ile ilgili ayrıntıya girilmemiştir.

Aşama dolgulu şevaltı üretim yönteminde, 3 m x 3 m boyutlarına sahip açıklıkların, ayna doğrultusuna dik yönde kömür kazılarak oluşturulması ve açıklıklar arasında bir miktar kömürün topuk olarak bırakılması planlanmıştır. Şekil 3'te şev altında bırakılan kalın kömür tabakasının kazanılabilmesi için aşama dolgulu şevaltı üretim yöntemindeki kazı-dolgu işlem akışı gösterilmektedir. Bırakılacak topukların genişlikleri, yapılan deneme modelleriyle belirlenmiştir. Açıklıklar arasında farklı boyutlarda topuk genişlikleri (0,5 m, 1 m, 1,5 m, 2 m ve 3 m) bırakılarak sayısal çözümlene yapılmıştır. Bu çözümler sonrasında topuklar üzerindeki gerilme dağılımları ve yerdeğiştirmeler karşılaştırılarak açıklıklar arasındaki topuk genişliği 2 m olarak seçilmiştir. Kazı işlemlerini takiben her bir açıklığın, 3 m olan yüksekliğinin 1,5 m'lik kısmının dolgu malzemesi ile doldurulması planlanmıştır. Topuk genişlikleri belirlenirken açıklıklara yapılacak dolgu işlemleri de dikkate alınmıştır. Bir sonraki açıklıkta kazı yapılırken bir önceki açıklığın aşamalı olarak dolgusunun yapılması sayesinde üretimin kesintisiz bir şekilde gerçekleştirilmesi öngörülmektedir (Ceyhan, 2004).

Şekil 3'te görüldüğü gibi dolgu sonrası 1,5 m olan açıklık yüksekliğinin tavanında bulunan kömürün tabandan tavana doğru 1,5 m'lik kısmı kazılarak üretilecek ve açıklık yüksekliği tekrar 3 m olacaktır. Daha sonra aynı işlem, damar tavanına kadar devam edecektir. Ancak, kömür tabakasının hemen üzerinde yer alan tabaka dayanımlarının düşük olabileceği düşünülerek damarın tavan kısmındaki bir miktar kömürün kazılmadan bırakılması planlanmaktadır. Dolgu malzemesi olarak daha önce açık işletme örtükazı çalışmaları sırasında kazılan pasa içerisinde bulunan marnın, belirli boyutta kırılarak kullanılması önerilmektedir. Dolgu malzemesinin açıklıklara taşınması, üretilen kömürün dışarıya taşınması için kullanılan nakliye sistemi vasıtasıyla yapılacak ve küçük boyutlu bir silindir aracılığıyla dolgu malzemesinin sıkışması

sağlanacaktır. Bu yöntemde, 3 m yüksekliğindeki açıklıklara 1,5 m yüksekliğinde dolgu yapılmasının nedeni, dolgu malzemesinin sıkıştırılma şansının olmasıdır. Böylece sıkıştırılan dolgu malzemesi üzerinde çalışan kazı makinesi batmayacaktır.

Ayrıca 2 m uzunluğunda, reçine dolgulu olarak ve sistematik bir düzen içerisinde yerleştirilecek olan fiber türü kaya saplamaları kullanılarak açıklık tavanlarının tahkim edilmesi önerilmektedir. Fiber saplamalar, bir sonraki kazı aşamasında kazıcı makine tarafından kolaylıkla kazılabilecek ve 0,5 m'lik bir bindirme sağlanarak tavan tabakalarının kontrolü yapılabilecektir. Bu üretim yöntemiyle aynadan şeve dik yönde 100 m ilerlenecek ve % 50'lik bir kömür kazanım oranı ile üretim yapılacaktır.

Tunçbilek Bölgesi için Ceyhan (2004) tarafından önerilen aşama dolgulu şevaltı üretim yöntemine alternatif olarak, Matsui vd. (2003)'nin önerdikleri yöntemden uyarlanmış olan tam dolgulu şevaltı üretim yöntemi önerilmektedir (Ceyhan, 2004).

Önerilen tam dolgulu üretim yönteminde, 3 m x 3 m boyutlarındaki açıklıklardan üretim yapılması ve açıklıklar arasında 2 m'lik topuk bırakılması planlanmıştır. Yöntem şematik olarak Şekil 4'te verilmektedir. Burada, bir sonraki açıklığın kazısı yapılırken bir önceki açıklığın tabanından yukarı doğru 3 m'lik kısmı (açıklığın tamamı) doldurulacaktır.

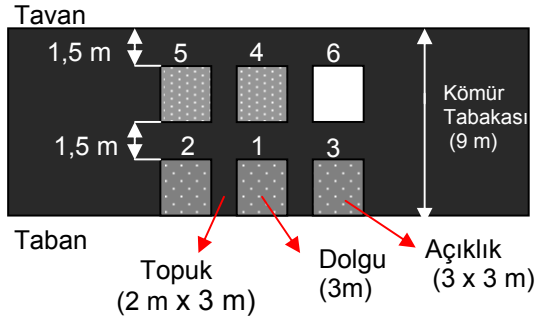
Şekil 3. Önerilen aşama dolgulu şevaltı üretim yöntemindeki kazı ve dolgu sırası (ölçeksiz) (Ceyhan, 2004).

Birinci dilimi bu şekilde üretilikten sonra ikinci dilim ile ilk dilim arasında 1,5 m'lik kömür bırakılarak ikinci dilim alınacak ve bu şekilde üretim gerçekleştirilecektir (Şekil 4.)

Şekil 4'e göre önerilen tam dolgulu şevaltı üretim yöntemiyle % 40'lik bir kömür kazanım oranı ile üretim yapılabilecektir.

### 3.2. Şev Altında Uzunayak Oluşturularak Üretim Yapılması

Tunçbilek Bölgesi'nde şev altında bırakılan kömür rezervlerinin üretilmesi için dünyada herhangi bir uygulamasına rastlanmamasına rağmen, şev altında uzunayak oluşturularak üretim yapılması dikkate değer bir yöntem olarak düşünülmektedir



Şekil 4. Önerilen tam dolgulu şevaltı üretim yöntemi (ölçeksiz) (Ceyhan, 2004)

Ancak, uzunayak yönteminin şevaltı üretiminde kullanılmasında yerel koşullar son derece etkilidir. Bu nedenle önerilen uzunayak yöntemlerinin sayısal modellemesi bu çalışma kapsamında yapılamamıştır (Ceyhan, 2004). Şekil 5'te şev altında oluşturulan aynaya paralel yönde ilerleyen uzunayak yöntemi ölçeksiz olarak gösterilmiştir.

