

---

# KALIN DAMARLARDA TAVAN KÖMÜRÜNÜN GÖÇEBİLİRLİĞİNİN BASINÇLI SU ENJEKSİYONU YOLUYLA ARTIRILMASI

---

INCREASING THE CAVABILITY OF ROOF COAL AT THICK  
COAL SEAMS BY INJECTION OF HIGH PRESSURE WATER

Güner ÖNCEC)  
Kemal ÖZTÜRK(\*\*)

## ÖZET

Göçertmeli yöntemle çalışan kalın kömür damarlarında, tavan kömürüyle tavan taşının aynı anda göçmesi durumunda, ayak arkasında göçmüş kömürün tamamının kazanılması mümkün olmamaktadır. Bu durum, tavan taşının tavan kömürüyle benzer jeomekanik özelliklere sahip olması durumunda olur. Bunun sonucu olarak da tavan taşı ile tavan kömürü küçük alanı içinde karışmış olarak bulunur. Bundan dolayı, kömürün üretilebilirliği azaldığı gibi, ayak arkasından elde edilen üretimde de kömür ve taş birlikte bulunur.

Tavan kömürünün tavan taşından önce göçmesi, yöntemin verimini artıracaktır. Bu bildiride, GLİ Tunçbilek 6 nolu yeraltı ocağında tavan kömürünün göçebilirliğinin, panolarda taban yollarından açılan deliklerden basınçlı su enjeksiyonu yoluyla artırılması açıklanmaktadır.

## ABSTRACT

Recovery of all the caved coal behind the longwalls usually cannot be possible at thick coal seams worked by sublevel caving methods, if the roof coal caved simultaneously with the roof rock. This occurs when the roof rock has similar geomechanical properties with the roof coal. This results in the mixture of rock with roof coal within the caved area. Therefore the coal productivity decreases as the production from behind the longwall includes both of the coal and rock.

The breakage of the roof coal before the roof rock can increase the efficiency of the method. In this paper, increasing the cavability of the roof coal at GLİ Tunçbilek Underground Mine by injection of high pressure water through the drill holes in longwall panels is described.

\* Doç.Dr., Anadolu Üniversitesi, Maden Müh.Bölümü, Eskişehir

\*\*Maden Yük.Müh. DSİ. III. 14. Sondaj Şube Müdürlüğü, Eskişehir

## 1. GİRİŞ

Kalın kömür damarlarının "Taban Ayak Blok Göçertme Yöntemi"yle üretilmesinde, tavan kömürünün (tahkimatın üstünde kalan kömürün) gerek ayak arkasında askıda kalıp hemen göçmemesi ve gerekse tavan taşı (yalancı tavan) ile birlikte göçmesi sonucu, ayak arkasındaki kömür kayıpları büyük değerlere ulaşmakta ve ayak arkasından üretilen kömüre de büyük oranda tavan taşı karışmaktadır. Bu sakıncaları ortadan kaldırmak, tavan kömürünün mekanik dayanımını düşürmek ve ayak arkasında kırılabilirliğini artırmakla mümkündür. Bir çok uygulamada bu durum, tavan kömürünü lağımlayarak sağlanmakta ise de bunun ayak tahkimatını bozması, tavan kontrolünü zorlaştırması, ayak ilerleme hızını yavaşlatması, tavan kömürünün askıda kalması, tavan kömürünün tavan taşı ile birlikte göçmesi ve ayak arkasından kömür alımını engellemesi, ayak arkası üretimine yüksek oranda tavan taşı karışması, toz sorunu, ocak havasının kirlenmesi ve kömürün ufalanması gibi çeşitli sakıncaları olmaktadır.

Tavan kömürünün, ayak aynasının 30-40 m önünde, taban yollarından karşılıklı olarak delinen deliklerden, basınçlı su enjekte edilerek gevşetilmesi, bu sakıncaları ortadan kaldıracak ve ayak arkası verimini büyük oranda artıracaktır.

GLI Tunçbilek "6 No'lu Yeraltı Ocağı" için yapılan bu çalışmada, mevcut çalışma sistemi, tavan kömürü, tavan taşı ve taban taşının jeo-mekanik özellikleri ve yeraltındaki davranışları incelenmiş basınçlı su enjeksiyonu yönteminin pilot çapta bir dizaynı üzerinde durulmuş ve uygulamanın sonuçları araştırılmıştır.

