

**YERALTI KÖMÜR OCAKLARINDA TAHKİMAT ELEMANI OLARAK
KAYA SAPLAMALARININ KULLANIMI VE PERFORMANS İZLEME
YÖNTEMLERİ**

Methods Related to Use and Performance Monitoring of Rock Bolts in Underground Coal Mines

Bahtiyar ÜNVER (*)

Anahtar Sözcükler: Kaya Saplama, Yeraltı Kömür Ocağı, Taban Yolu Tahkimatı, Kablolu Saplama, Sonik Uzama-Kısalma Ölçer (Ekstansometre)

ÖZET

Yeraltında oluşturulan bir açıklığı çevreleyen kayaya sadece dışarıdan destek verilmesi ilkesine dayanan tahkimat anlayışına karşı, kayanın kendi kendini taşımasına yardımcı olan ve kaya ile kaya saplama entegre olarak çalıştığı çağdaş tahkimat anlayışı geliştirilmiş ve geçerlilik kazanmıştır.

Bu yazıda, ülkemiz yeraltı kömür ocaklarında günümüze kadar sınırlı sayıda yerel denemeler yapılmış olmasına karşın endüstriyel ölçekte hemen hemen hiç kullanılmamış olan kaya saplama ve temel çalışma ilkeleri hakkında bilgiler verilmekte ve dünyada nasıl başarı ile uygulandığı sunulmaktadır.

ABSTRACT

Strategy related to supporting of surrounding rock around an underground excavation by means of external supports is superseded by the contemporary new approach that considers the rock itself as the support medium and by using rock bolts as the integrated component.

This paper briefly presents information about rock bolts and the main principles related with successful application of rock bolts in the world. Although there have been few regional trials, rock bolts have almost never been applied in Turkish coal mines on industrial scale.

Doç.Dr., Hacettepe Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, 06532, Beytepe-ANKARA

1. GİRİŞ

Yeraltı kömür madenciliğinde uygulanan üretim yöntemleri arasında geri dönüşlü uzunayak yöntemi, özellikle Avrupa'daki uygulamalarda, son on yıl içerisinde oldukça önem kazanmıştır. Geri dönüşlü uzunayak yönteminin önem kazanmasındaki en önemli etkenler; taban yollarının hızlı açılabilmesi, taban yolu profilinin en az deformasyon ile yaklaşık sabit tutulabilmesi ve ayak kuyruk ve motor başlarında yaşanan gecikmelerin en aza indirilmesi olarak sayılabilir.

İstenen üretim seviyelerine ulaşılabilmesi için taban yolu performansının ayak ilerlemesine engel teşkil etmemesi gereklidir. ABD, Avustralya ve Güney Afrika gibi ülkelerde, kömür damarı çevresindeki birimler genellikle tabaka kontrolü açısından büyük problemler yaratmayacak nitelikte sağlamdırlar. Ancak, çalışma derinliği fazla ve yan kayaç dayanımı düşük olan Avrupa'daki kömür ocaklarında, üretim seviyesinin istenen düzeyde tutulabilmesinin ön koşulu olarak taban yollarının duraylılığının sağlanabilmesi anahtar etmen olarak karşıya çıkmaktadır. Özellikle son on yıl içerisinde, Avrupa'da bulunan kömür ocaklarındaki taban yollarında kaya saplamalarının yaygın ve etkin olarak kullanılmaya başlanması sayesinde, taban yolları duraysızlık problemlerinin büyük ölçüde çözümlendiği söylenebilir (Altounyan ve Hayes, 1995; Butcher, 1995; Bigby, 1997; Altounyan vd., 1998; Walker, 1998).

Ülkemiz kömür madenciliğinde kaya saplamalarının bazı yerel deneme uygulamaları dışında endüstriyel boyutta bir uygulaması yapılmamıştır (Ataman, 1952; Birön, 1952; Birön vd., 1987; Ünal ve Özkan, 1998). Günümüzden yarım asır önce yapılan deneme uygulamalarından olumlu sonuçlar alınmasına karşın, dünyada başarı ile kullanılan kaya saplamaları, ne yazık ki, ülkemiz kömür madenciliğinde halen endüstriyel ölçekte kullanılmamaktadır.

Yüksek dayanmalı kaya saplamalı tahkimat yönteminin geliştirilmesi, etkin saplama yükü ve performans izleme yöntemlerinin uygulanması ve rutin olarak tavan hareketlerinin izlenmesi kaya saplamalarının başarılı bir şekilde uygulanmasına; olanak sağlamıştır.

Bir kaya kütlesi içerisinde açılan boşluk duraylılığının sağlanmasına yönelik çağdaş yaklaşım, açıklığı çevreleyen kaya kütlesi ile tahkimat ünitesinin birlikte çalışabilecekleri bir tahkimatlandırma şeklindedir. Diğer bir deyişle, açıklığı çevreleyen kaya kütesinin de kaya saplamaları ile birlikte bir tahkimat ünitesi olarak kullanılması sonucunda, kaya kütesinin kendi kendini taşımasına yardımcı olunmasıdır. Kaya saplamaları, kaya kütesinin deforme olmasına izin vermeyerek ayrık bloklar veya çatlak yüzeyleri arasında sürtünme direncinin artmasını sağlarlar. Bu sayede duraylılık sağlanabilmektedir.

Bilindiği üzere, kayaların çekme dayanımları, basma dayanımlarına oranla on ile yirmi kat daha düşüktür. Bundan dolayı, yeraltı açıklıklarının etrafında çekme gerilmeleri oluşumunu en aza indirmek ya da tamamen önlemek duraylılığın sağlanması açısından çok önemlidir. Çekme gerilmelerine maruz kalmış bölgelerin azaltılmasının en iyi yolu, yer değiştirmelere karşı yüksek katılık gösterme özelliğine sahip kaya saplamalarının kullanılmasıdır.

Uzunayak taban yollarında kaya saplamaları kullanılmasının getirdiği avantajlar üç başlık altında toplanabilir: Birincisi, taban yolları tahkimatı çelik bağlar yerine kaya saplamaları kullanılarak çok daha kısa bir süre içerisinde yapılabilmektedir. Diğer bir deyişle, tahkimat yapımı için harcanan sürenin çok kısılması sayesinde taban yolu açılması için harcanan süre azalmaktadır. İkinci olarak, taban yolu kesiti kaya saplamaları kullanımında, çelik bağların kapladığı alanın ortadan kalkması sonucunda, daha az olmaktadır. Kaya

saplamaları ile tahkim edilen taban yollarının kesiti dikdörtgen şeklinde olduğu için, tüm kesit alanının daha etkin bir şekilde kullanılması mümkün olmaktadır. Uzunayak taban yollarının demirbağ ve kaya saplaması kullanılarak tahkim edilmesine ilişkin boyut ve taban yolunun geometrik ayrıntıları, İngiltere kömür ocaklarında kullanıldığı şekliyle Şekil 1'de verilmektedir. Özellikle taban yollarında nakliyat genellikle monoray, bant veya demiryolu ile yapıldığından dikdörtgen kesitli bir taban yolu, çelik bağ ile tahkimatı yapılmış olan kemer kesitli bir taban yoluna oranla çok daha işlevseldir. Daha küçük kesitli bir taban yoluna ait olumlu özellikler olarak kazı kesitinin azalması ile kazı hızının artması ve taban yolu etrafında oluşan gerilmelerin daha az o

İması da sayılabilir. Üçüncü olarak, hem baca sürme hem de tahkimatlandırma maliyetleri kaya saplamalarının kullanılması ile azalmaktadır.

