

UZUNAYAK ÜRETİMİNİN FLAC3D İLE MODELLENMESİ *Modelling of Longwall Mining by FLAC3D*

Güneş ERTUNÇ (*)
Mehmet Ali HİNDİSTAN (**)
Bahtiyar ÜNVER (***)

ÖZET

Yeraltı kömür madenciliğinde, damar eğimi, kalınlığı ve formasyon yapısı uygun olan koşullarda tam mekanize uzunayak üretim yöntemi yaygın olarak kullanılmaktadır. Yüksek yatırımlar gerektiren bu yöntem, diğer geleneksel madencilik yöntemlerine göre sağladığı yüksek üretim sonucunda birim üretim maliyetinin daha düşük tutulabilmesi nedeniyle tercih edilmektedir. Sağlam tavan koşullarında yeni bir panonun üretimine başlandığı ilk aşamalarda, ayak arkası göçmeyebilmekte ve ayak gerisine doğru sarkan tavan taşı nedeniyle tahkimat üniteleri üzerine gelen düşey gerilme değeri göçük oluşuncaya kadar sürekli olarak artmaktadır. Düşey gerilmenin artması, tahkimat ünitelerinin üzerine aşırı yük binmesine neden olmaktadır. Ayrıca, ayak arkasında oluşan büyük boşluğun aniden göçmesi ayak tahkimatı üzerinde aşırı dinamik yük binmesine neden olmaktadır. Bu çalışmada yeraltı uzunayak üretim yöntemi FLAC3D yazılımı kullanılarak sayısal olarak modellenmiştir. Bu modelleme çalışmalarında gerekli tanımlamalar yapılırken Çayırhan linyit madenine ait değerler (geometrik ölçüler, jeomekanik değişkenler, vb.) kullanılmıştır. Yapılan analizler sonucunda ayak ilerlemesi ile genel olarak ayak çevresinde meydana gelen basınç değişimleri incelenmiştir. Göçüğün oluşması ile ayak önü dayanak basınç değerlerinde düşme olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Uzunayak madenciliği, göçük, FLAC 3D

ABSTRACT

Fully mechanised longwall mining for coal production is widely used when seam inclination, thickness and formations are suitable. Although this kind of methods need high initial investments, its high productivity decreases unit production cost if it is compared to traditional systems. Mechanised systems are fast and productive, but in some situations production rate might extremely decrease and dangerous production conditions might occur. One of these conditions arises if hanging wall do not cave properly during production. This may occur especially when production of a new longwall panel is started. If hanging wall strata do not cave in time, it starts to act as a beam on support units and thus stress on the units increase continuously as a result of cantilever effect. This stress increment on the units causes shortening in the height of support units and thus production rate decreases to a very low levels. In this study, longwall mining method is modeled numerically by using FLAC3D software to investigate stress distribution during production stages. As much as possible, input parameters of the model are defined according to the characteristics (geometry, geomechanic parameters, etc.) of Çayırhan coal mine. Stresses are analysed and it is seen that vertical stress at the face decreased as the gob occurs.

Keywords: Longwall, Gob, FLAC 3D

(*) Araş. Gör., Hacettepe Üniv., Müh. Fak., Maden Müh. Böl., Beytepe/ANKARA
gertunc@hacettepe.edu.tr

(**) Yrd. Doç. Dr., Hacettepe Üniv., Müh. Fak., Maden Müh. Böl., Beytepe/ANKARA

(***) Prof. Dr., Hacettepe Üniv., Müh. Fak., Maden Müh. Böl., Beytepe/ANKARA

1 GİRİŞ

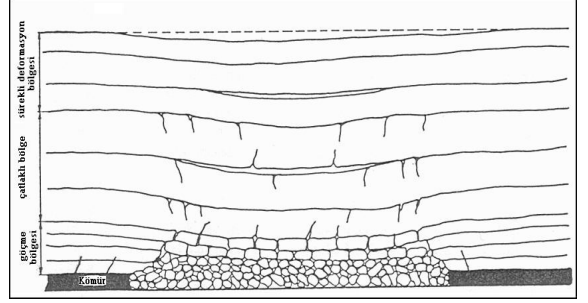
Yeraltı kömür madenciliğinde en sık kullanılan üretim yöntemi olan uzunayak yönteminde aynadan kömür kazılması sonucunda oluşan boşluğa tahkimatın iletilmesi sonucunda ayak arkasındaki kısım göçmeye bırakılmaktadır. Uzunayak üretim yönteminin verimli ve güvenli bir şekilde yapılabilmesi için göçmenin düzenli bir şekilde meydana gelmesi önem taşır. Ayak çevresinde basınç dağılımı ile düzenli göçme arasında çok önemli bir ilişki vardır. Ayak tahkimatının duraylılığı, kömür içerisindeki gaz yayılımı ve genel olarak tabaka kontrolü doğrudan ayak çevresindeki basınç dağılımı ile ilgilidir. Uzunayak verimi ve güvenliliğini büyük ölçüde etkileyen ayak arkası göçüğünün oluşma mekanizması sayısal modelleme yardımıyla incelenilmektedir. Özellikle, panoda üretimin ilk başladığı dönemlerde ayak arkasında göçüğün oluşabilmesi için yeterli büyüklükte boşluk oluşmadığından, göçme düzenli olarak gerçekleşmeyebilir. Bu durumda hem ayak çevresine yüksek basınçlar gelmekte, hem de ani göçmeler sırasında oluşan yüksek dinamik yüklerden dolayı ayak duraylılığı ciddi şekilde etkilenmektedir.

Ayak ilerlemesine bağlı olarak ayak arkasında kalan boşluğun giderek genişlemesi tavanın boşluğa doğru göçmeden bir miktar sarkmasına neden olmakta ve bu sarkma sonrasında da arın ve ayak tahkimatı üzerinden kaldıraç etkisiyle büyük yükler binmektedir.

Çalışmaya konu olan Çayırhan yeraltı işletmesinde ayak arkasında oluşan ilk göçme sırasında ayak içi mekanize tahkimat ünitelerinde hasarlar meydana gelmiştir. (Şenfilo, 2006)

1.1 Uzunayaklarda Tabakalar ve Tabaka Hareketleri

Peng ve Chiang (1984) yaptıkları çalışmada bir kömür damarı üzerindeki örtüyü oluşturan tabakaları 3 bölgeye ayırmışlardır (Şekil 1). İlk bölge, yalancı tavanın bulunduğu göçme bölgesidir. Bu bölgenin yüksekliği, üretim yüksekliğinin 2 ila 8 katı arasında değişmektedir. Göçme bölgesinde tabakalar, altında boşalan zemine düşmektedir. Kayaçlar kırılmış olduğundan yığın veya kabarma katsayısı (kırılmış kayaç hacminin katmandaki hacme oranı) 1'den büyük olmaktadır.