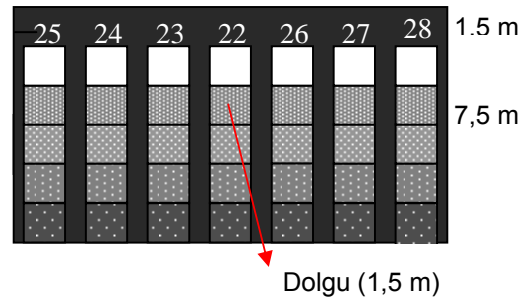
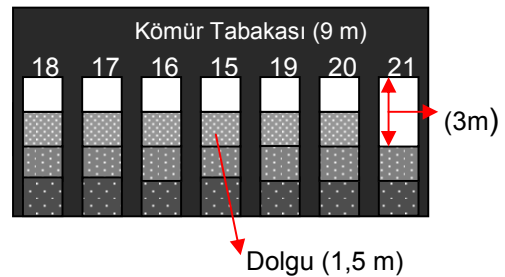
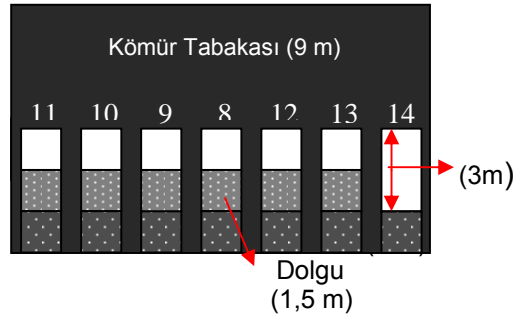
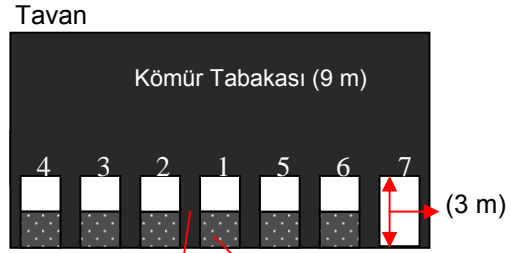
Şev aynasından girilerek uzunayak oluşturulması için hava giriş ve çıkışı olmak üzere iki açıklığa gereksinim vardır. Şev aynasından, tabakanın tabanında birbirine paralel iki galeri açılması planlanmıştır. Açılan galerilerden biri pano sınırına kadar uzunacak, diğeri ise göçme sonucu oluşan tasmanın şeve zarar vermeyeceği bir kalınlıkta topuk bırakmaya olanak sağlayacak kadar ilerleyecektir. Şev aynasına paralel taban yolları açılacak ve pano sınırının sonuna kadar ilerletilen taban yolları birleştirilerek ayak oluşturulacaktır. Daha sonra da üretim, geri dönüşlü olarak gerçekleştirilecektir.

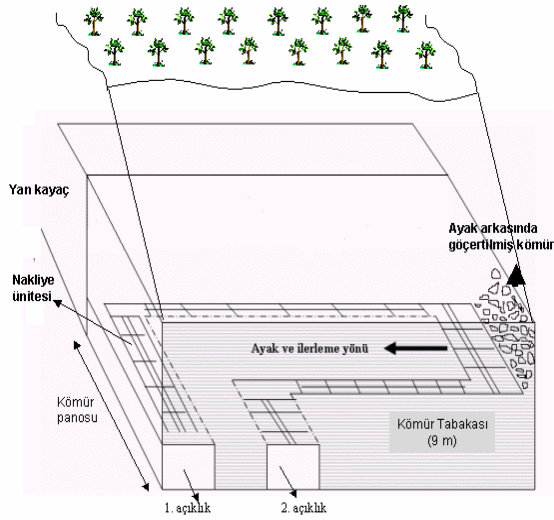
Üretim, yeraltında olduğu gibi, ayak kazısı ve tavadaki kömürün ayak arkasından üretilmesi yöntemiyle yapılacaktır. Tavan kömürünün kazanılması için Yaşıtlı'nın (2002) önerdiği çatlaklandırma patlatması yapılarak üretim veriminin artırılması olarak dahilindedir (Yaşıtlı ve Ünver, 2005). Bu yöntemin kullanılmasında sadece ocak giriş ağızları emniyetinin sağlanması çok önemlidir. Şevin durumuna göre, pano uzunluğu artabileceğinden yöntem, mekanizasyona da uygundur.

Şev aynasını etkilemeyecek boyutlarda topuk bırakılarak üretim yapılması, ciddi bir alternatif

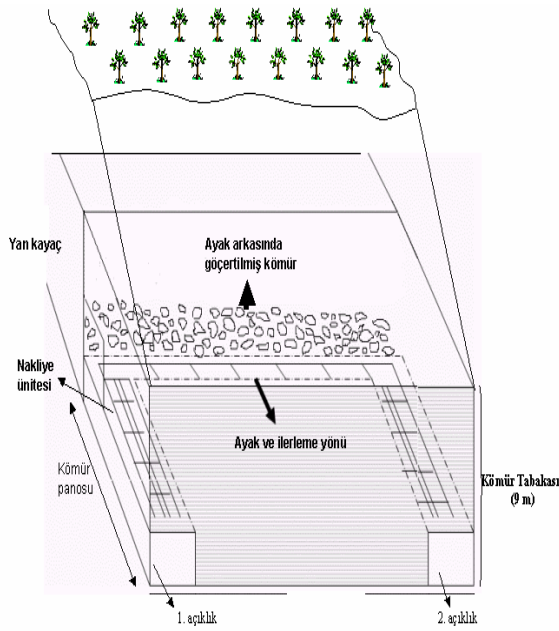
olarak değerlendirilmelidir. Ancak, bu yöntemin uygulanabilirliği için yerel koşulların çok ayrıntılı olarak incelenip değerlendirilmesi gerekir.

Şekil 6'da ölçeksiz olarak gösterilen şev aynasına





Şekil 5. Şev altında oluşturulan aynaya paralel yönde ilerleyen uzunayak yöntemi (Ceyhan, 2004).