2. KAYA SAPLAMASI ÇEŞİTLERİ

Günümüzde değişik kaya saplamalarının kullanılıyor olmasına rağmen, kaya

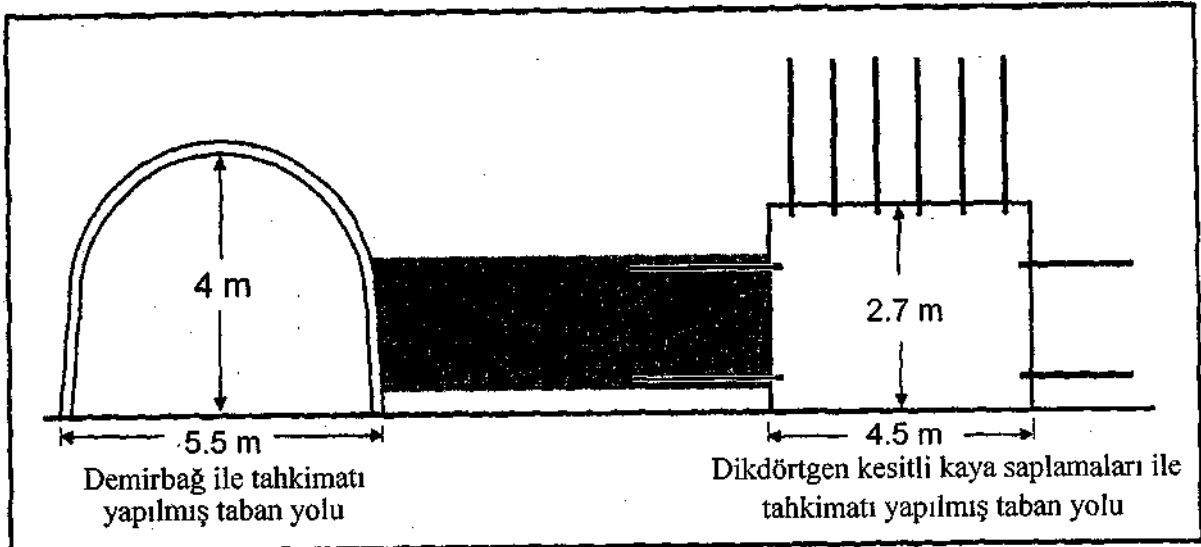
saplamaları çeşitlerinin tümü temel olarak aynı ilkeye dayanmaktadır. Değişik kaya saplaması türlerinde bu temel ilke değişik varyasyonlar şeklinde kullanılmaktadır. Kaya saplamalarını aşağıda verildiği şekilde sınıflandırmak mümkündür (Stillborg, 1994) :

- Mekanik ankrajlı,
- Dolgulu kaya ya da kablolu,
- Sürtünme ankrajlı,
- Lamalı,
- Kombinasyon,
- Fiberli.

Yukarıda sıralanan kaya saplaması türleri hakkında bilgiler özet halinde aşağıda sunulmaktadır.

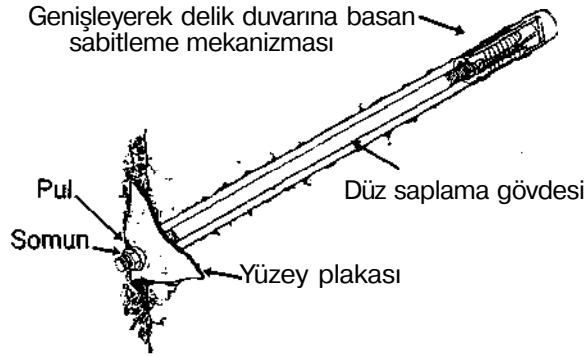
2.1. Mekanik Ankrajlı Saplamalar

Mekanik ankrajlı kaya saplamaları, ilk önce geliştirilen kaya saplaması çeşididir ve halen yaygın olarak kullanılmaktadır. Mekanik ankrajlı kaya saplamaları, saplama dibinde bulunan yivli uca konik genişleme elemanı bağlanması ve saplamanın döndürülmesi sayesinde konik elemanın genişleyerek delik duvarına baskı yapması ve sürtünme



Şekil 1. İngiltere kömür ocaklarında demirbağ ve kaya saplamaları ile desteklenen taban yollarının karşılaştırılması (Altounyan ve Hurt, 1998a).

kuvvetinin artırılması "" sonucunda bir kilitlemenin sağlanması ilkesine uygun olarak çalışmaktadır. Şekil 2'de mekanik ankrajlı bir kaya saplaması görülmektedir.



Şekil 2. Mekanik ankrajlı kaya saplaması (Stillborg, 1994).

Mekanik ankrajlı kaya saplamaları özellikle ABD'de sağlam tavan koşullarına sahip kömür ocaklarında kullanılmakta olup, Avrupa'daki kömür ocaklarında kullanımı yok denecek kadar azdır. Mekanik ankrajlı kaya saplamalarının kullanımı için tavan taşının ne çok sert ne de yumuşak olmaması gereklidir. Yumuşak tavanda genişleme elemanı kayaç içerisine batarak ezilmesine, dolayısıyla delik duvarına tutunamayarak kaymasına neden olmaktadır. Benzer şekilde, çok sert kayaçta genişleme elemanı ile kaya arasındaki tutunum ine zayıf olmakta ve ankraj bölgesi kayarak saplamanın işlev görmesine engel olmaktadır.

Mekanik ankrajlı kaya saplamaları diğer türlere oranla daha ucuz olmalarına rağmen kullanım süreleri, korozyona karşı dayanıksız olmaları nedeniyle sınırlıdır. Ancak, saplama ile delik yüzeyi arasındaki boşluğun sonradan doldurulması ile bu sorun önlenebilir ve saplamanın kalıcı olarak kullanılması sağlanabilir. Ayrıca, mekanik ankrajlı kaya saplamalarına, ankraj sağlandıktan sonra saplamanın bir miktar daha döndürülmesi sayesinde bir öngerme uygulanarak tahkimatın reaksiyon süresi kısaltılabilir. Ancak, öngerme

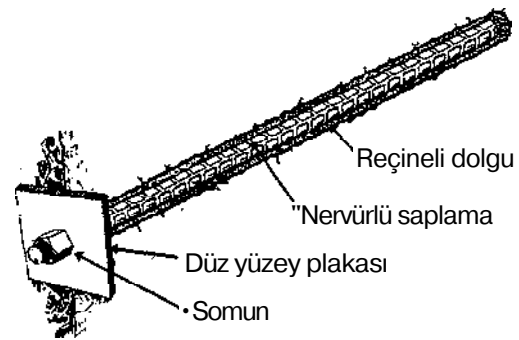
işlemini yaparken mutlaka bir tork anahtarının kullanılması gereklidir. Patlatma sırasında oluşan sarsıntı ve/veya kavlaklanma sonucunda, saplama plakası altında bulunan kayanın kırılarak dökülmesi nedeniyle yük taşıma kapasitesi zamanla azalır. Mekanik ankrajlı saplama mutlaka iyi izlenmeli, kontrol edilmeli ve gevşediği zaman tekrar sıkıştırılmalıdır.