Şekil 1. Uzunayak örtü tabakası bölgeleri (Peng, 1986).

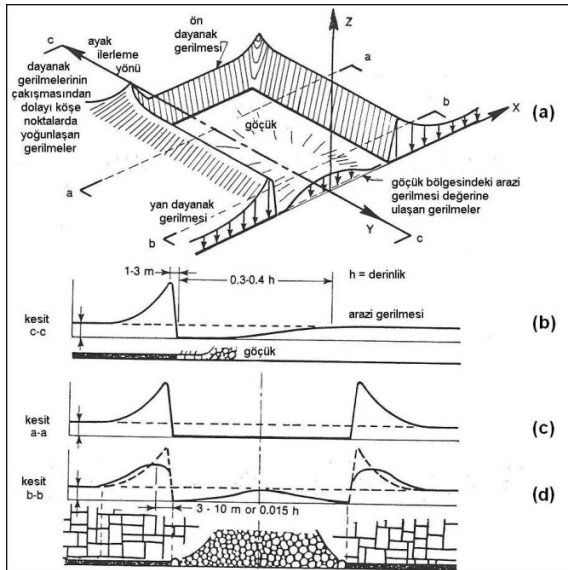
Göçme bölgesinin üzerinde çatlaklı bölge yer almaktadır. Bu bölgede tabakalar, yatak ayrımına göre dikey ve yatay kırıklar ile ayrılmış bloklar halindedir. Dik çatlaklar arasında temas olduğundan yatay kuvvetler tabaka boyunca iletilirler ve bloklar serbestçe hareket edememektedir. Bu bölgedeki tabaka yüksekliği, üretim yüksekliğinin 28 ila 42 katı arasında değişmekte ve göçme bölgesiyle birleşince, üretim seviyesinden 30 ila 50 katı yukarısında yer alabilmektedir.

Çatlaklı bölge ile yeryüzü arasındaki bölge, sürekli deformasyon bölgesi olarak adlandırılmaktadır. Bu bölgede çatlaklı bölgedeki gibi büyük kırıklar görülmekte ve katmanlar sürekli ortam gibi davranmaktadır.

1.2 Dayanak gerilmeleri

Kavramsal olarak, kazı yapılmadan önce, örtü tabakası ağırlığının yaratmış olduğu yükler altındaki kömür damarı, damardan daha sağlam tavan katmanları ve taban katmanları arasında bulunmaktadır. Bu koşullar altında gerilme düzenli şekilde dağılmaktadır. Ancak üretim başladığında bu gerilmeler yeniden düzenlenmekte ve yeni denge oluşmaktadır. Derinliği 300 ila 400 m arasında bulunan uzunayak madenlerinde, ayna çevresinde yapılan arazi gerilmeleri ölçümlerinde tavan kontrolünün tahkimat tarafından 20 ila 50 ton/m² kapasite ile sağlandığı gözlemlenmektedir. Bu değer, örtü tabakasında yer alan katmanların ağırlığı ile karşılaştırıldığında daha küçük olduğu görülmektedir. Bunun nedeni, katmanların ağırlığının uzunayak madenlerinin jeomekanik özelliklerinden dolayı aynasının ön, arka ve yan kısımlarına aktarılmasıdır. Bu durum; damarda, bir ayağı henüz kazılmamış kömürde, diğer ayağı ise göçük bölgesinde olan bir köprü oluşturmaktadır. Bu köprünün

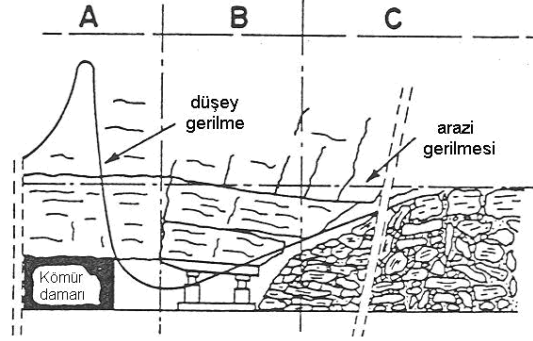
her iki ucunda sıkışma meydana gelmekte ve böylece ayaktaki tahkimatlar, ayağın üzerindeki katmanların 10 ila 15 m kalınlıktaki ağırlığı kadar yükü taşıyabilmektedir (Bieniawski, 1989). Üretim devam ettikçe, örtü tabakasının yarattığı gerilmeler köşe bölgelerde üst üste binerek büyük gerilmeler oluşmaktadır. Bu köşeler dayanak; bu bölgelerdeki gerilmeler ise dayanak gerilmeleri olarak adlandırılmaktadır. Uzunayak panosunun önündeki dayanak gerilmesine "ayak önü dayanak gerilmesi", panonun tavan, taban yolları boyunca gözlemlenen ve göçükteki gerilmeler ise "yan dayanak gerilmesi" olarak adlandırılmaktadır (Peng, 1986). Yan dayanak gerilmeleri pano köşelerinden uzaklaştıkça üstsel bir şekilde azalmakta ve örtü tabakasının yarattığı gerilme değerine ulaşmaktadırlar (Şekil 2), (Jeremic, 1985).



Şekil 2. Uzunayak panosu tavanındaki düşey gerilmeler (Whittaker, 1974).

1.2-1 Ön ve yan dayanak gerilmeleri

Uzunayağın jeolojik yapısına bağlı olarak çok küçük değerlerde olsa da, ön dayanak gerilmesi, ayağın örtü tabakası derinliği kadar ilerisinde gözlemlenmektedir ve ayağın yaklaşık 30 m ilerisinden başlayarak ayağa yaklaştıkça hızlı bir şekilde artmaktadır. Ancak bu noktadan itibaren, tahkimatların etkisiyle, ayak içinde arazi gerilme değerinin de altına düşmektedir. Daha sonra, göçük bölgesine doğru tekrar artış eğilimi göstermekte ve göçük içinde arazi gerilmesi değerine yaklaşmaktadır. Göçük bölgesinde gerilme, arazi gerilmesine ulaşıncaya kadar artmaktadır (Şekil 3), (Bieniawski, 1989).