## 2. AYAK ARKASI VERİMİ

Ayak arkası üretiminde kömür kayıpları büyük değerlere ulaşmakta ve ayak arkası üretimine de büyük oranda tavan taşı karışmaktadır.

### 2.1. Konur Kayıpları

Gözlemler 44-A ve 51 panoda yapılmıştır. Bu panolardaki ayaklarda ortalama damar kalınlığı 8 metredir. Damarın 2-2,5 metrelik kısmı taban ayak olarak çalışmakta, geriye kalan 5,5-6 metrelik kısmı ise, ayak arkasından göçertilerek alınmaktadır.

Ayaklarda arka sıra tahkimatın sökümünden sonra tavan kömürünün bir kısmı kendiliğinden gelmektedir. Kendiliğinden göçmeyen ve ayak E.kasın- da askıda kalan kısımların ise, lağım lama ile göçer turnesine çalışılmak- tadır. Bu işlemler sonucu, askıda kalan kömür tavan taşı ile birlikte göçmekte ve göçen kömüre de büyük oranda tavan taşı karışmaktadır. Kö- mür ile birlikte göçen tavan taşı, göçen kömürün önünü kapatarak kömü- rü ayak arkasında hapsetmektedir.

Ayak ilerleme hızlarının da düşük olması nedeniyle, tahkimat üzeri- ne gelen yüklerin fazlalaştığı ve özellikle arka sıra tahkimatının du- raylılığının bozulduğu gözlenmiştir. Böyle durumlarda ayak içi emniye- ti azalmakta ve ayak arkasından kömür kazanma oranı düşmektedir.

Ayaklarda arka kömürünün alınması işlemi, bütün ayak boyunca bir vardiyada yapılamamaktadır. Delme-patlatma, ayna kazısı, tahkimat, arka kömürünün üretilmesi gibi işlemler, ayağın değişik bölümlerinde ayrı vardiyada yapılabilmektedir. Bu durum, tavan kömürünün göçertilmesini olumsuz yönde etkilemekte ve ayak arkası veriminin düşmesine neden ol- maktadır.

Tavan-taşının ve tavan kömürünün jeomekanik yönden CSIR Kayaç Sınıf- landırma Yöntemi'ne göre "Zayıf Kayaç" niteliğinde olması da tavan taşı- nın tavan kömürü ile birlikte göçmesine neden olmaktadır.

Yukarıdaki nedenlere bağlı olarak, yapılan gözlem ve hesaplamalara göre, ayak arkasındaki kömür kayıpları % 40-50 civarında olmaktadır ("TKİ Teknik Heyet Raporu", 1977).

## **2.2. Kömüre Taş Karışma Oranı**

"GLİ Tunçbilek Bölgesi Kimya Laboratuvarları"nda yapılan yüzdürme-batırma deneylerinden, kömüre toplam taş karışma oranı ortalama % 56,10 olarak bulunmuştur. Bunun, ortalama % 19,64'ü arakesmelerden geldiğine göre, % 36,46'sı tavan taşından gelmektedir. Tavan kömürüne tavan taşı karışmasının en büyük nedeni, tavan taşı ile tavan kömürü arasındaki ayak arkası maksimum göçme mesafesi farkının az olmasıdır (Öztürk, 1988).

Ayak arkası kömürüne tavan taşının karışmasını önlemek için yapılacak iş, ya tavan taşını daha sağlam hale getirmek, veya tavan kömürünün mekanik dayanımını düşürmektir. Tavan taşını daha sağlam hale getirmek, göçertmeli sistemde rasyonel bir çözüm olamayacağına göre, en uygun çözüm, tavan kömürünün mekanik dayanımını düşürmek olacaktır.