2.2. Dolgulu Saplama

Dolgulu kaya saplamaları ve kablolu saplama delik içerisinde çimentolu ya da reçineli bir malzeme ile sabitlenmektedir. Böylece, kaya saplama boyunca kimyasal yapışma, sürtünme ve kilitleme mekanizmaları ile ankraj sağlanmış olur. Dolgulu saplamanın çalışmasında özellikle, sürtünme ve kilitleme etkileri saplamanın işlevi açısından yapışmaya oranla daha önemlidir.

2.2.1. Dolgulu kaya saplamaları

Dolgulu kaya saplamaları genellikle, dolgu ve saplama arasında daha etkin bir sürtünmenin sağlanabilmesi açısından nervürlü çelik çubuk ve reçineli veya çimentolu dolgu kullanılması ile yapılır (Şekil 3). Genellikle dolgulu saplamalarda, çimentolu dolgunun büzülme özelliğine sahip olması nedeniyle, reçineli dolgu kullanımı tercih edilir. Ayrıca, delik tabanında hızlı donma özelliğine sahip reçine kartuşlarının kullanımı ile saplama öngerme



Şekil 3. Reçine dolgulu kaya saplaması (Stillborg, 1994).

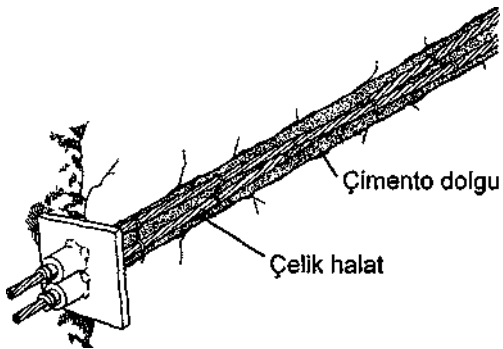
uygulama olanaklıdır. Reçine dolgulı saplamalar sağlam ve uzun süre dayanıklı olmaları nedeniyle özellikle, Avrupa'daki kömür ocaklarında yaygın olarak kullanılmaktadır (Stillborg, 1994).

Dolgulu saplamaların verimli olarak kullanılmalarında yeterli miktarda dolgu kullanımı, delik çapı, dolgunun karışma ve donma özellikleri ve delik duvarı ile saplama arasındaki boşluğun tamamen doldurulması çok önemlidir (Eaton, 1993).

2.2.2. Dolgulu Kablolu Saplamalar

Kablolu saplamalar, adı üzerinde, çelik tellerin sarılması sonucu elde edilmiş olan kabloların deliklere yerleştirilmesi ve sonradan çimento ile doldurulması ilkesine dayanır (Şekil 4). Bu tür saplamaların en önemli avantajı yük taşıma kapasitelerinin yüksek olması ile birlikte uzunluk sınırının olmamasıdır. Çelik çubuktan yapılmış olan diğer tür kaya saplamalarında saplama uzunluğu açıklığın boyutları ile sınırlıdır. Oysa, kablolu saplamanın uzunluğu kablunun esnek olması nedeniyle sınırlı değildir.

Kablolu saplamalar makaslama yüklerine karşı da Esnek olmaları nedeniyle oldukça dayanıklıdır. Ancak, çelik çubuk şeklindeki kaya saplamalarına oranla kömür ocaklarında

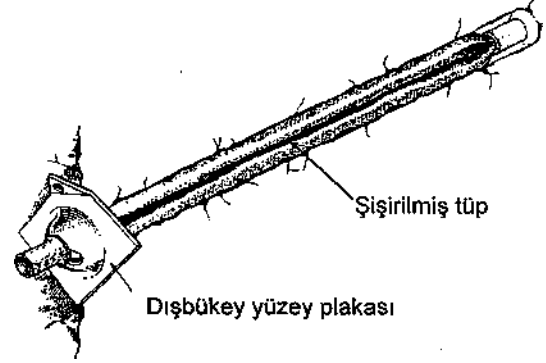


Şekil 4. Kablolu saplama (Stillborg, 1994).

kullanım maliyetinin üç kat daha fazla olduğu belirtilmektedir (Hanke 1998).

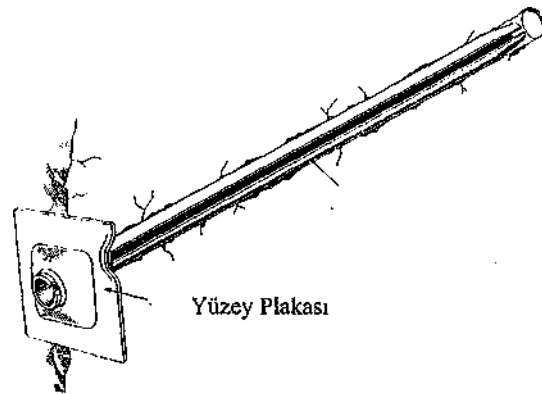
2.3. Sürtünme Ankrajlı Saplamalar

Sürtünme ankrajlı saplamalar sınıfında genel olarak yarık borulu (Split Set), basınçlı suyla şişirilen tüplü (Swellex) ve eliptik kesitli olmak üzere üç değişik türden bahsedilebilir. Şekil 5 ve 6'da sürtünme ankrajlı saplamalar



Şekil 5. Basınçlı suyla şişirilen tüplü kaya saplaması, Swellex®EXL/Super (Spillborg, 1994).

görülmektedir. Sürtünmeli saplamalarda, saplama tarafından delik boyunca ışınal yönde kuvvet uygulanarak herhangi bir dolgu ya da mekanik sıkılama ünitesi olmadan doğrudan kaya ile etkileşim sağlanarak yük taşıma söz konusudur. Yarık dış yüzeyli ve eliptik kesitli saplamaların çalışma ilkesi,



Şekil 6. Yarık borulu (Split Set™) kaya saplaması (Spillborg, 1994).

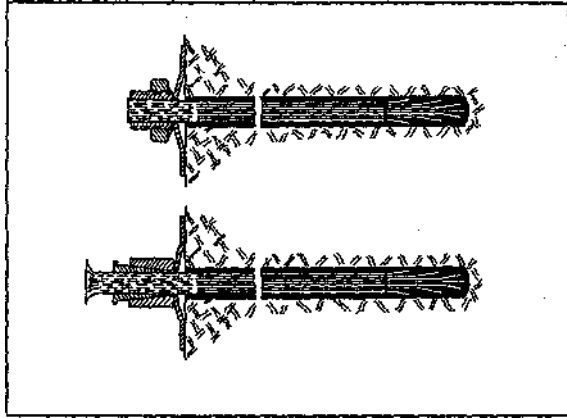
saplama ile delik yüzeyi arasındaki sürtünme kuvveti sayesinde saplamanın üzerine gelen yüklere karşı reaksiyon göstermesi şeklindedir. Basınçlı suyla şişirilen tüplü saplamalarda ise yukarıdaki etkiye ek olarak saplamanın delik etrafında bulunan girinti ve çıkıntılara uygun olarak şekil alması nedeniyle bir kilitleme etkisi oluşumundan bahsedilmelidir (Stillborg, 1994; Parashev ve Nikolaev, 1999).