Şekil 3. Ön dayanak gerilmesi (Bieniawski, 1989).

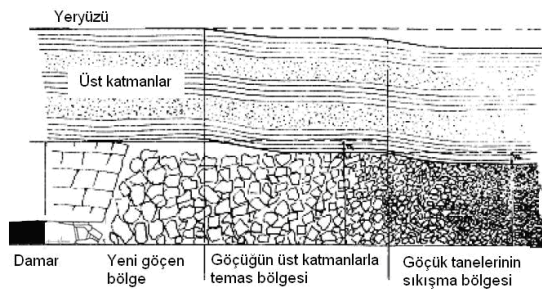
Ön dayanak gerilmesi genişliği, üretim yapılan bölge boyunca düzenli bir dağılım göstermemektedir. Ayak başlarında, panonun bitişiğindeki üretimi bitmiş panoların etkisiyle daha büyük olan gerilme ayak ortasına doğru azalmaktadır (Peng, 1986).

Ön dayanak gerilmesinin en yüksek olduğu bölge, yalancı tavanın zayıf olduğu ve tahkimatların hemen arkasına çöktüğü durumlarda genellikle panonun köşelerinde gözlemlenmektedir (Jeremic, 1985).

1.2-2 Göçük bölgesindeki gerilmeler

Göçük, uzunayak madenciliğinde oldukça önemli rol oynamaktadır. Göçük oluşum süreci madenin büyük bölümündeki gerilme değerlerini değiştirmektedir. Bu değişimlerin büyüklükleri ve sınırları, tavan taban yollarının duraylılığına etki etmektedir.

Yalancı tavan göçük bölgesine göçtüğü zaman göçen malzemenin ağırlığı göçük bölgesindeki gerilmeleri oluşturmaktadır. Göçük malzemelerindeki kayalar yığın oluşturmaya devam ettikçe bu bölgedeki gerilim de artmakta, göçük bölgesindeki kırık kayalar aynadan arkaya doğru, dereceli olarak sıkışmaktadır (Şekil 4), (Sweby, 1997).



Şekil 4. Göçük bölgeleri (Sweby, 1997).

2-GÖÇÜĞÜN SAYISAL MODELLEMESİ

Göçük bölgesindeki gerilmelerin modellemesinde, teorik (Salomon ve Tergazhi modelleri), görgül (G. Afrika dolomite göçük modelleri) ve sayısal modelleme yaklaşımlarının yanı sıra ölçümler, gözlemler ve daha önceki panolardan edinilmiş tecrübeler kullanılmaktadır (Badr, 2002).

2.1- Teorik Göçük Modelleri

Göçük bölgesindeki sıkışmayı en iyi, "birim deformasyon sertleşmesi oluşum yasası"nın (strain-hardening constitution law) açıkladığı varsayılmaktadır. Artan birim deformasyonlar altında göçük malzemesi; aralarındaki boşluk kapanarak, biraraya toplanır ve gerilmeyi üstel olarak arttırır. Gerilme-birim deformasyon grafiğinin eğimi (Tanjant Young modülü) göçük üzerindeki birim deformasyonun artmasıyla artar. Salomon (1990) çalışmalarında birim deformasyon sertleşmesi davranışını temel almıştır.

2.1.1 Salomon'un göçük modeli

Salomon'a göre göçük malzemesinin sıkışma davranışı aşağıdaki eşitliğe göredir (Pappas ve Mark, 1993);

$$\sigma_v = \frac{E_0 \times \varepsilon}{\left(1 - \frac{\varepsilon}{\varepsilon_m}\right)} \quad (1)$$

Burada;

σ : göçükteki gerilme, (MPa)

ε : göçükteki birim deformasyon,

E_0 : sekant modülü, (MPa)

ε_m : en yüksek göçük birim deformasyonudur.

Eşitlik göçük malzemesinin gerilme birim deformasyon ilişkisinin üstel olduğunu ifade etmektedir. Bu eşitlik için; göçük malzemesinin sekant modülü (E), göçükte çeşitli noktadaki birim deformasyon (ε) ve göçükteki en yüksek birim deformasyonun (ε_m) bilinmesi gerekmektedir.

2.1.2 USBM'nin göçük modellerini değerlendirmesi

Birleşik Devletler Madencilik Bürosu (USBM) araştırmacıları Salomon'un göçük modellerinin geçerliliklerini belirlemek amacı için çeşitli araştırmalar yapmışlardır (Pappas ve Mark, 1993). Laboratuvar çalışmalarında göçük malzemesiyle aynı tane dağılımına sahip parçalı malzemeler kullanılmıştır.

Çalışmalarda kullanılan kayaçlar şist, zayıf kumtaşı ve sağlam kumtaşı, Virginia ve Doğu Kentucky madenlerindeki göçüklerden toplanmıştır.

Şekil 5'te görülen USBM tarafından yapılan araştırmalar sonucunda elde edilen grafiklerden görüleceği gibi sıkıştırma deneyine tabi tutulan göçük malzemeleri davranışı temsil için Salomon'un eşitliğinin daha uygun olduğu sonucuna varılmıştır.

2.2 FLAC3D ve Yığın Güncelleme Yordamı

Bu çalışmada Salomon'un teorik göçük modeli temel alınarak göçük malzemesi sayısal olarak modellenmektedir.

$$\sigma_v = \frac{E_0 \varepsilon}{\left(1 - \frac{\varepsilon}{\varepsilon_m}\right)} \quad (2)$$

Eşitlik 2 düzenlendiğinde Eşitlik 3 halini almaktadır.

$$\sigma_v = \frac{a\varepsilon_v}{b - \varepsilon_v} \quad (3)$$

Burada;

a: göçük malzemesi deformasyon modülü (MPa)

b: göçük bölgesi yüksekliğinin yarısındaki en büyük birim deformasyonu ifade etmektedir.