## **3. TAVAN KÖMÜRÜ, TAVAN TAŞI ve TABAN TAŞININ JEOMEKANİK ÖZELLİKLERİ**

### **3.1. Laboratuvar Deneyleri**

Tavan kömürü, tavan taşı ve taban taşının yerindeki davranışlarını belirleyebilmek ve kaya mekaniği açısından Bieniawski'ye (CSIR) göre sınıflanmasını yapabilmek amacıyla her üç formasyondan da numuneler alınmıştır. Tavan taşından alınan numuneler üzerinde tek eksenli basınç ve endirekt çekme dayanım deneyleri, taban taşından alınan numunelerde detek eksenli basınç dayanım deneyleri yapılmıştır. Tavan kömüründen alınan numunelerle ise, tek eksenli basma dayanım deneyleri, endirekt çekme dayanım deneyleri ile model basınç kabında suyun kömür dayanımı üzerindeki etkisini gözleyebilmek amacıyla, değişik şartlarda deneyler yapılmıştır (Öztürk, 1988).

#### **3.1.1. Taban Taşından Alınan Numunelerle Yapılan Deneyler**

Bölgede yapılan 2922/30 nolu sondajdan 193-195 metrelerden alınan karotlarla, GLİ Malzeme Araştırma ve Kalite Kontrol Laboratuvarları'nda yapılan tek eksenli basınç deneylerinden, taban taşının tek eksenli

basınç dayanımı ortalama 19,3 MPa, olarak bulunmuştur. Ayrıca bu numunelerin elastisite modülü (E) ortalama 2,1 GPa , Poisson oranı ( $\nu$ ) 0,46 olarak bulunmuştur. 51 panodan alınan numunelerle yapılan tek eksenli basınç deneylerinden, taban taşının tek eksenli basınç dayanımı ortalama 8,86 MPa olarak bulunmuştur.

### 3.1.2. Tavan Taşından Alınan Numunelerle Yapılan Deneyler

Bölgede yapılan çeşitli sondajlardan alınan numunelerle, GLI Tunçbilek Bölge Müdürlüğü Malzeme Araştırma ve Kalite Kontrol Laboratuvarları'nda yapılan tek eksenli basınç deneylerinden, tavan taşının tek eksenli basınç dayanımı ortalama 23,0 MPa, elastisite modülü (E) 2,6 GPa Poisson oranı ( $\nu$ ) 0,43 olarak bulunmuştur. 51 panoda ayak arkasından alınan karot numunelerle yapılan tek eksenli basınç dayanım deneylerinden, tavan taşının tek eksenli basınç dayanımı ortalama 34,9 MPa olarak bulunmuştur.

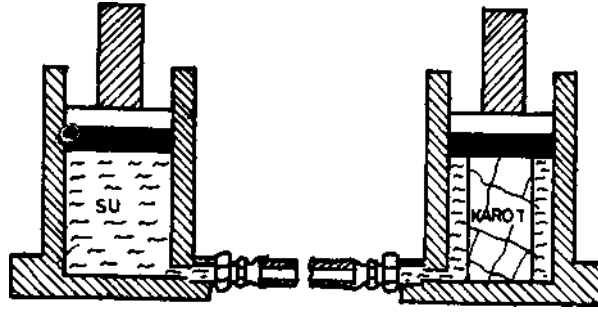
Bölgede yapılan 2922/30 nolu sondajlardan alınan numunelerle yapılan endirekt çekme dayanımı deneyleri ile bulunan çekme dayanımı ortalama 6,4 MPa, 51 panodan alınan numunelerle yapılan endirekt çekme dayanımı deneyleri ile bulunan çekme dayanımı 5,5 MPa olarak bulunmuştur.

### 3.1.3. Tavan Kömüründen Alınan Numunelerle Yapılan Deneyler

44-A Panoda tavan kömüründen alınan numunelerden küp şeklinde hazırlanan numunelerle yapılan tek eksenli basınç deneyleri sonucu, tavan kömürünün tek eksenli basınç dayanımı ortalama tabakalanma düzlemine dik doğrultuda 11,6 MPa, tabakalanma düzlemine paralel doğrultuda ise 6,6 MPa olarak bulunmuştur. Bu numunelerin bir kısmı, 24 saat su içinde bırakılmış ve tabakalanma düzlemine dik doğrultudaki tek eksenli basınç dayanımı ortalama 8,4 MPa olarak bulunmuştur. 51 panoda ayak arkasından alınan numunelerle yapılan tek eksenli basınç deneylerinden, tavan kömürünün tabakalanma düzlemine dik doğrultudaki tek eksenli

basınç dayanımı ortalama 10,02 MPa olarak bulunmuştur. Bu numunelerden bir kısmı 24 saat su içinde bekletildikten sonra, tabakalanma düzlemine dik doğrultudaki tek eksenli basınç dayanımı ortalama 7,10 MPa olmuştur.