Sürtünme ankrajlı saplamalar saplama yükünü düşürmeden yüksek oranlarda deformasyona izin verebilmektedirler. Bu esneklik sayesinde yüksek oranlarda deformasyon beklenen yerlerde kullanım imkanları vardır. Özellikle şişmeli saplamaların, kaya saplamalarının en zayıf yönü olan makaslama kuvvetlerine karşı dayanımları oldukça iyidir.

Sürtünme ankrajlı saplamalar diğerlerine oranla daha ucuz, basit ve hızlı yerleştirilebilme özelliklerine sahiptirler. Diğer taraftan bu tür saplamaların en önemli dezavantajı, korozyona karşı galvanizli yapılmadıkları zaman uzun vadeli kullanımlarının sınırlı olmasıdır.

2.4. Lamalı Saplamalar

Diğer kaya saplaması türlerinin özellikle makaslama dirençlerine ilişkin dezavantajlarının giderilmesi amacıyla lamalı



Şekil 7. Lamalı kaya saplamaları (Richter, 1997).

saplamalar Almanya'da geliştirilmiştir (Richter, 1997; Anteiler vd. 1995). Şekil 7'de lamaların bir araya getirilmesi sonucu oluşturulan lamalı bir saplama görülmektedir. Almanya'da taş kömürü madenleri derinliklerinin yüksek olması dolayısıyla yüksek gerilme koşulları mevcuttur. Taban yollarının konumu gereği yüksek arazi basıncına ek olarak dinamik yüklemelerin de etkisi altında olmaları nedeniyle, yüksek dayanıma ve esneme özelliğine sahip saplamaların geliştirilmesine ihtiyaç duyulmuştur.

2.5. Kombinasyon Saplamaları

Taban yolları çevresinde oluşan deformasyonların, özellikle Almanya'da, yüksek olması nedeniyle esneme özelliği daha yüksek olan kombinasyon saplamaları geliştirilmiştir (Richter, 1997). Şekil 8'de, değişik türleri bulunan esneyen kombinasyon saplamaları görülmektedir. Bu tür saplamaların yapısı diğer türlere oranla hem daha karmaşık hem de maliyetleri daha yüksektir.

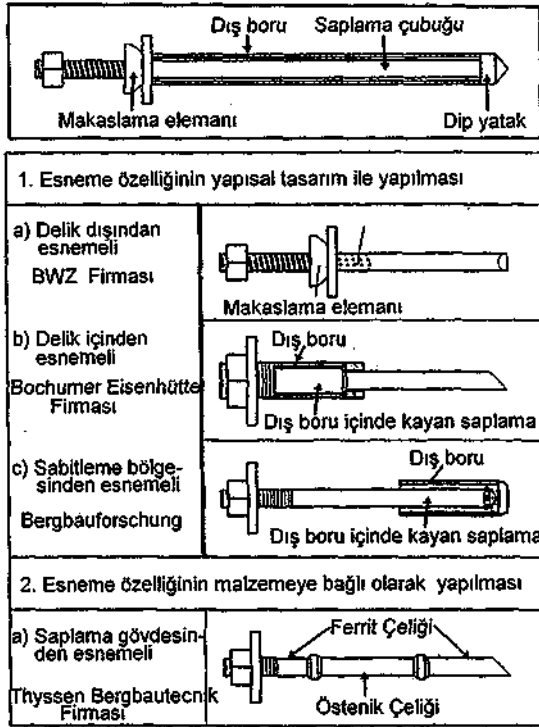
2.6. Fiber Saplamalar

Özellikle geri dönüşümlü uzunayak taban yollarında, taban yolunun ayak tarafında bulunan ve baskı altında olan kömürün duraylı hale getirilmesi için fiber saplamalar kullanılmaktadır (Hurt, 1992; Bigby, 1997; Altounyan ve Hurt, 1998b). Çünkü, bu bölümde . çelikten yapılmış saplamaların kullanılması, kesici makinanın çalışmasına engel teşkil etmektedir; fiberden yapılmış saplamalar kömürün tamburlu kesici ile kesilmesi sırasında kolaylıkla kırılarak problem yaratmazlar. Fiber saplamalar yüksek çekme dayanıma sahip olma özelliklerine rağmen makaslama kuvvetlerine karşı oldukça dayanıksızdırlar.

3. KAYA SAPLAMALARININ GENEL ÇALIŞMA İLKELERİ

Değişik gerilme ve yan kayaç koşullarında kaya saptlamalarının etki mekanizması farklı olmaktadır. Genel olarak kaya saptlamalarının çalışma ilkeleri aşağıda sıralanmakta ve ilerleyen bölümlerde kısaca açıklanmaktadır.

- Askıya alma etkisi
- Sürtünme ve birleşik kiriş oluşturma etkisi
- Kilitleme etkisi
- Tavan sıkıştırma etkisi



Şekil 8. Kombinasyon saptlamaları, (Richter, 1997).

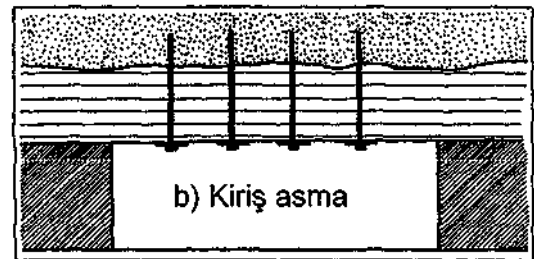
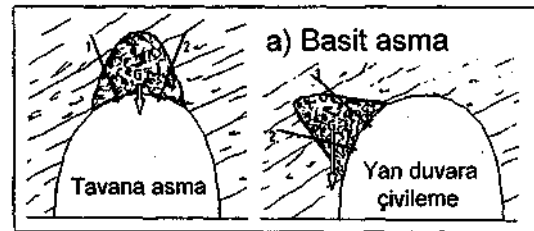
3.1. Askıya Alma Etkisi

Yeraltında bir açıklık oluşturulduğu zaman, tavanda bulunan tabakanın aşağıya doğru harekete meyilli vardır. Özellikle, tabakalı bir yapıya sahip olan tavanlarda açıklığa en yakın olan yalancı tavanı oluşturan tabaka ya da tabakalar, tahkimatın yeterli olmadığı durumlarda üst kısımdan ayrılarak aşağıya doğru sarkarlar. Böyle durumlarda açıklığın

hemen üstünde bulunan duraysız tabakalar daha yukarıda bulunan sağlam tavana, çekme gerilmesi altında bulunan kaya saptlamaları ile bağlanarak askıya alma etkisi oluşturulur (Khair, 1998).