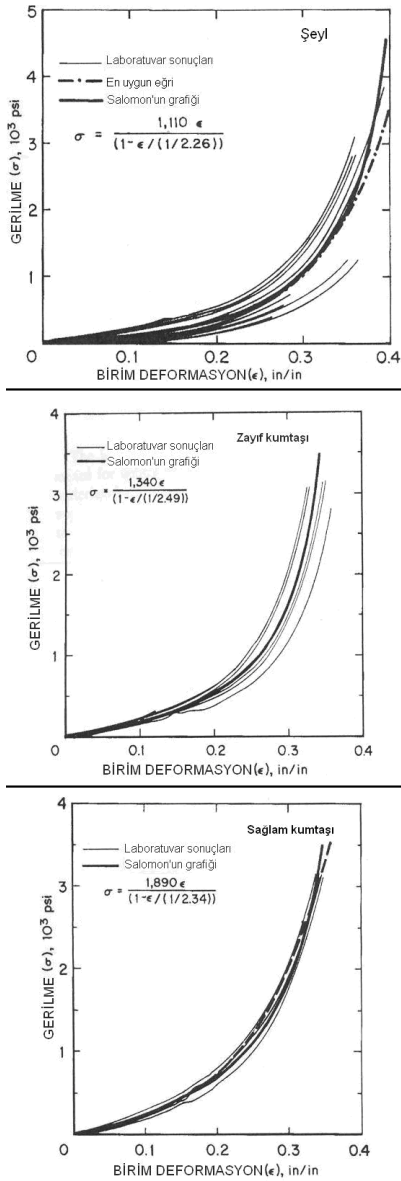
Çayırhan'da göçme sorununa yol açan tabaka sağlam ve masif kireçtaşıdır. Ancak, Pappas ve Mark tarafından üç farklı malzeme için a ve b katsayıları verilmektedir. Bunlar içerisinde sağlam kireçtaşı bulunmadığından dolayı, en uygun seçenek olarak modelde göçük malzemesini tanımlamak için, sağlam kumtaşı seçilmiştir. Bu durumda, a ve b değerleri sırasıyla 5.21 MPa ve 0.402 olarak alınmıştır (Pappas ve Mark, 1993).

Bu durumda Eşitlik 3;

$$\sigma_v = \frac{5.21\varepsilon_v}{0.402 - \varepsilon_v} \quad (4)$$

halini almaktadır.

Eşitlik 4'te görüldüğü gibi göçük bölgesindeki sıkışmanın yüksekliğin yarısına ulaşmasıyla; gerilmelerde asimtotik bir artış meydana gelmektedir. Teorik olarak bu noktadaki gerilme arazi gerilmesine eşit olmaktadır.



Şekil 5. Göçük malzemesinin gerilme-birim deformasyon ilişkisi ile teorik modelin karşılaştırılması.

2.3 Yiğın Modülü Güncelleme Yordamı

Modelde, göçük malzemesinin hacimsel modülü, K, göçük tavan konverjansından kaynaklanan birim deformasyonuna göre sürekli güncellenmektedir.

FLAC 3D programında elastik özellikler yiğın ve makaslama (K, G) modülleri cinsinden hesaplanmaktadır. Eşitlik 5 düşey gerilmeyi K ve G cinsinden vermektedir (Itasca, 1997).

$$\sigma_v = \left(K + \frac{4G}{3} \right) \varepsilon_v \quad (5)$$

Göçük malzemesinin poisson oranı 0.2 alındığı takdirde Eşitlik 5 (Badr, 2002);

$$\acute{o}_v = \left[K + \frac{4}{3} \frac{3K}{4} \right] \acute{a}_v = 2K\acute{a}_v \quad (6)$$

halini almaktadır.

Eşitlikler 3 ve 6 birleştirildiğinde;

$$2K\varepsilon_v = \frac{a\varepsilon_v}{b - \varepsilon_v} \quad (7)$$

$$K = \frac{0.5a}{b - \varepsilon_v}$$

olarak yazılabilir.

Yiğın modülü, her D \acute{a}_v değişimi için DK değerine güncellenmelidir. Bu değişim Eşitlik 7'de \acute{a}_v 'nin türevini almakla mümkün olmaktadır (Badr, 2002).

$$\Delta K = \frac{0.5a}{(b - \acute{a}_v)^2} \quad (8)$$

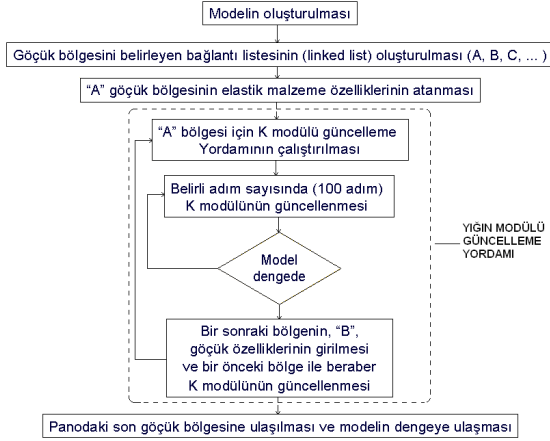
Eşitlik 8, yiğın modülünün; göçük bölgesi tavan konverjansından kaynaklanan birim deformasyonu \acute{a}_v 'ye göre güncellenmesinde kullanılmaktadır.

Bu yordamın FLAC 3D'de uygulanması için izlenmesi gereken adımlar aşağıda listelenmektedir (Badr, 2002). Bu işlemin akım şeması Şekil 6'da verilmiştir.

Adım 1. Göçük bölgesinin bağlantılı liste (linked list) ile tanımlanması.

Adım 2. Göçük malzemesi elastik özelliğinin, "non-linear" elastik malzeme özelliklerine dönüşmesi.

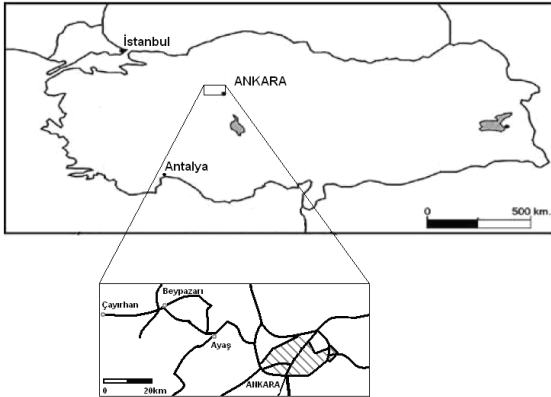
Adım 3. Göçük malzemesine başlangıç yığın modülünün K atanması (Eşitlik 7).
 Adım 4. Modelin dengeye ulaşması.
 Adım 5. Göçük bölgesindeki birim deformasyon aracılığıyla ΔK 'nın hesaplanması (Eşitlik 8).
 Adım 6. ΔK 'nın tekrar kullanılarak adım 3'ten 5'e kadar tekrar edilmesi.



Şekil 6. Yığın modülü güncellemesi akım şeması (Badr, 2003).