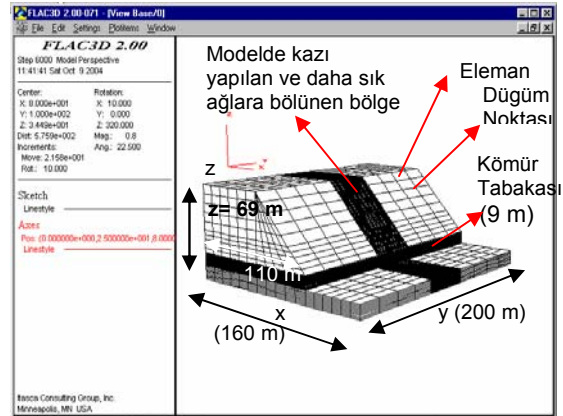
Şekil 6. Şev altında oluşturulan aynaya dik yönde ilerleyen uzunayak yöntemi (Ceyhan, 2004).

dik yönde ilerleyen ayak oluşturularak üretim yapılması da dikkate değer diğer bir yöntem olarak alınmalıdır.

#### 4. AŞAMA DOLGULU ŞEVALTI ÜRETİM YÖNTEMİNİN FLAC<sup>3D</sup> PROGRAMI KULLANILARAK MODELLENMESİ

Aşama dolgulu şevaltı üretim yöntemini incelemek amacıyla oluşturulan şev modeli, aşağıdan yukarıya doğru taban kıltaşı, kömür, yumuşak kıltaşı, tavan kıltaşı ve mar'n'dan oluşmaktadır. Şev altında bırakılan kömür tabakasının kalınlığı ise 9 m'dir. Modellerde aynadan uzunluğu 110 m olan kömür tabakasının 100 m'lik kısmı kazılmıştır. Ayrıca model oluşturulurken şev taban kalınlığı 10 m alınmış ve taban kıltaşı olarak tanımlanmıştır.

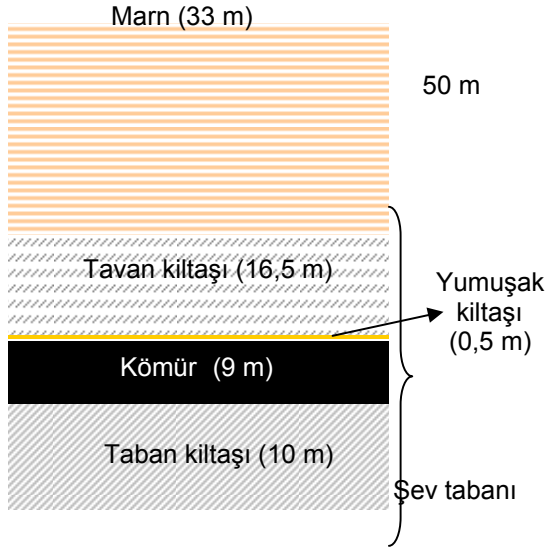
Şevaltı üretiminin yapılacağı şev modeli Şekil 7'de, şevi oluşturan birimlerin ayna tarafından kesit görünümü ise Şekil 8'de gösterilmiştir. Model oluşturulurken tuğla (brick) ile kama (wedge) elemanlar kullanılmıştır. Modelde, **43032** eleman ve **48149** düğüm noktası bulunmaktadır. Şev açısı 45° olarak alınmıştır.



Şekil 7. FLAC<sup>3D</sup> programında oluşturulan şev modeli (Ceyhan, 2004).

Modelde tabakaların yenilme davranışı, doğrusal Mohr-Coulomb yenilme ölçütü ile ifade edilmiştir. Gerçeğe en yakın sonuç elde edilebilmesi için modellerde Yaşitli (2002) tarafından belirlenmiş olan Tunçbilek bölgesine ait kaya kütlesi özelliklerini taşıyan parametreler kullanılmıştır.

Şekil 7'deki model oluşturulduktan sonra, başlangıçta yerdeğiştirme olmaması için modelin



Şekil 8. Şevin ayna tarafından kesit görünümü.

sağ tarafı ("x" yönünde) ve sol tarafı ( $x = 0$  noktasında), önu ( $y = 0$  noktasında), arkası ("y" yönünde) ve tabanında ( $z = 0$  noktasında) sabit (fix) sınır koşulları oluşturulmuştur.

Çizelge 1'de modelde kullanılan dolgu malzemesi karışımı, Çizelge 2 ve 3'te modelde kullanılan kaya kütlelerine ve dolgu malzemesine ait girdi parametreleri verilmiştir.

Çizelge 1. Modelde kullanılan dolgu malzemesi karışımı (Shimada, 2003).

Dolgu Karışımındaki Malzeme Türü	Karışımındaki Malzemenin Ağırlıkça Yüzdesi (%)
Portland Çimento	10
Uçucu Kül (Fly Ash)	40
Yan Kayaç Kırıkları (10 mm'den küçük)	50

#### 4.1. Modelleme Aşamaları

Modelde, Şekil 3'te gösterildiği gibi bir açıklığın kazısı yapılırken bir önceki açıklığın dolgusu yapılacak şekilde bir işlem akışı planlanmıştır. Ceyhan (2004) yaptığı çalışmada Şekil 3'te gösterilen aşamaların her birinin, FLAC<sup>3D</sup> programını kullanarak sayısal modellerini yapmıştır. Ancak, bütün modelleme aşamalarına ait sonuçların sunulması mümkün olmadığından düşey bir sıradaki üretime karşılık gelmek üzere;

Çizelge 2. Modelde kullanılan değişik kaya birimlerine ait kütle özelliklerini temsil eden girdi parametreleri (Yaşitli, 2002).