Askıya alma etkisi, mevcut olan koşullara bağlı olmak üzere, temel olarak basit asma ve/veya kiriş asma olmak üzere iki değişik şekilde gerçekleştirilir. Basit asma, gevşek tavan koşullarında veya süreksizliklerin konumu sonucu duraysız blokların olduğu durumlarda, temel olarak blok ağırlığının çevrede bulunan ve yük taşıma kapasitesine sahip kayaya tutturularak taşınması şeklindedir. Şekil 9(a)'da iki değişik konumda süreksizlikler tarafından ayrılmış olan duraysız bölgelerin kaya saptlamaları kullanılarak duraylı hale getirilmesi görülmektedir. Bu durumda kaya saptlamaları duraysız bölgenin ölü ağırlığını taşımak zorundadır. Böyle durumlarda kaya saptlamasının sağlam kayaya ankrılan kısmının uzunluğu 25 cm'den az olmamalıdır (Luo vd., 1998).

Kiriş asma prensibi, kömür damarı çevresinde bulunan tabakaların daha üst kısımlarda bulunan sağlam tabakalara tespit edilerek duraysız yalancı tavanın duraylı hale



Şekil 9. Kaya saptlamalarının askıya alma etkisi, (Anteiler vd., 1995).

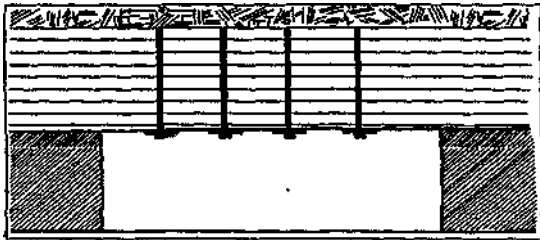
getirilmesidir. Şekil 9(b)'de bu mekanizma şematik olarak gösterilmektedir. Yeraltında bir açıklık oluşturulduktan sonra açıklığın hemen üzerindeki düşük dayanımlı tabakalar birbirinden ayrılarak sarmakta ve özellikle kiriş ortasında oluşan çekme gerilmeleri sonucunda duraysız hale gelmektedir. Açıklık tavanında bulunan zayıf tabakaların sağlam tavana asılması sayesinde aynı zamanda tavanda sıkıştırma sağlanarak çekme gerilmelerinin oluşması önlenmektedir.

3.2. Sürtünme ve Birleşik Kiriş Oluşturma Etkisi

Açıklık tavanında yalancı tavanın üzerinde bulunan tabakaların sağlam olmadığı durumlarda kaya saplamalarının sürtünme ve birleşik kiriş oluşturma etkisinden yararlanır.

Kalınlıkları düşük olan tabakaların eğilmeye karşı dayanımları da azdır. Bu nedenle, açıklık tavanında bulunan ince ve duraysız tabakalar kaya saplamaları ile birbirlerine bağlanarak hem sürtünme etkisiyle dayanımları artırılmakta hem de tavanda daha kalın bir kiriş elde edilmektedir (Şekil 10). Bu olayın daha kolay anlaşılabilmesi için mekanizma basit bir örnek üzerinde açıklanacak olursa; bir adet kibrit çöpü rahatlıkla kırılabilir. Ancak kırılmaya çalışılan kibrit çöplerinin sayısı arttıkça, kırılmaya karşı dirençlerinin de arttığı görülür. Belirli sayıda kibrit çöpü bir araya getirilerek hepsini birden kırmaya çalışmak başarısızlıkla sonuçlanır.

Tavanda bulunan ince ve/veya zayıf tabakalar birbirlerine kaya saplamaları ile bağlandıkları



Şekil 10. Kaya saplamalarının sürtünme ve birleşik kiriş oluşturma etkisi, (Anteiler vd., 1995).

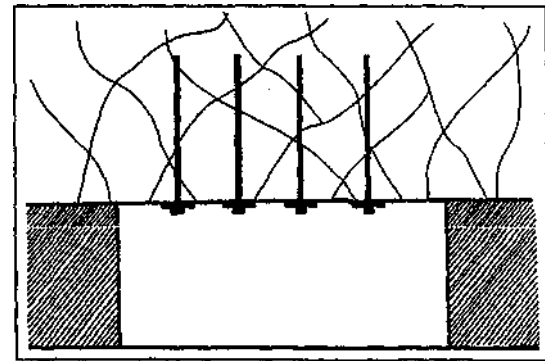
andan itibaren, her tabaka bütünün bir parçası olarak aynı miktarda deformasyona uğrayacaktır. Oysa, kaya saplamalarının kullanılmadığı durumda açıklığın hemen üzerindeki tabakada en yüksek sarkma gerçekleşecek ve bu miktar yukarı doğru azalarak devam edecektir. Bu esnada, tabakaların farklı miktarlarda sarmalar nedeniyle tabakalar arasında boşluklar oluşacak ve tabaka yüzeyleri arasındaki sürtünme direnci büyük oranlarda azalarak kaçınılmaz bir şekilde göçük meydana gelecektir.

Doğal olarak, kaya saplamaları ile birleştirilen tabaka kalınlığı, ki bu değer saplama uzunluğudur, ve sürtünme direncinin artmasını sağlayan saplama üzerindeki yük arttıkça tavan duraylılığı artacaktır. Tavan duraylılığının artırılmasındaki diğer önemli bir nokta ise saplamaların yerleştirilme aralığıdır (Khair 1998).

Tabakalı bir yapının mevcut olduğu kömür ocaklarında genellikle kaya saplamalarının çalışma mekanizmasında asma ile sürtünme ve kiriş oluşturma etkilerinin birlikte çalıştığı görülür.

3.3. Kilitleme Etkisi

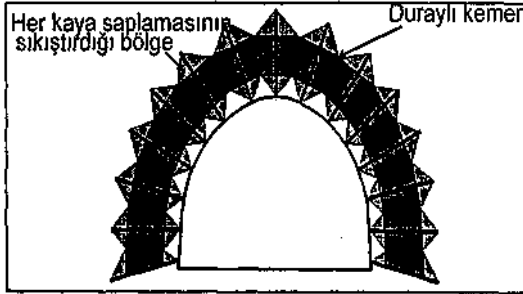
Kaya kütesinin çok kırıklı ve bloklu bir yapı arzedecek şekilde bir kaç tane belirgin eklem takımına sahip olduğu durumlarda kaya



Şekil 11. Kaya saplamalarının kilitleme etkisi (Anteiler vd., 1995).

saplamasının kilitleme etkisinden yararlanır. Kaya saplamaları tarafından kaya kütlesini sıkıştırarak' şeklinde bir kuvvet uygulanırken, süreksizlik düzlemlerine dik olarak etkiyen gerilmelerin artırılması sayesinde süreksizlik ve eklem yüzeyleri makaslama dirençlerinin artırılması kilitleme ilkesinin mekanizmasıdır. Kaya saplamalarının tasarlanması sırasında süreksizlik ve eklem yüzeyleri arasındaki hareketin en az düzeyde tutulması amaçlanmaktadır. Şekil 11'de kaya saplamalarının kilitleme etkisi görülmektedir.