3. ÇAYIRHAN İLE İLGİLİ BİLGİLER

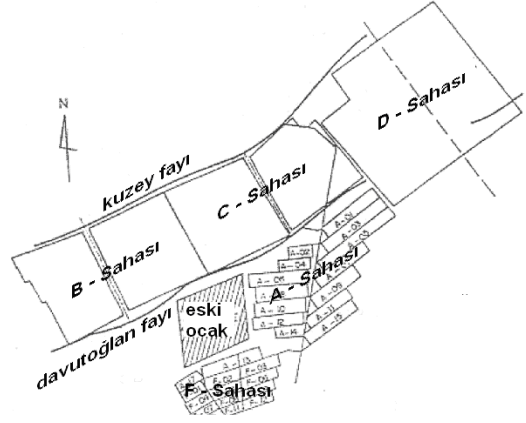
Ankara'nın 125 km batısında (Şekil 7), Çayırhan beldesinin kuzeydoğusunda yer alan havzada yaklaşık 400 milyon ton görünür kömür rezervi bulunmaktadır.



Şekil 7. Çayırhan bölgesinin yer bulduru haritası.

Kalınlıkları 1.6 m ve 1.9 m olan iki kömür damarı, kalınlığı 0.5-2 m arasında değişen bir ara kesme ile ayrılmaktadır. Ayrıca bu iki damarın yaklaşık 150 m kadar altında, kalınlığı 2-11 m arasında değişen, ancak henüz işletilmemekte olan üçüncü bir damar bulunmaktadır. Havzadaki

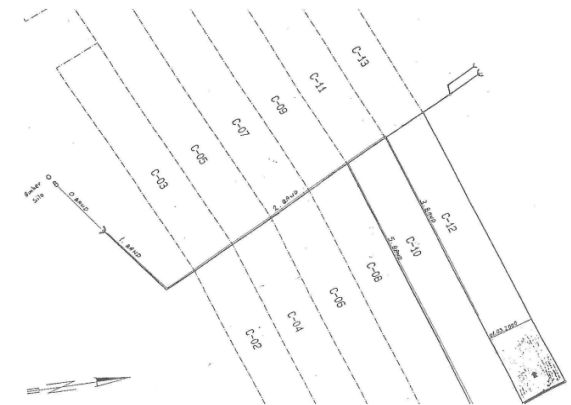
sahalar Şekil 8'de verilmektedir. Sahalarda damarlar homojen kalınlıkta olup mekanize üretimin yapılmasını engelleyecek ölçüde faylanmalar mevcut değildir.



Şekil 8. Havzanın sahalarla ayrılması (Erdoğan, 2001).

Sayısal modellemesi yapılan uzunayak panosu C sahasında bulunan C-06 panosudur. Üretim yöntemi olarak geri dönümlü göçertmeli tam mekanize uzunayak yöntemi seçilen panolarda, havzanın batısında bulunan B sahasındaki kömür damarının ara kesmesi 1.3-2 m arasında olmasından dolayı iki damar ayrı ayrı çalışacak şekilde projelendirilmiştir. B sahasından farklı olarak C sahasında ara kesmenin 0.5-0.7m arasında olması nedeniyle iki damar ve ara kesmenin tek damar olarak çalışılması şeklinde projelendirilmiştir.

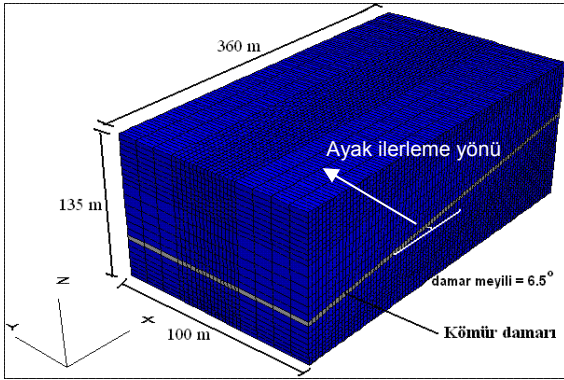
C sahasında, 1700 m uzunluğunda ve 220 m genişliğinde 13 pano mevcuttur (Şekil 9). Bu sahada kuzey ve güney olarak adlandırılan iki giriş bulunmaktadır. Panoların eğimi 30°, yüksekliği 4.4 m olup, panolar 25 m² kesit alanına sahiptir.



Şekil 9. C-Sahası üretim panoları

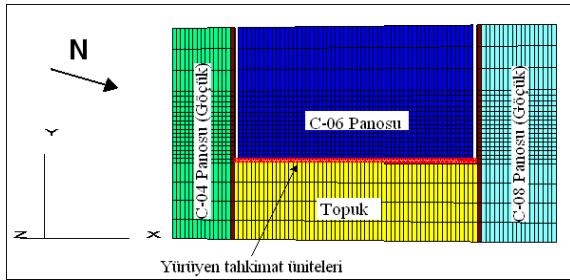
4. UZUNAYAK PANOSUNUN FLAC 3D PROGRAMI İLE BENZETİŞİMİ

Park Teknik AŞ Çayırhan linyit işletmesinde C sahasında kalan son pano olarak üretimi yapılan C-06 uzunayak panosunun FLAC3D programında modeli oluşturulmuştur (Şekil 10). C-06 panosunun 3 boyutlu modeli oluşturulurken öncelikle model geometrisinin, yani modelin her yöndeki (x, y ve z) boyutlarının belirlenmesi gerekmektedir. C-06 panosunun ayak uzunluğu 220 metredir. C-06 panosunu ve C-04 ve C-08 panolarındaki göçük malzemesinin bir bölümünün içeren model "+x" yönünde 360 m, "+y" yönünde 100 m ve "+z" ekseninde 135 m alınmıştır.



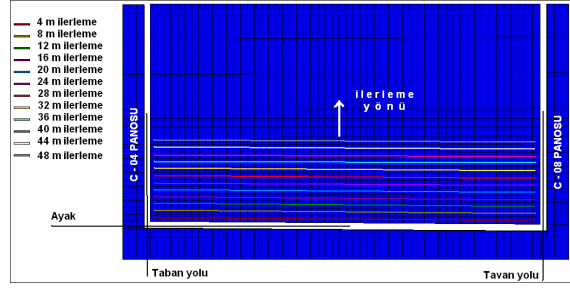
Şekil 10. FLAC3D programında oluşturulan model.

Şekil 11'de üretimin yapıldığı derinliğin kesiti görülmektedir. Modelleme iki aşamadan oluşmaktadır.