Kaya Birimleri	Birim Hacim Ağırlığı (kN/m <sup>3</sup> )	İçsel sürtünme açısı (°)	Kohezyon (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)	Hacimsel (Bulk) Modül (MPa)	Makaslama Modülü (MPa)
Marn	22	24,8	0,65	0,074	2675	1605
Tavan Kilitaşı	25	18,8	0,41	0,031	1281	750
Yumuşak Kilitaşı	23	14,0	0,167	0,006	497	298
Kömür	14	21,8	0,517	0,017	1271	762
Taban Kilitaşı	27	18,4	0,715	0,035	1543	884

Çizelge 3. Modelde kullanılan dolgu malzemesi girdi parametreleri (Shimada, 2003)

Elastisite Modülü (MPa)	Poisson Oranı	Çekme Dayanımı (MPa)	Kohezyon (MPa)	İçsel Sürtünme Açısı (°)	Birim Hacim Ağırlık (kN/m <sup>3</sup> )	Hacimsel Modül (MPa)	Makaslama Modülü (MPa)
2921	0,24	0,026	0,088	41,1	26,5	1872	1178

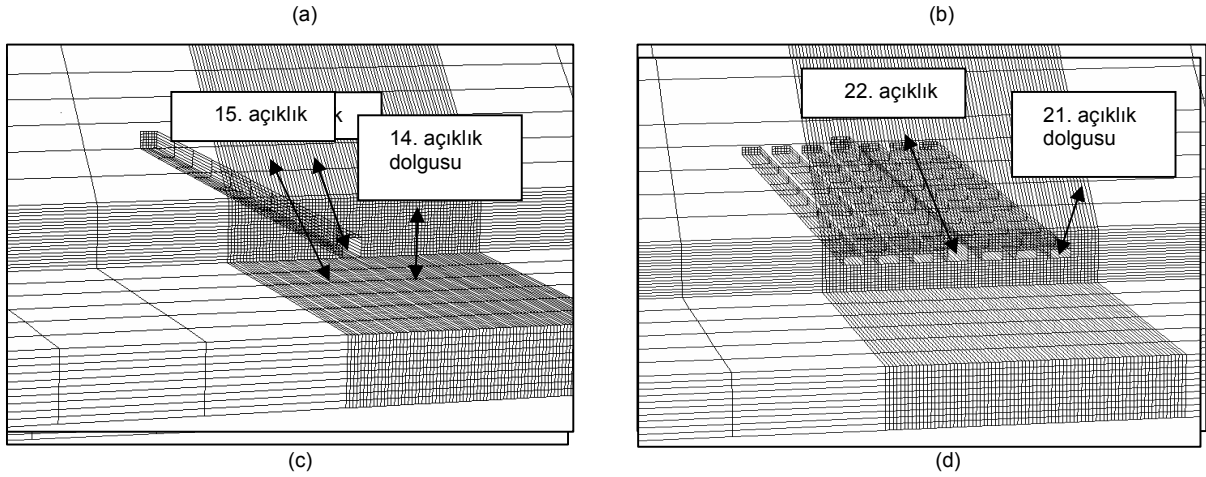
- 1. açıklık kazısının yapıldığı aşama,
- 8. açıklık kazısıyla 7. açıklığın dolgusunun yapıldığı aşama,
- 15. açıklık kazısıyla 14. açıklığın dolgusunun yapıldığı aşama,
- 22. açıklık kazısıyla 21. açıklığın dolgusunun yapıldığı aşamalar, ayrıntılı olarak incelenmiştir.

Şekil 9'da, ifade edilen bu aşamaların FLAC<sup>3D</sup> programında oluşturulması gösterilmektedir.

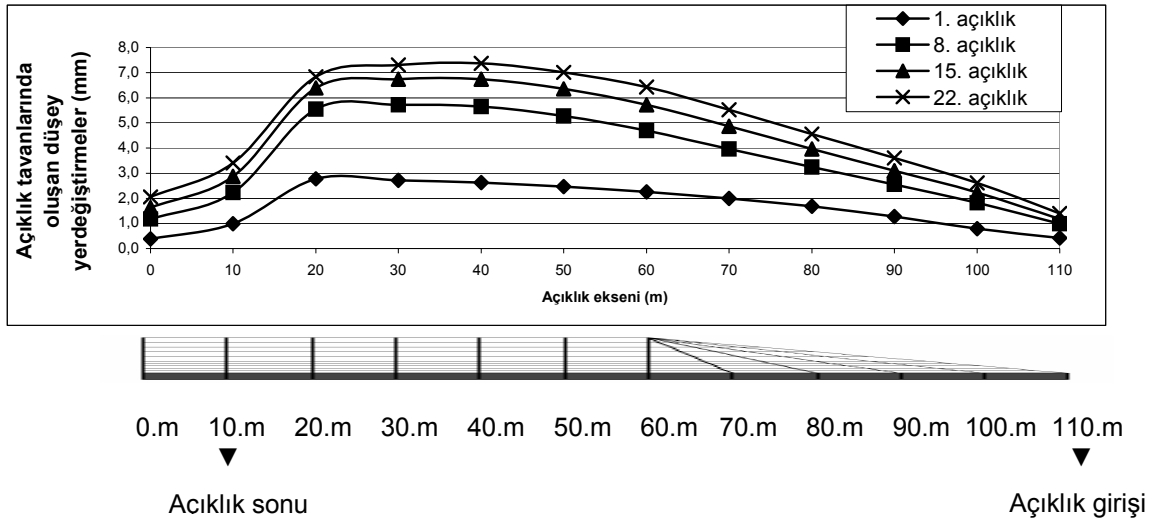
Yapılan modellerde, açıklık tavanlarının orta

noktalarında oluşan düşey yöndeki yerdeğiştirmeler ve açıklıklar arasında bırakılan topuklarda oluşan düşey gerilmeler incelenmiştir. Şev üzerinde meydana gelen yerdeğiştirmeler de Ceyhan (2004) tarafından yapılan çalışmada ayrıntılı olarak incelenmiş olmasına rağmen bu makale kapsamında sunulmamaktadır.

Şekil 10'a göre açıklıkların tavanlarında oluşan en büyük düşey (-z) yöndeki yerdeğiştirme, 22. açıklıkta (z= 17,5. m referans noktasında), açıklık girişinden 70 m ileride (x= 40. m'de) 7,4 mm ile oluşmuştur.