Kilitleme etkisiyle duraylılığın sağlanabilmesi için kaya saplamasına öngerme uygulanarak kaya kütlesinin yeterli miktarda sıkıştırılması gereklidir. Öngerme uygulanarak kaya saplaması üzerinde oluşturulan aktif çekme gerilmesine, kaya kütlesinin deformasyonu sonucu pasif germe de eklenmektedir. Kaya saplaması üzerindeki aktif ve pasif gerilmeler sayesinde kaya kütlesi içerisinde makaslama direncinin artırılmış olduğu bir sıkışma zonu elde edilir. Kaya saplamalarının bu sıkışma

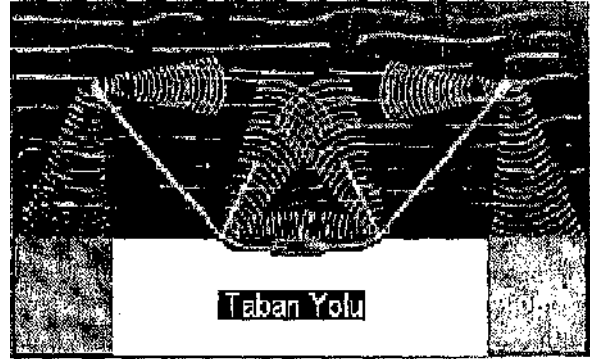


Şekil 12. Kaya saplamalarının sıkışma bölgelerinin çakışması sonucunda açıklık çevresinde duraylı kemer oluşumu (Anteiler vd., 1995).

zonlarının çakışmasını sağlayacak şekilde yerleştirilmeleri sayesinde açıklık üzerinde sıkıştırılmış duraylı bir kemer oluşumu sağlanabilir. Şekil 12'de duraylı kemer oluşumu görülmektedir.

3.4. Tavan Sıkıştırma Etkisi

Açıklık tavanında oluşan sarkma ve çekme gerilmeleri duraysızlığın temel nedenidir. Kablolü ve normal kaya saplamalarının birlikte kullanımı sayesinde, Şekil 13'de gösterilen taralı alanlarda sıkıştırma gerçekleşmektedir (Khair, 1998). Sıkıştırmanın etkisiyle tavan kirişi üzerinde bulunan sıkışma ve çekme gerilmelerinin sınırı olarak tarif edilen nötr eksen yukarıya doğru taşınarak duraylılık sağlanmaktadır. Sıkıştırma, açıklığın hemen üzerinde bulunan tabaka çekme gerilmesinden kurtuluncaya kadar yapılmalıdır. Bu yöntem kullanılarak yapılan sıkıştırmanın etkisi tavanda bulunan tabakaların kalınlığı arttıkça daha belirgin olmaktadır. Açıklığın yan tarafına yerleştirilen kablolü saplamalar yatayla 45° lik bir açı yapacak şekilde konumlandırılmalıdır. Ayrıca, açıklık oluşturulduktan hemen sonra tavan tabakalarında çekme gerilmelerinin oluşmasından ve etkin olmasından önce saplamalar yerleştirilerek, tavanda sıkıştırma etkisi harekete geçirilmelidir.



Şekil 13. Kablolü saplamaların kullanımı ve tavanda meydana gelen sıkışma bölgeleri (Khair, 1998).

4. KAYA SAPLAMALARI ÜZERİNDE YAPILAN LABORATUVAR DENEYLERİ

Literatürde değişik kaya saplamaları üzerinde laboratuvarda yapılmış olan çok sayıda deneye

ait sonuçlar bulunmaktadır. Kaya saptamaları üzerinde çekme, makaslama, delikten çekip çıkarma (pull-out), vibrasyon ve sonik esaslara dayanan deneyler yapılmıştır. Bu deneylere ait uygulama ayrıntıları ve sonuçlarına ait bilgiler literatürde bulunabilir (Anon, 1998(a); Anon 1998(b); Kaufmann, 1998).

Bir kaya saptamasına çekme kuvveti uygulanarak çekme dayanımı belirlenebilir. Makaslama deneyi çekme deneyine benzer bir şekilde yapılmakta olup saptamanın yenilmesi için makaslama kuvvetine maruz bırakılmaktadır.

Dolgulu kaya saptamalarının performansını etkileyen en önemli faktörlerden birisi dolgu dayanımıdır. Dolgu dayanımı optimum düzeyde olmalıdır. Dolgu dayanımının çok düşük veya gereğinden fazla olduğu durumlarda kaya saptamasından istenen verimin alınması zordur. Dolgu dayanımının optimum değerden düşük olduğu durumlarda dolgu erken kırılacak ve kaya saptamasının tam kapasite ile kullanılmasına engel olacaktır. Diğer taraftan, dolgunun gereğinden fazla sert olduğu durumlarda ise saptama fazlaca katı (stiff) bir davranış göstererek sistemin akma (yielding) özellikleri olumsuz olacaktır. Özellikle kömür ocaklarında kullanılan kaya saptamalarının büyük bir çoğunluğunun dolgulu olduğu göz önüne alınırsa, dolgu özelliklerinin genel olarak kaya saptamasının performansına büyük ölçüde etki etmesi nedeniyle, iyi araştırılması ve test edilmesi zorunludur.

Saptama üzerindeki yükün veya saptama gövdesi üzerinde bulunabilecek yapısal kusurların sonik ve titreşim (vibrasyon) deneyi sayesinde belirlenebilmesi mümkündür. Bu deneyde saptama üzerine tork anahtarı kullanılarak bir çekme gerilmesi uygulanmakta ve dışarıdan bir küçük bir çekiç marifetiyle yapılan vuruş ile titreşim

yaratılmaktadır. Bu titreşim dalga formunda gerekli düzenek kullanılarak kaydedilmektedir. Saptama gövdesi üzerinde bulunan gerilme kuvveti ile titreşim karakteristikleri arasında bir ilişki olduğu için saptama yükü ve yapısal kusurları belirlenebilmektedir (Kaufmann, 1998).

5. KAYA SAPLAMALARI ÜZERİNDE YERİNDE YAPILAN DENEYLER

Kaya saptamalarının performansına etki eden faktörlerin sayısı oldukça fazladır. Bu nedenle, yeraltında kullanılan kaya saptamalarının üzerinde bazı deneylerin yapılarak dayanım ve deformasyon özelliklerinin belirlenmesi performans değerlendirmesi açısından zorunludur. Farklı kaya saptamaları üzerinde yerinde yapılan deney çeşitleri Çizelge 1'de sunulmaktadır.

6. İNGİLTERE VE ALMANYA'DAKİ TABAN YOLLARINDA KAYA SAPLAMASI UYGULAMALARI

ABD, Avustralya ve Güney Afrika Cumhuriyeti'nde bulunan kömür ocakları genellikle Avrupa'dakilere oranla daha sığ ve sağlam tavan, taban ve damar özelliklerine sahip olduğu için çoğunlukla oda topuk üretim yönteminin değişik çeşitlemeleri kullanılarak üretilmektedir. Oda topuk sınıfı üretim yöntemleri ile tam mekanize bir şekilde oldukça yüksek miktarlarda üretim yapmak olanaklı olmaktadır. Ancak, Avrupa'da bulunan kömür ocaklarının büyük çoğunluğunda odalı üretim yöntemleri, derinlik ve yüksek gerilmeler nedeniyle uygulanamamaktadır. Geri dönümlü uzunayak üretim yöntemi, mevcut şartlar altında verimli bir şekilde kullanılacak bir alternatif olmaktadır (Hurt, 1992; Hurt, 1994; Williams, 1994).