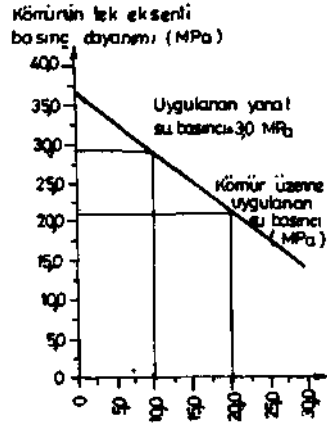
Tavan kömüründen alınan karot numuneler üzerinde, değişik basınçlardaki suyun, kömürün mekanik dayanımı üzerindeki etkilerini gözleyebilmek amacıyla, bileşik kaplar sistemine göre çalışan Model basınç kabı imal edilmiştir (Şekil 1). Deneyler sırasında basınç kabı iki ayrı pres altında çalışmaktadır. Preslerden biri, içinde su bulunan silindirin pistonunu sıkıştırarak silindir içindeki suya basınç kazandırmaktadır. Bu basınç, yüksek basınca dayanıklı hortum vasıtasıyla, ikinci pres altındaki silindire iletilmektedir. Basınç kazanmış olan su, ikinci silindir içinde bulunan karot numune üzerinde etkisini gösterdikten sonra, numuneler aynı pres altında ve model basınç kabı içinde değişik yanıl basınçlar altında kırılmaktadır. Model basınç kabının imalinden amaç, basınçlı su enjeksiyonu sırasında yeraltı şartlarının modellenmesidir.



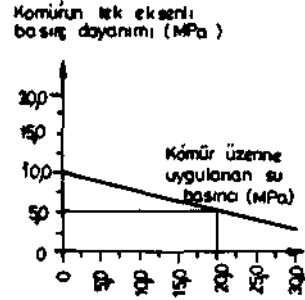
Şekil 1-Model basınç kalıbı

51 panodan alman karot numunelerle basınç kabında 3,0 MPa yanıl su basıncında yeraltındaki yanıl basınç değeri bulunan basınç dayanımı ortalama 36,32 MPa olarak bulunmuştur. Basınçlı suyun, karot numuneler üzerindeki etkisini gözleyebilmek amacıyla, karot numuneler basınç kabında 10.0 MPa, su basıncı altında 5 dakika süre ile tutulmuştur. Bu numunelerle daha sonra aynı kap içerisinde 3,0 MPa yanıl su basıncı altında

basınç dayanımı ortalama 29,2 MPa olmuştur. 51 panodan alınan karot numuneler üzerine, basınç kabında bu defa 20,0 MPa basınçta su 5 dakika süre ile uygulandıktan sonra, 3,0 MPa yanıl su basıncı altında bulunan basınç dayanımı ortalama 20,74 MPa olarak bulunmuştur. 51 panoda tavan kömüründen alınan karot numunelere basınç kabında 20 mPa su basıncı 5 dakika süre ile uygulandıktan sonra, bulunan tek eksenli basınç dayanımı ise 4,9 MPa olarak bulunmuştur.



Şekil 2- Basınçlı suyun kömürün uç basınç dayanımı üzerindeki etkisi.



Şekil 3 Basınçlı suyun kömürün tek eksenli basınç dayanımı üzerindeki etkisi

Tavan kömüründen alınan karot numunelerle, basınç kabında 0, 2.5, 5.0, 7.5 MPa yanıl su basıncı altında, basınçlı su enjeksiyonu sırasında yeraltı şartlarını modelize eden basınç deneyleri (Uç eksenli deneyler) yapılmıştır. Yapılan bu deney sonuçlarına göre çizilen Mohr diyagramlarından, kömürün iç sürtünme açısı ( $\phi$ ) 42°, kömürün içsel kohezyonu ( $c$ ) 2,75 MPa olarak bulunmuştur.