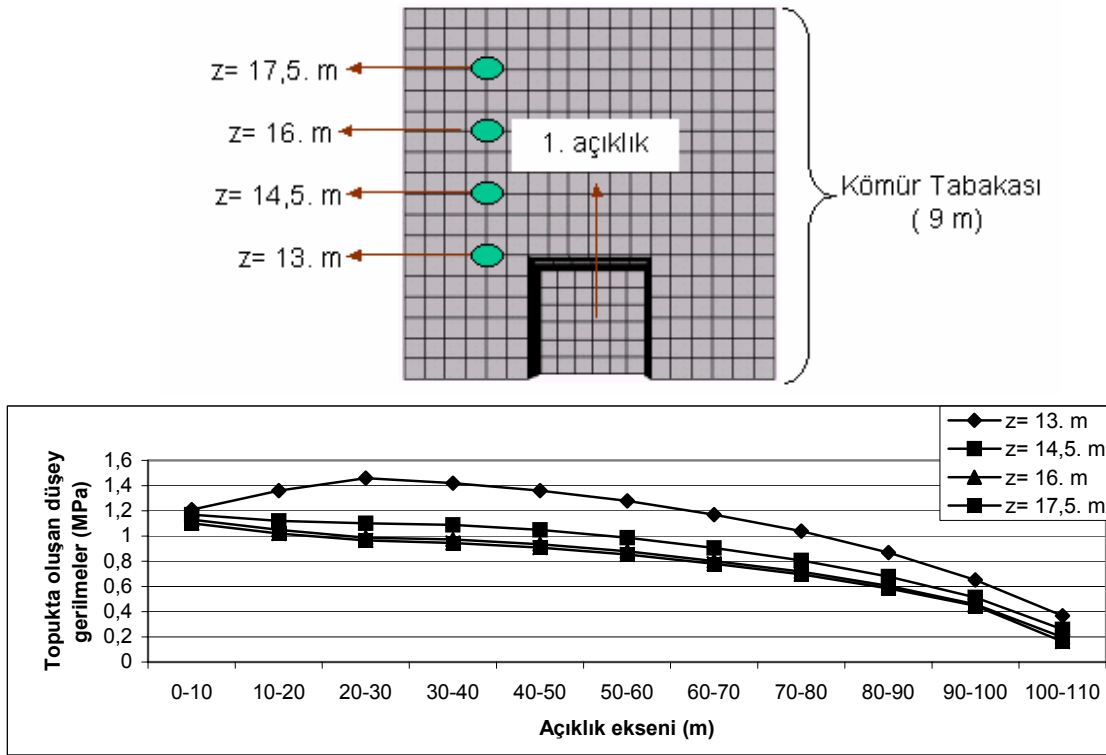


Şekil 9. Farklı kazı ve dolgu aşamalarının FLAC<sup>3D</sup> programında oluşturulması (Ceyhan, 2004).

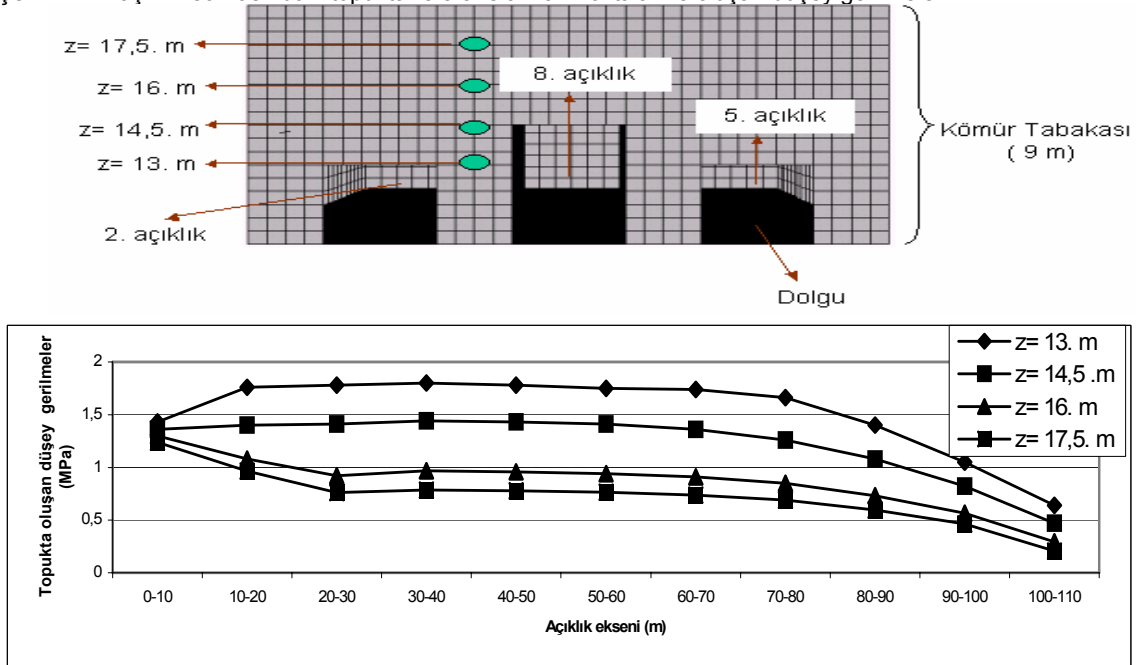


Şekil 10. Açıklık tavanlarında oluşan düşey yöndeki yerdeğiştirmeler.