Çizelge 1. Değişik Kaya Saplama Türleri İçin Kullanılan Yerde Deney Yöntemleri (Anon, 1996).

Kaya Saplama Çeşidi

Mekanik ankrajlı kaya saptamaları

Dolgulu kaya saptaması

Dolgulu kablolu saptama

Sürtünme ankrajlı saptamalar

Uygulanan Yerde Deney Yöntemi

Delik içerisinde çekip çıkarma, tork anahtarı, yük hücresi,

Delik içerisinde çekip çıkarma, üzerinden karot alma, hasarsız elektronik,

Delik içerisinde çekip çıkarma, üzerinden karot alma,

Delik içerisinde çekip çıkarma, dolaylı hasarsız deney

Almanya ve İngiltere'de geri dönümlü uzunayak yöntemlerinin pano tasarımı açısından bazı farklı yönleri vardır. Almanya'da genellikle taban yolları tekrar kullanılacak şekilde tasarlanarak bir panoya ait hava giriş taban yolu bitişik pano için hava çıkış taban yolu olarak kullanılmaktadır. Bu nedenle, taban yolunun tahkimatı ilk açıldığında sadece reçine dolgulu kaya saptamaları kullanılarak tahkim edilmektedir. Taban yolu yan panoya hizmet edecek şekilde yeniden kullanılmadan önce, çelik hasır ve kaya saptaması ile tahkim edilmiş olan taban yoluna geçmeli bağlar yerleştirilmektedir. Taban yolunun ikinci defa kullanımı sırasında kaya saptamalarının izin verebileceğinden çok daha fazla kapanma meydana geldiği için, esnek bir tahkimat ünitesi olan geçmeli bağlar ile desteklenmesi gerekmektedir (Anteiler vd., 1995). Bilindiği gibi kaya saptamalarının etkin bir şekilde kullanımının sağlanabilmesi için deformasyonların çok az olması ve sürekli olarak kontrol edilmesi gereklidir.

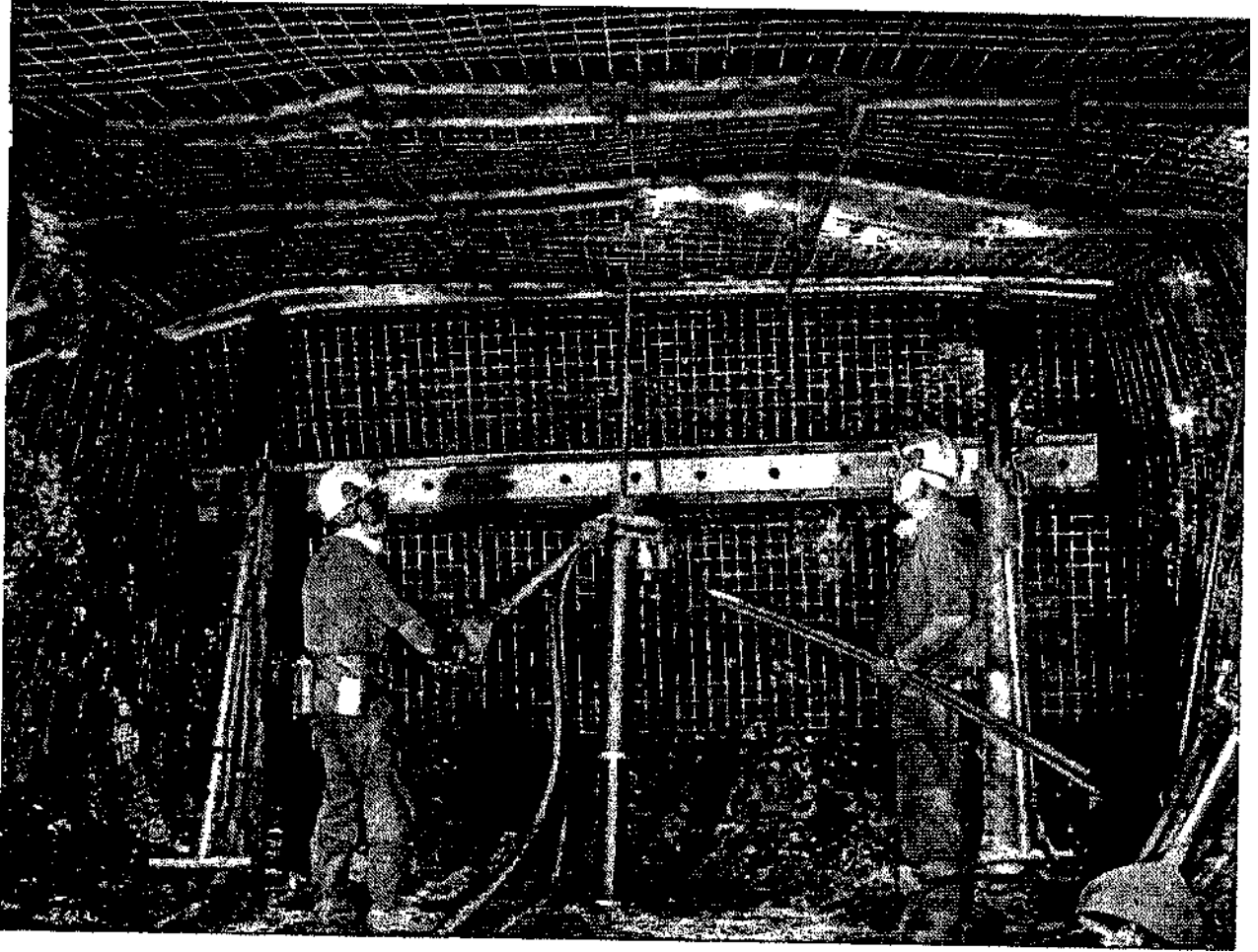
İngiltere'deki kömür ocaklarında uzunayak panoları arasında topuk bırakılmakta ve taban yolları her pano için ayrı ayrı sürülmektedir. İngiltere kömür ocaklarının hemen hemen tamamına yakın bir kısmında taban yollarında W-lamaları, tel hasır ve reçine dolgulu kaya saptamaları kullanılmaktadır. Ayrıca, gerekli olan durumlarda daha uzun kablolu saptama uygulaması da yapılmaktadır. Şekil 14'de İngiltere'deki kömür ocaklarında, taban yolu tahkimatının nasıl uygulandığına ilişkin bir

örnek verilmektedir (Bigby ve Egan, 1996; Walker, 1998).