### 3.2. Yerinde Yapılan Gözlemler ve Ölçümler

Tavan kömürü ve tavan taşının (yalancı tavanın) kaya mekaniği açısından hangi tür kaya sınıfına girdiğini ve yeraltındaki davranışlarını belirleyebilmek amacıyla, çeşitli gözlem ve ölçümler yapılmıştır.

Yapılan gözlem ve ölçümler sonucu, tavan taşı ve tavan kömürünün Beniawski'nin (CSIR) kaya kütle sınıflandırma yöntemine göre "Zayıf Kaya" grubuna girdiği görülmektedir (Beniawski, 1974). Tavan taşı tavan kömürüyle aynı gruba girmekle birlikte, tavan kömürüne göre biraz daha sağlamdır.

### 3.3. Yalancı Tavan Kalınlığının Belirlenmesi

Yalancı tavan kalınlığı, ayak arkasında doğal dolgunun oluşması için gerekli tavan yüksekliği dikkate alınarak hesaplanmıştır (Birön ve Arıoğlu, 1985).

Ayaklarda oluşacak yalancı tavan kalınlığı, ayak arkasından kömür üretimine bağlı olarak 3,66-11,42 m arasında değişmektedir (Öztürk, 1988).

### 3.4. Ayak Arkası Kırılma Mesafelerinin Hesabı

Ayak arkasında, tavan açıklığına bağlı olarak oluşacak maksimum momentten gidilerek yapılan teorik hesaplamada, ayak arkasında tavan taşının kırılma mesafesi (L) maksimum 5,13m olarak bulunmuştur (Öztürk, 1988).

Tavan kömürünün ayak arkasında maksimum kırılma mesafesi (L) ise 3,51 metre olarak bulunmuştur. Tavan kömürüne 20.0 MPa basınçta su enjekte edildikten sonra gevşetilmiş kömürün ayak arkası kırılma mesafesi (L) ise maksimum 1,62 m olmaktadır.

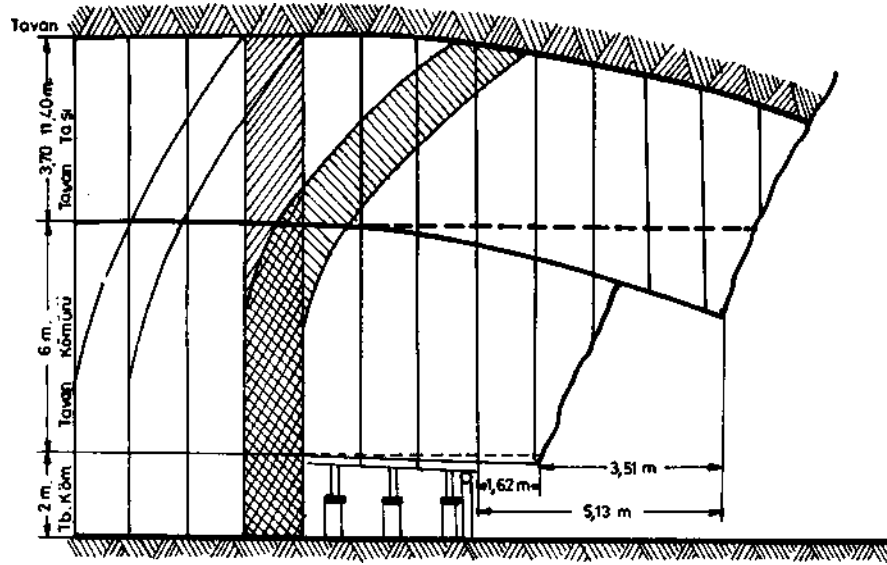
Normalde tavan taşı ile bakir kömür arasında maksimum 1,62 m göçme mesafesi farkı varken, tavan kömürüne 20.0MPa basınçta su enjekte edildikten sonra ise bu fark 3,51 metreye çıkmaktadır (Şekil 4).

## 4. BASINÇLI SU ENJEKSİYONU YÖNTEMİNİN TASARIMI

### 4.1. Delik Çaplarının Belirlenmesi

Delinecek delik çaplarının, enjeksiyon aletinin (Pocker) deliğe tam olarak yerleştirilmesi, sızdırmazlığı sağlayacak şekilde olması gerekmektedir. Prensipte olarak, delinecek delik çapları, gevşetme aletinin en büyük çapından 2-3 mm daha büyük seçilmelidir (Stoces; Jung, 1970).