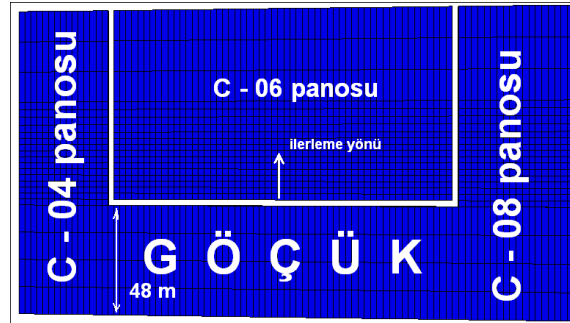
Şekil 11. Üretimin yapıldığı derinliğin kesiti.

Birinci aşamada ayağın üretime başladığı nokta ile göçüğün meydana geldiği nokta arasındaki uzaklık eşit miktarlarda artırılarak ayrı ayrı modeller oluşturulmuştur (Şekil 12).



Şekil 12. Birinci aşamadaki çözümlerde ayağın ilerleme şeması.

Modellemenin ikinci aşamasında ise göçüğün tamamı tanımlanarak çözümlenmiştir (Şekil 13).



Şekil 13. İkinci aşamadaki çözümlerde ayağın ilerleme şeması.

4.1 Modelinin oluşturulması

Model çalışmaları aşağıda sıralanan aşamalardan oluşmaktadır.

- Sınırların ve malzeme özelliklerinin belirlenmesi
- Model geometrisi ve ayağın oluşturulması
- Sınır, başlangıç ve bitiş koşullarının belirlenmesi
- Programın çalıştırılması ve çıktıların izlenmesi
- Modelde geriye dönüşüm ve yeni düzenlemelerin yapılması
- Son çıktıların elde edilmesi

Model oluşturulduktan sonra hava giriş ve hava çıkış taban yolları oluşturulmuş daha sonra ayak içinde kullanılan yürüyen tahkimatlarını temsil etmek için yapısal eleman (shell) kullanılmıştır. Bu tahkimat elemanı ile ayak tavanına gerçeğe uygun bir şekilde tahkimat yerleştirilebilmektedir. Bu nedenle ayak içine yürüyen tahkimatı temsil etmek üzere elastisite modülü 180 GPa, Poisson oranı 0.3 ve kalınlığı 0.45 m olan bir kabuk eleman yerleştirilmiştir. Bu sayede ayak içindeki tahkimatın tavana göstermiş olduğu direnç modellenebilmiştir.

Modellerde tabakaların mekanik (yenilme) davranışı, doğrusal Mohr-Coulomb yenilme ölçütü ile ifade edilmiştir. Çayırhan yeraltı ocaklarının bulunduğu

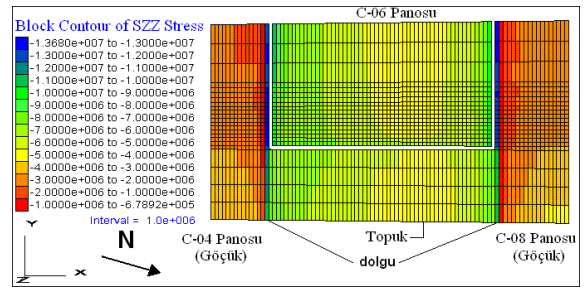
havadaki jeolojik birimlerden kil, marn, kömür ve taban kilitaşı modelde girdi olarak kullanılmıştır. Bu birimlere ait jeomekanik özellikler Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. Jeolojik Birimlere ait Jeomekanik Özellikler.

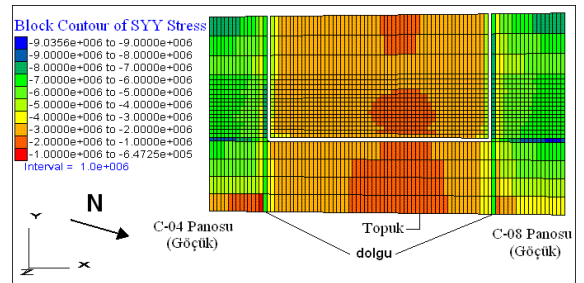
Jeomekanik Özellik	Birim	Kaya Birimleri			
		Kil	Marn	Kömür	Taban Kilitaşı
Hacimsel Modül	(MPa)	1847	3067	1311	1925
Çekme Dayanımı	(MPa)	0.024	0.07	0.015	0.03
Young Modülü	(MPa)	1995	4600	1967	2425
İçsel Sürtünme Açısı	(°)	20	21	22	19
Kohezyon	(MPa)	16.60	0.70	0.62	0.72
Birim Ağırlık	(kN/m ³)	23	22	13.5	28
Poisson Oranı	-	0.32	0.25	0.25	0.29
Makaslama Modülü	(MPa)	756	1840	787	940
Tek Eksenli Basınç Dayanımı	(MPa)	1.8	1.9	1.4	1.9

4.2 C-06 Panosunda Üretime İlk Başlandığı Durumun Modellenmesi

Çözüm sonunda kömür damarı seviyesindeki düşey yönde ("z" yönünde) oluşan ikincil gerilmeler Şekil 14'te; yatay yönde ("y" yönünde) oluşan gerilmeler Şekil 15'de verilmektedir. Model çalışmalarında şekil üzerindeki değerler Pascal (Pa) dır ve (-) basma gerilmesi, (+) ise çekme gerilmesi olduğunu ifade etmektedir. Şekiller üzerinde görülen -1.368e+007, gerilmenin 13.68 MPa olduğunu ve basma gerilmesi olduğunu göstermektedir.

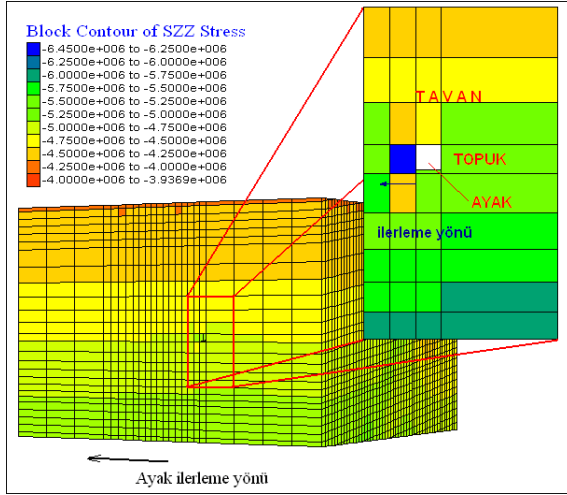


Şekil 14. Panoda kazıya başlandıında düşey yönde ("z" yönü) oluşan gerilmeler



Şekil 15. Panoda kazıya başlandıında yatay yönde ("y" yönü) oluşan gerilmeler.