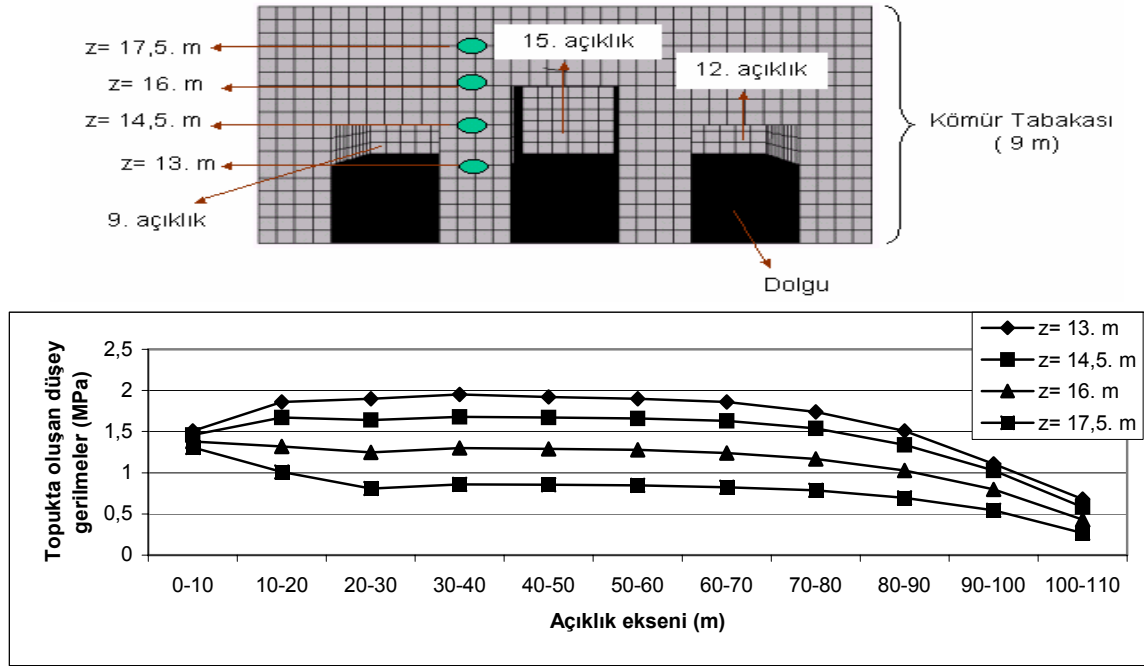




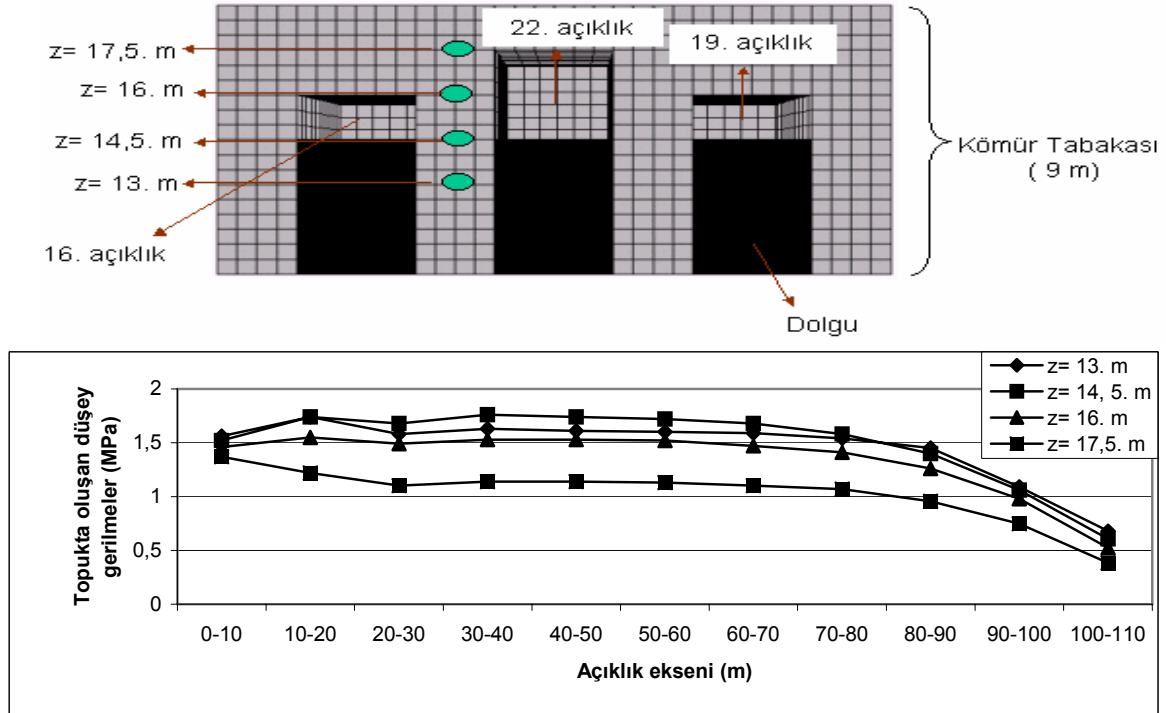
Şekil 11. 1. açıklık sonrasındaki topukta referans alınan noktalar ve oluşan düşey gerilmeler.



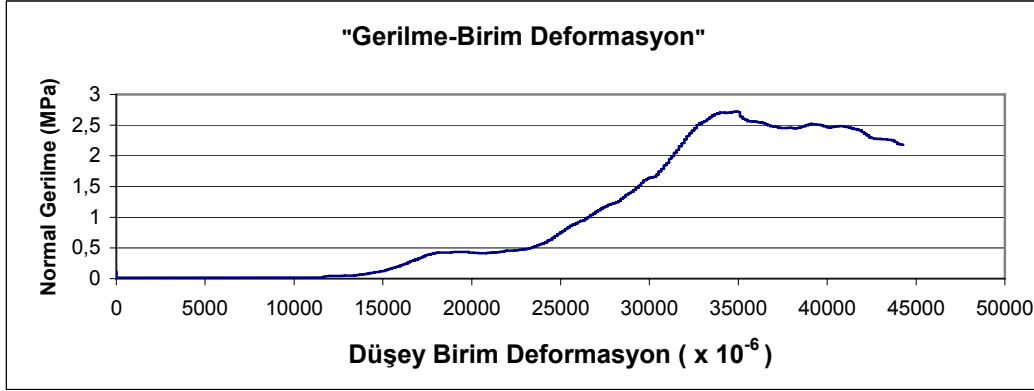
Şekil 12. 8. açıklık sonrasındaki topukta referans alınan noktalar ve oluşan düşey gerilmeler.



Şekil 13. 15. açıklık sonrasındaki topukta referans alınan noktalar ve oluşan düşey gerilmeler.



Şekil 14. 22. açıklık sonrasındaki topukta referans alınan noktalar ve oluşan düşey gerilmeler.



Şekil 15. Deney sonucunda elde edilen “gerilme–birim” deformasyon grafiği.

Şekil 11’de 1. açıklık kenarındaki, Şekil 12’de 8. açıklık kenarındaki, Şekil 13’te 15. açıklık kenarındaki ve Şekil 14’te ise 22. açıklık kenarındaki topuklarda referans alınan noktalar ve oluşan düşey gerilmeler verilmiştir. Bu grafiklere göre, en büyük düşey gerilmenin 15. açıklığın kenarındaki topukta (z= 13. m referans noktasında) 1,95 MPa olarak oluştuğu belirlenmiştir.

Modellerde bırakılan topukların duraylılığını modellerden elde edilen sonuçlar doğrultusunda değerlendirebilmek için, Tunçbilek Açık Kömür İşletmesinden alınan ve parafinlenerek özelliklerinin korunması sağlanan örnekler üzerinde gerilme-birim deformasyon deneyleri yapılmıştır. Hacettepe Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü Kaya Mekaniği Laboratuvarındaki hidrolik pres deney aletinde yapılan deneyler sonucunda, kaya kütlesi özelliklerini taşıyan kömür örneğinin tek eksenli sıkışma dayanımı 2.72 MPa olarak bulunmuştur (Şekil 15) Bu çalışmada, açıklıklarda oluşan yenilme koşulları ve dolgu uygulamasının bu yenilme koşulları üzerindeki etkileri de belirlenmeye çalışılmıştır. Bu amaç doğrultusunda, Şekil 16’da 22. açıklık etrafındaki yenilme koşulları ve aynı açıklıkta dolgu sonrasındaki yenilme koşullarındaki değişim verilmektedir. Modelde, açıklıkların üzerindeki örtü tabakasının en fazla olduğu herhangi bir nokta referans alınmış (x= 30. m) ve bu referans noktasından kesit alınarak yenilme koşulları gösterilmiştir.