Şekil 4. Basınçlı Su Enjeksiyonundan Sonra Ayak Civarında Oluşan Tabaka Hareketleri

#### 4.2. Deliklerin Taban Yolu Ekseniyle Yaptıkları Açılarının ve Delik Boylarının Belirlenmesi

44-A ve 51 panolarda gelişen çatlak sistemlerinin, ayak aynası ile 40° lik ( $\beta$ ) açı altında geliştikleri görülmektedir. Taban yollarından delinecek deliklerin, bu çatlak sistemlerini dik bir açı altında kesebilmeleri için, taban yolu ekseniyle 50° lik ( $\llcorner$  açı yapacak şekilde delinmelidir (Şekil 5).

Delik boyları, uzunluğu ortalama 75 m olan ayaklarda, suyun bütün ayak boyunca enjekte olabilmesi için diyagonal şekilde 40 m olarak hesaplanmıştır (Öztürk, 1988).

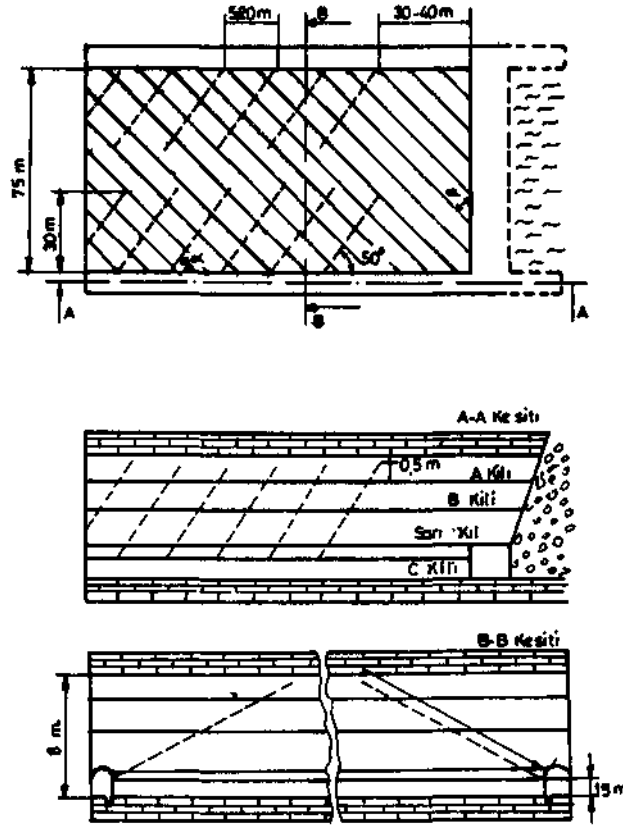
#### 4.3. Deliklerin Yatayla Yaptıkları Açının Belirlenmesi

Delinecek delikler tavan taşma doğru belirli bir açı ile delinecektir. Bu açı, delik boylarının hesaplanmasında kullanılan veriler gözönüne alınarak 9° olarak hesaplanmıştır. Ancak jeolojik şartlara da bağlı

olarak uygulamada bu açının 9-15° arasında olacağı sanılmaktadır (Şekil 5).

#### 4.4. Delikler Arası Mesafenin Belirlenmesi

Delikler arası mesafe, kömürün su alma yeteneğine, kırık çatlak sistemleri ile tabakalanma ve klivaj düzlemlerinin durumuna ve uygulanacak su basıncına bağlı olarak belirlenir. Uygulamada delikler arası mesafenin 5-20 m arasında olacağı sanılmaktadır. Ancak optimum değer yerinde yapılacak denemeler sonucu bulunabilecektir. Ayrıca belirlenen bu mesafe panonun ve ayağın her yerinde de aynı olmayabilir (Şekil 5).



ŞEKİL 5. Delik düzenlen plan ve kesilen

#### 4.5. Deliklerin Delinmesi

Deliklerin delinmesinde taban yollarında çalışabilecek özellikle tercihan elektrik enerjisi ile çalışan, en az 50 m delik delme kapasitesine sahip her yönde delik delebilen bir sondaj makinasına gereksinim duyulmaktadır.