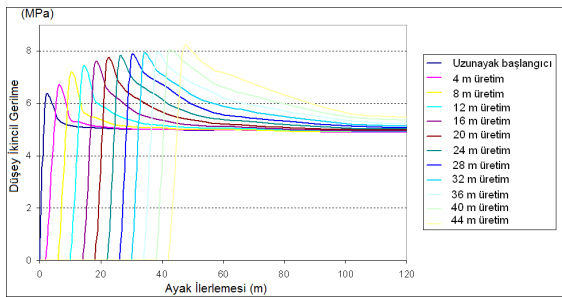
Panonun tam ortasında, oluşan düşey gerilme değerleri Şekil 16'da gösterilmektedir.



Şekil 16. Ayak çevresinde oluşan düşey gerilme değerleri.

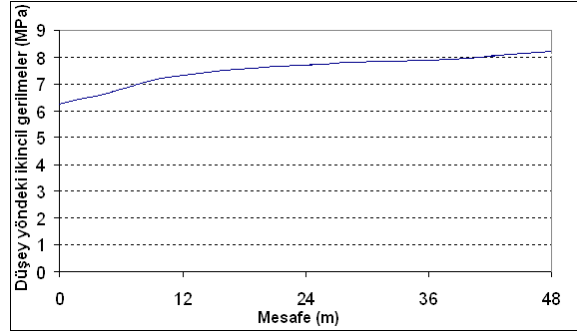
4.3 İlk Göçük Oluşumuna Kadar Yapılan Çözümler

İlk göçmenin meydana geldiği 48. metreye kadar, 4 metre arayla çözümlenmeleri yapılan modellerin ayak ortasından alınan kesit boyunca düşey gerilme dağılımları Şekil 17'de görülmektedir.



Şekil 17. Ayağın 4 metrelik ilerlemeler sırasında, pano ortasında oluşan düşey gerilme dağılımları.

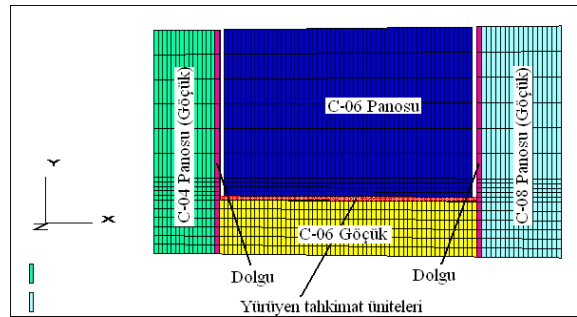
Şekil 17'de görüldüğü gibi, ilerlemeler sırasında ayak önündeki en yüksek ikincil düşey gerilme değerleri 48 metreye kadar azalarak artan bir davranış içindedir. Bu davranışı tanımlayabilmek için her ilerleme mesafesindeki en yüksek ikincil düşey gerilme değerleri aynı grafikte bir araya getirilmiştir (Şekil 18).



Şekil 18. En yüksek ikincil düşey gerilme değerlerinin mesafeye göre değişimi.

4.4 Ayakta Göçüğün Meydana Geldiği Durumun Modellenmesi

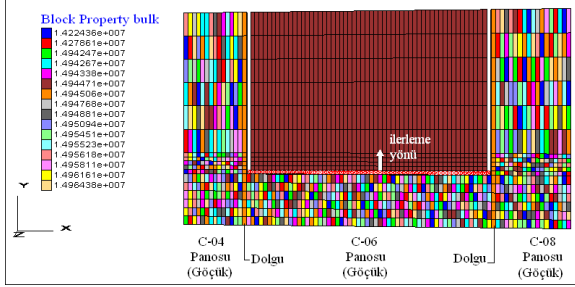
C-06 panosunda yalancı tavanın kırılması ve dolayısıyla göçüğün oluşması 48. metrede gerçekleşmiştir (Şenfilo, 2006). Daha önce verilen modellerde ayak ilerlemesine bağlı olarak ayak arkasında meydana gelmediği ve bu bölümün boşluk olduğu durum göz önüne alınmıştır. Modellemenin bu aşamasında ayak arkasında, ayak ilerlemesine bağlı olarak boşluk meydana gelmediği, diğer bir ifadeyle, ayak arkasından panoda üretimin başladığı andan itibaren göçme meydana geldiği durum incelenmiştir. Bu sayede ayak arkasının göçmemesi ve göçmesi durumları arasında bir karşılaştırma yapılması hedeflenmiştir (Şekil 19).



Şekil 19. Modelin kömür damarı seviyesindeki durumu.

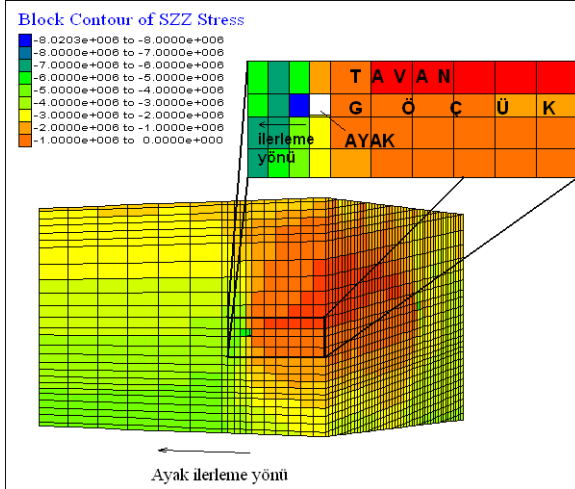
Modelleme çalışmasında, ayak arkasına 48 metre boyunca göçük malzemesi özellikleri atanmıştır. Göçüğü oluşturan kırılmış malzemenin özellikleri sabit olmayıp ayak ilerlemesine bağlı olarak üzerinde ana tavan tabakalarının yük uygulaması neticesinde sürekli olarak değişmektedir. İlk göçtüğü anda çok gevşek bir yapı gösteren göçük malzemesi daha sonra üzerine yük binmesi neticesinde

sıkışmakta ve böylece deformasyon özellikler sürekli olarak değişmektedir. Bu durumun gerçekçi olarak modele girdi sağlayabilmesi için göçük malzemesi özelliklerinin üzerine gelen yükün bir fonksiyonu olarak nasıl değiştiği Bölüm 2.3'te verilmiş olan yordam kullanılarak belirlenmiştir (Şekil 20).