Şekil 16’da önce 22. açıklığın açıldığı aşamadaki yenilme koşulları gösterilmiş (Şekil 16.(a)) ve daha sonra da dolgu sonrası 22. açıklıktaki yenilme koşulları verilmiştir (Şekil 16.(b)). Bu şekilde gösterilen belirteçteki terimler ile ilgili açıklamalar aşağıda verilmiştir.

Herhangi bir yenilmenin olmadığını (**none**),

Makaslama kuvvetlerinin etkisiyle yenilmenin olduğunu ve yenilmenin hala devam ettiğini (**shear n**),

Makaslama kuvvetlerinin etkisiyle yenilmenin olduğunu, ancak kuvvetlerin azalmasından dolayı yenilmenin sona erdiğini (**shear p**),

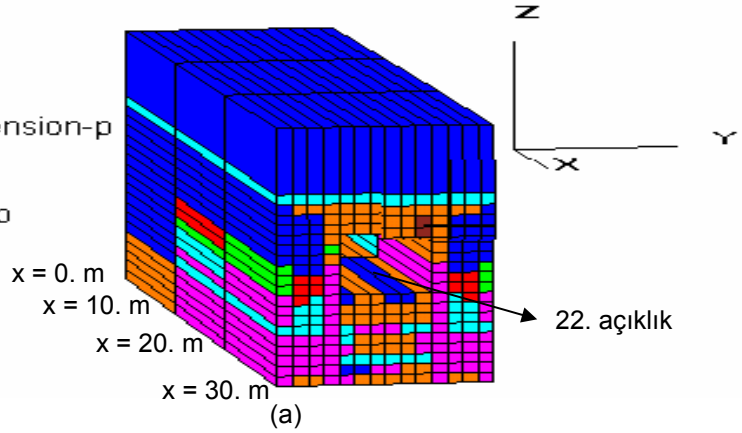
Çekme kuvvetlerinin etkisiyle yenilmenin olduğunu ve yenilmenin devam ettiğini (**tension n**),

Çekme kuvvetlerinin etkisi ile yenilmenin olduğunu, ancak kuvvetlerin azalması nedeniyle yenilmenin sona erdiğini (**tension p**), göstermektedir (ITASCA, 1997).

Şekil 16.(a)’ya göre, 22. açıklık tavanında, açıklığın tavadan itibaren yukarı doğru 1 m’lik kısımda çekme (tension) yenilmeleri devam etmektedir. Şekil 16 (a) ve (b) karşılaştırıldığında dolgu yapıldıktan sonra 22. açıklık tavanında dolgu öncesinde devam eden çekme yenilmelerinin sona erdiği görülmektedir. Dolgu öncesi ve sonrası açıklığın yan duvarları incelendiğinde ise açıklığın sol yan duvarında da 23. açıklık kazısından dolayı önceki makaslama yenilmesi bölgelerinde değişim olmaktadır.

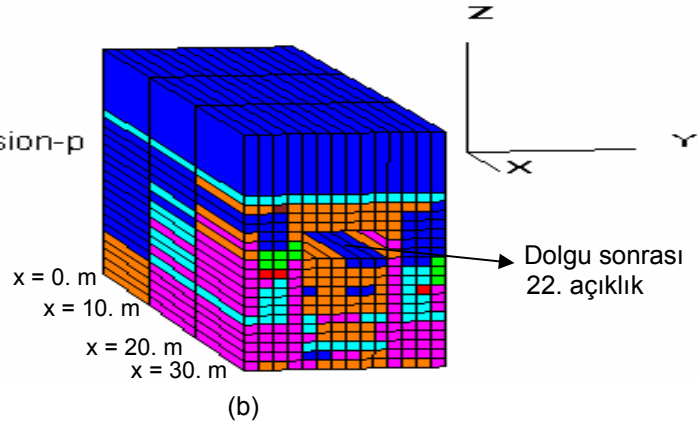
### Block State

None
shear-n shear-p
shear-n shear-p tension-p
shear-p
shear-p tension-p
tension-n tension-p
tension-p



### Block State

None
shear-n shear-p
shear-n shear-p tension-p
shear-p
shear-p tension-p
tension-n tension-p
tension-p



Şekil 16. 22. açıklıkta dolgu öncesi ve sonrası yenilme koşulları.

## 5. ÖNERİLEN ŞEVALTI ÜRETİM YÖNTEMLERİNİN BASİT EKONOMİK DEĞERLENDİRMESİ

Şev altında terk edilmiş kömür rezervlerinin üretilmesinin basit bir ekonomik değerlendirme yapıldığında, şevaltı üretimlerinin oldukça karlı olabileceği söylenebilir. Örneğin, % 50'lik kazanım oranı ile 100 m uzunluğundaki bir aynadan şev altına doğru 100 m'lik kısımda üretim yapıldığı ve kömür damarının kalınlığının da 9 m olduğu düşünülürse 45.000 m<sup>3</sup> kömür üretilir. Üretim için yapılacak yatırımın US \$ 3-4 milyon olacağı düşünülmektedir. Üretim maliyetlerinin de yeraltı üretim maliyetlerine göre daha düşük olması beklenmektedir. Burada verilen basit hesaplama ile bile şevaltı üretim yöntemi uygulanmasının ekonomik açıdan karlı

olacağını göstermektedir. Ayrıca, üretilen bu kömürün ülke ekonomisine sağlayacağı faydalar da göz önünde bulundurulmalıdır.

## 6. SONUÇLAR

Bu çalışmada, Tunçbilek Bölgesi'ndeki açık ocaklarda şev altında terk edilen kömür rezervlerinin üretilmesi için şevaltı üretim yöntemi seçenekleri önerilmiş ve aşama dolgulu şevaltı üretim yöntemini incelemek amacıyla, yöntemin FLAC<sup>3D</sup> programı kullanılarak sayısal modellenmesi yapılmıştır. Çalışma sonucunda aşağıda belirtilen bulgular elde edilmiştir.