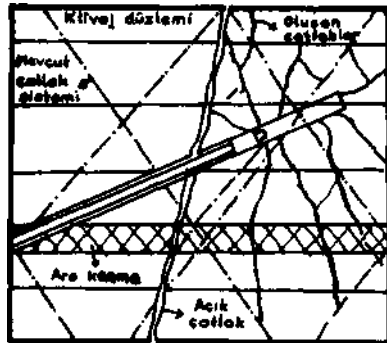
#### 4.6. Deliklere Knjektde Edilecek Su Basıncı ve Bu Basıncın Sağlanması

Tavan kömüründen alınan karot numunelerle model basınç kabında değişik şartlarda yapılan deney sonuçlarını dikkate alarak, pilot çaplı bir çalışmada uygulanacak su basıncınının 20.0-35.0 MPa arasında olacağını söyleyebiliriz. Ancak en uygun basınç yerinde yapılacak denemeler sonucu bulunacaktır.

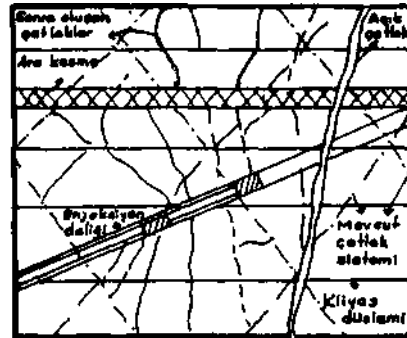
Tunçbilek şartlarında yapılacak pilot çaplı bir çalışmada, hidrolik direklere basınçlı su sağlayan basınç ünitelerinden istifade edilebilecektir. Bu basınç üniteleri 35.0 MPa basınca kadar 80 lt/dak debi ile çalıştırılabilmektedir.

#### 4.7. Suyun Deliklere Knjektde Edilmesi

Deliklere su enjektde edilmesi kademeli bir şekilde yapılacaktır. Kademe boyları 4'er m olarak planlanmıştır. Delik dibindeki ilk kademenin enjeksiyonu tek taraflı Pocker sistemi ile, daha sonraki kademelerin enjeksiyonu çift taraflı Pocker sistemi ile yapılacaktır (Şekil 6,7).



Şekil 6. tek taraflı Pocker sistemi.



Şekil 7. Çift taraflı Pocker sistemi.



Tavan taşının mekanik dayanımında belirgin bir düşme olmayacağından, uygun ayak ilerleme hızında ayak arkasında, kömür ile tavan taşı arasında belirgin bir göçme mesafesi farkı oluşacak ve önce tavan kömürü kırılıp göçecektir. Tavan taşı ise kömürden daha sonra kırılıp geçecektir. Bu durum, ayak arkasında tavan kömürü üretimindeki kömür kayıplarını büyük oranda azaltacak ve üretilen kömüre de tavan taşının karışması büyük oranda önlenmiş olacaktır.

#### **KAYNAKLAR**

- BINIAWSKI, Z.T., 1974, "Geomechanics Classification of Rock Masses and its Application in Tunneling" 3. International Congress on Rock Mechanics, ISRM, Denver, Vol 11 A, S.27-32
- BİRÖN, C, ARIOĞLU, E., 1985, "Madenlerde Tahkimat İşleri ve Tasarımı" Birsen Kitapevi, İstanbul
- HOEK, E, BROWN.E.T., 1980, "Underground Excavations in Rock" The Institution of Mining and Metallurgy, London, S.20
- "Kömür Yüzdürme-Batırma Eğrileri ve Tabloları" GLİ Tunçbilek Bölgesi Kimya Laboratuvarları, 1085, 1986, 1987
- ÖZTÜRK.K., 1988, "GLİ Tunçbilek Bölgesi 6 Nolu Yeraltı Ocağında, Tavan Kömürünün Basınçlı Su Enjeksiyonu ile Gevşetilmesi", Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniv. Fen Bilimleri Enstitüsü
- STOCES.B., JUNG,A., (Çeviri: Prof.Dr.S.SALTOĞLU, 1970) "Maden İşletmelerinde Toz ve Silikozla Mücadele", İTÜ Yayını, 1970
- "TKİ Teknik Heyet Raporu", 1977.