Şekil 20. Göçüğün yığın modülü.

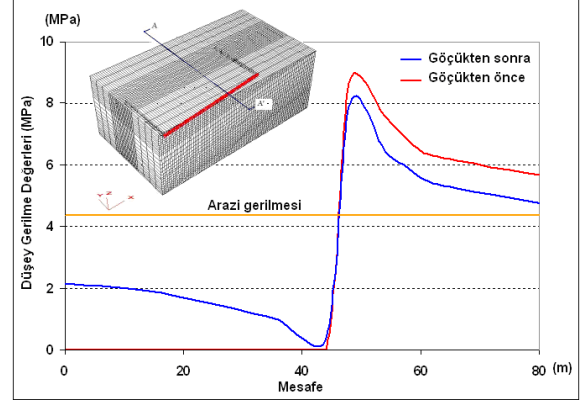
Modelde kömür damarı seviyesindeki düşey yönde ("z" yönünde) oluşan ikincil gerilmeler Şekil 21'de verilmektedir.



Şekil 21. Ayak çevresinde "z" yönünde oluşan düşey gerilme dağılımları.

Şekil 22'de göçük olduktan hemen sonra ve göçük olmadan önce, ayak ortasında pano boyunca "z" yönünde ikincil düşey gerilme dağılımının grafiği verilmektedir.

Göçük bölgesinde düşey gerilme değeri, ayaktan uzaklaştıkça arazi gerilme değerine yaklaşmakta ve 2.02 MPa değerine kadar çıkmaktadır. Aynanın önünde ön dayanak gerilmesinin aldığı en yüksek değer 8.02 MPa'dır. Bu değer arazi gerilmesinin yaklaşık 2 katıdır.



Şekil 22. Göçükten önce ve göçükten sonraki durumda oluşan düşey gerilme dağılımı.

5. SONUÇLAR

Derinliğin az ve tavan taşının sağlam olduğu ortamlarda, uzunayak üretim şekli ile çalışılan yeraltı maden ocaklarında tavan taşının kırılması ve pano arkasında göçme hareketinin başlaması uygun zamanda gerçekleşmemektedir. Bu durumda, artan tavan basıncı tahkimat ünitelerinin kapanmasına, dolayısıyla üretimin zorlu ve tehlikeli koşullar altında sürdürülmesine neden olmaktadır .

Bu çalışmada uzun ayak yöntemi ile çalışılan bir kömür damarı FLAC3D programı kullanılarak üç boyutlu olarak modellenmiş ve farklı durumlar sonucunda oluşan basınç ve deformasyon değerleri incelenmiştir. Buna göre, sayısal modelden elde edilen pano çevresindeki basınç değerleri dağılımlarının literatüre ve beklenen duruma uygun olduğu gözlemlenmiştir.

Üretime ilk başladığı durumda ayak önünde oluşan düşey gerilme değeri 6.45 MPa (arazi basıncının 1.5 katı) iken ayağın 48 m ilerlemesi ve tavanın göçmemesi durumunda bu değer 8.28 MPa (arazi basıncının 1.9 katı) seviyesine yükselmektedir. Benzer şekilde, başlangıç durumunda tavan ve taban yollarında düşey gerilmeler sırasıyla 12.8 MPa (arazi basıncının 2.9 katı) ve 13.9 MPa (arazi basıncının 3.2 katı) iken, ayak 48 m ilerlediğinde bu yollardaki düşey gerilmeler 18 MPa (arazi basıncının 4.1 katı) seviyelerine çıkmaktadır.

Ayrıca, ayak 48 m ilerlediğinde göçme öncesi 9 MPa (arazi basıncının 2 katı) seviyesine yükselen düşey gerilme değeri göçme oluşuktan sonra 8 MPa (arazi basıncının 1.8 katı) seviyesine düşmektedir.

Burada verilen basınç dağılımlarından da anlaşılacağı üzere, basınçların çok yüksek değerlere ulaşmasını önlemek açısından mutlaka sistematik bir şekilde patlatma yapılarak tavanın kontrollü bir şekilde geçmesi sağlanmalıdır.

KAYNAKLAR

Whittaker, B. N., 1974, An appraisal of strata control practice, *Mining Engineer*, 134:9-24.

Jeremic, M.L., 1985, *Strata Mechanics in Coal Mining*, A.A., Balkema, Rotterdam, 556 p.

Peng, S.S., 1986, *Coal Mine Ground Control*, 2nd ed., Wiley, New York, 450 p.

Bieniawski, Z.T., 1987, *Strata Control in Mineral Engineering*, A.A., Balkema, Rotterdam, 212 p.

Salamon M.D.G., 1990, Mechanism of caving in longwall coal mining. Rock Mechanics Contributions and Challenges. In W. Hustrulid and G.A. Johnson, editors, *Proc. of the 31st US Rock Mechanics Symposium*, A.A. Balkema, pp. 161-168.

Pappas, D.M., Mark C., 1993, Behavior of simulated longwall gob material. *Report of Investigation 9458*, United States Department of the Interior – Bureau of Mines.

Itasca, 1997, *User Manuel for FLAC 3D*, Ver.2.0, Itasca Consulting Group Inc., Minnesota, USA.

Sweby G., 1997, Review thystems and determine the effect of the mechanism on the safety of the system. Project No: COL 327, CSIRO MININGTEK.

Erdoğan, H.H., 2001, Çayırhan Madenlerindeki Ayak Transfer İşlemlerinde Yürüyen Tahkimatları Taşıma Sistemlerinin "Kesikli Olay Benzetimi" Metoduyla Performans Değerlendirmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, ODTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 156s.

Badr, S.A., 2002, Numerical Analysis of Coal Yield Pillars at Deep Longwall Mines, *Doktora Tezi*, Colorado School of Mines, Colorado, A.B.D

Badr, S.A., Mendoza, R., Kieffer S., Salomon, M.D.G. and Ozbay, M.U., 2003, Numerical modeling of longwalls in deep coal mine. In *proc of 22nd Conference on Ground Control in Mining*, West Virginia University, WV, USA, pages 37-43.

Şenfilo, L., 2006, Kişisel Görüşmeler, Park Teknik A.Ş., Ankara.