- Aşama dolgulu şevaltı üretim yöntemi için yapılan sayısal modelleme çalışmalarına göre; açıklıklarda oluşan yerdeğıştirmelerin

milimetre bazında düşük değerler olduğu ve topuklarda oluşan en büyük düşey gerilmenin, kömür önekleri üzerinde yapılan deney sonucunda elde edilen tek eksenli sıkışma değerinden düşük olduğu belirlenmiştir. Oluşan bu yerdeğıştirmelerin açıklıklarda herhangi bir duraysızlığa neden olma olasılığı azdır.

- Modelleme çalışmalarından elde edilen yerdeğıştirme değerlerine ve açıklık çevrelerinde oluşan yenilme koşullarına göre, açıklıklar arasında bırakılan topuk genişliklerinin ve açıklıklara yapılan dolgu işlemlerinin yeterli olduğu düşünölmektedir.
- Aşama dolgulu şevaltı üretim yönteminde, kömür kazanım oranını (% 50) diğer tam dolgulu yöntem (% 40) göre daha yüksektir. Bundan dolayı bu yöntemin Tunçbilek Bölgesi'ndeki ocaklar için daha uygun olduğu öngörülmektedir. Ancak, önerilen diğer yöntemlerin de kullanılabileceği düşünölmektedir.
- Önerilen uzunayak oluşturularak şev altından kömür kazanımının yapıldığı yöntemler de, ciddi olarak göz önünde bulundurulmalı ve ayrıntılı olarak incelenmelidir.
- Hemen olmasa bile ileride şevaltı üretim yöntemlerinin uygulanma olasılığı göz önünde bulundurularak açık ocak planlaması yapılmalıdır. Ayrıca, şev altında kömür rezervlerinin bırakıldığı bölgelerde iç döküm yapılmamalıdır. Bu çalışma esas itibarıyla, şevaltı üretim yöntemi ile terkedilen rezervlerin üretilebilmesi için bir ön çalışma niteliğinde olup konunun tartışmaya açılması amaçlanmaktadır. Bu çalışma şevaltı üretim yönteminin uygulaması için yapılan bir ön çalışma olarak değerlendirilmelidir.

## KAYNAKLAR

Adhikary, D. P., Shen, B. ve Duncan Fama, M.E., 2002; "A study of highwall mining panel stability", International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences, **39**, 643-659.

Ceyhan, M. M., 2004; "Kalın Kömür Damarlarında Şevaltı Üretim Yönteminin Sayısal

Modelleme Tekniğıyle İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 139, Yayımlanmamış

Clark, H. ve Boyd, G.L., 1998; "The potential for backfill in highwall mining", Minefill '98 – Six<sup>th</sup> International Symposium on Mining with Backfill, Brisbane, Australia, 235-238.

Dermendjiev, K. ve Slavov, A., 2003; "Studying the method of mining of highwall mining systems (HMS)", 50 years University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", Annual, vol. **46.**, part II, Mining and Mineral Processing, Sofia, 15-18.

Destanoğlu, N., Taşkın, F.B., Taştepe, M., ve Öğretmen, S., 2000; "GLİ Tunçbilek-Ömerler Yeraltı Mekanizasyon Uygulaması", Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu, Ankara, 211.

Follington, I.L., Leisemann, B.E., Duncan Fama, M.E., ve Shen, B., August 1997; "Geotechnical Monitoring for Safety in Highwall Mining", Project 3053, Australian Coal Research Limited, Australia, [http://www.acarp.com.au/Completed/Open\\_Cut/briefs/oc/3053brief.html](http://www.acarp.com.au/Completed/Open_Cut/briefs/oc/3053brief.html).

Frouz, A.A., 1994; " Placement of backfill ", Mining Engineer, February, 205-211.

ITASCA, 1997; "User Manuel For FLAC<sup>3D</sup>", Ver.2.0, Itasca Consulting Group Inc., Minnesota, USA.

Kelly, M., 1999; "Developing Coal Mining Technology for the 21<sup>st</sup> Century", 99 International Symposium on Mining Science and Technology, [http://www.em.csiro.au/mine\\_engineering/research/publications/advanced\\_mining\\_systems/documents/china99sympaper.pdf](http://www.em.csiro.au/mine_engineering/research/publications/advanced_mining_systems/documents/china99sympaper.pdf)

Konak, G., 1995; "Measurement and Evaluation of Loads and Convergences In Underground Coal Mines With Regard To Roof Control", PhD Thesis, Dokuz Eylül University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, İzmir, 126.

Matsui, K., Shimada, H., Kramadibrata, S. ve Rai, M.S., 2001; "Some Considerations of Highwall Mining Systems in Coal Mines", IMCET 2001 Proceedings, 17<sup>th</sup> International Mining Congress and Exhibition of Turkey, Ünal E.

et al. (eds), Ankara, ISBN 975-395-417-4, 269-276.

Matsui, K., Shimada, H., Sasaoka, T., Yabuki, A., Ueda, T. ve Furukawa, H., 2003; "Optimal highwall thick seam mining systems considering the in-situ stress conditions", Proc. of the 3<sup>rd</sup> International Symposium on Rock Stress, Kumamoto, JAPAN, November, 527-533.

Shen, B. and Duncan Fama, M., 2000; "Highwall Mining", The Australian Coal Review, October, 20-24.

Shimada, H., 2003; Yazılı görüşme, University of Kyushu, Department of Earth Resources Engineering, Fukuoka, 812-8581, Japan.

Shimada, H., Sasaoka, T., Kubota, S., Matsui, K. and Yoshida, Y., 2003; "The Application of Flyash Cement in Mining Backfill Material", Proc. of 12<sup>th</sup> International Symposium on Mine Planning & Equipment Selection, Kalgoorlie, Australia, April, 199-204.

Singh, R., 1999; "Mining methods to overcome geotechnical problems during underground working of thick coal seams-case studies", Trans. Inst. Min. Metall. (Sec. A: Min. Industry), **108**, May- August, A121- A131.

Yaşıtlı, N.E., 2002; "Tavan Kömürü Göçertmeli Uzunayak Yönteminin Sayısal Modellenmesi", Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 148, Yayınlanmamış.

Yaşıtlı, N.E. ve Ünver; B., 2005, 3-D numerical modeling of longwall mining with top coal caving, Int. Jour. of Rock Mech. and Min. Sci., **42**, (2), 219-235.