İngiltere'de çelik bağ ile tahkimatı yapılan taban yollarında haftalık ilerleme ortalama 20-25 metre civarında olmaktadır. Dikdörtgen kesitli taban yollarında aynanın sürekli kazıcılarla kazılması ve kaya saptamalarının basınçlı hava ile çalışan el delicileri ile yerleştirilmesiyle ortalama haftalık taban yolu ayna ilerlemesi yaklaşık 100 metre olmaktadır. Ayna kazısını gerçekleştiren sürekli kazıcının kaya saptamalarını da yerleştirecek şekilde tasarlanan modellerinin kullanılması sayesinde ise haftalık taban yolu ayna ilerlemesi ortalama 150 metre olmaktadır (Altounyan ve Hurt, 1998a).

Taban yolları tahkimatının yapılmasında kaya saptamalarının kullanılması, 'geri dönümlü uzunayak panolarında ayna üretim verimini de büyük ölçüde artırmıştır. Taban yolu tahkimat maliyeti çelik bağlar yerine kaya saptamalarının kullanılması ile yaklaşık yarıya düşürülmüştür. Ayrıca, nakliye maliyetleri de büyük ölçüde azalmıştır (Altounyan ve Hurt, 1998a).

İngiltere kömür ocaklarında ileri teknolojiye dayanan kaya saptamalı tahkimat yönteminin uygulanması sırasında, istatistiklere göre, kaza oranlarında büyük ölçüde azalma meydana gelmiştir. 1986-1994 yılları itibariyle genel kaza sayılarında % 69 gibi bir azalma kaydedilerek, 100.000 yevmiyede kazalanma adedi 43,8 den 13,3'e gerilemiştir. Taban yolu



Şekil 14. İngiltere'deki bir kömür ocağında kaya saplamaları ile desteklenmiş bir taban yolu (Altounyan ve Hurt, 1998a).

sürülmesi sırasında meydana gelen "taş düşmesi sonucu yaralanma" oranı ise söz konusu yıllar arasında % 73 oranında azalmıştır (Hindmarsh, 1995).

1989 ve 1990 yılları arasında İngiltere kömür ocaklarında, çelik bağlı tahkimattan kaya saplamalı tahkimata geçiş aşamasında, taban yollarında toplam olarak 267 adet göçük kaydedilmiştir. Buna karşın, 1994 ve 1995 yılları arasında meydana gelen göçük sayısı sadece 6'dır. Taban yollarında meydana gelen göçük sayısındaki önemli oranda azalmanın başlıca nedeni, yerinde ölçümlerin ve performans izleme yöntemlerinin sürekli olarak uygulanmasıdır (Hindmarsh, 1995; Altounyan ve Hurt, 1998b).

6.1. Performans Tayini Açısından Ölçme ve İzleme Yöntemlerinin Uygulanması

Kaya saplamalarının yeraltında kullanılmasına ilişkin DİN 21521'de, kaya saplamalarının taşınması gerekli olan özellikler ve laboratuvarında ve yerinde yapılması gereken deneyler açıklanmaktadır (Anon, 1993; Anon, 1996). Almanya'da yeraltı kömür ocaklarında kaya saplamaları performansının sürekli olarak izlenmesi ile ilgili bir standart mevcut değildir. İngiltere'de ise yeraltı kömür ocaklarında kaya saplamalarının kullanılması ile ilgili özel bir nizamname bulunmaktadır. Bu nizamnamede, kaya saplamalarının yeraltı kömür ocaklarında kullanımına ilişkin bütün ayrıntılar bir kurallar bütünlüğü halinde düzenlenmiştir. Temel olarak bu nizamnamenin, malzeme özellikleri ve eğitim

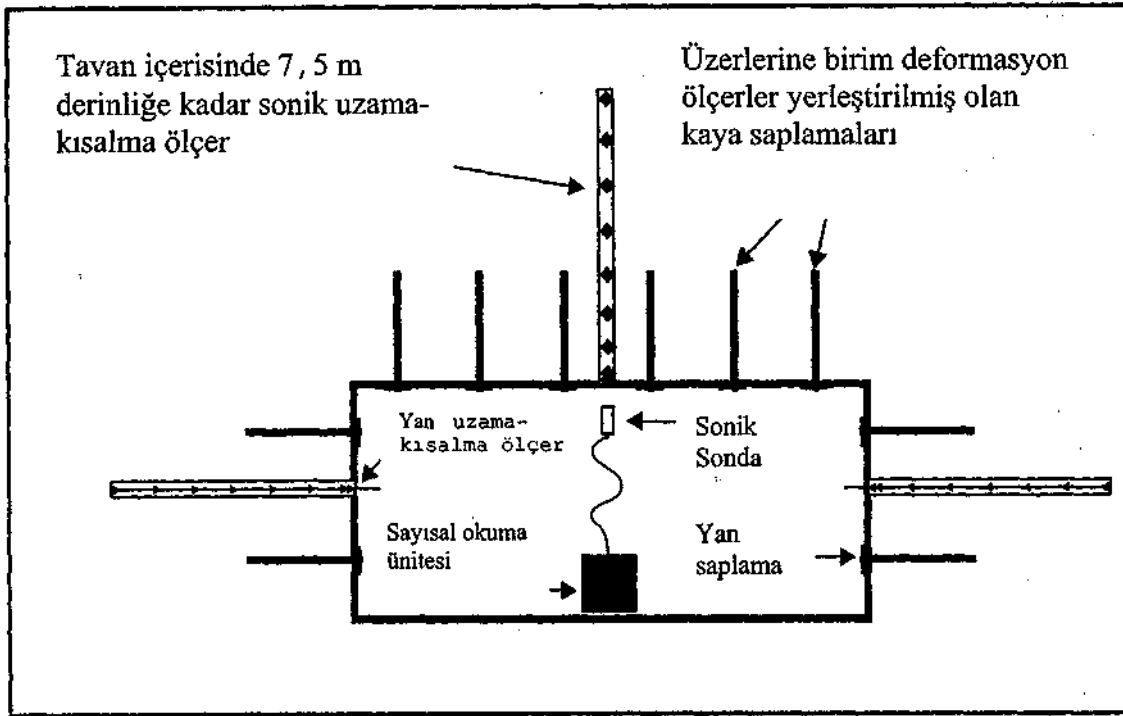
dışında, tasarım ve performans izleme açılarından iki bölümden oluştuğu söylenebilir.

- Tasarımın geçerliliği ile ilgili bilgilerin elde edildiği ayrıntılı ölçme ve izleme istasyonları,
- Taban yolu boyunca rutin tavan alçalması ölçümleri,

Şekil 15'de tipik bir tasarımın geçerliliğinin kontrol edildiği izleme istasyonu görülmektedir. Sürekli izleme istasyonlarında ekstansometreler ve üzerine birim deformasyon ölçerlerin yerleştirilmiş olduğu özel saplamalar kullanılmaktadır. Taban yolunun tavanındaki tabakalarda oluşan tavan hareketleri çok telli veya daha yeni bir uygulama olan sonik ekstansometre

Ayrıca, ayrıntıları ölçülerek tespit edilen tavan hareketlerinden kaya saplamaları üzerindeki yük dağılımı da anlaşılmaktadır. Yerinde ölçümler sonucu elde edilen bu bilgiler kaya saplamak tahkimat yönteminin yöresel olarak etkin bir şekilde tasarlanmasına olanak sağlamaktadır.

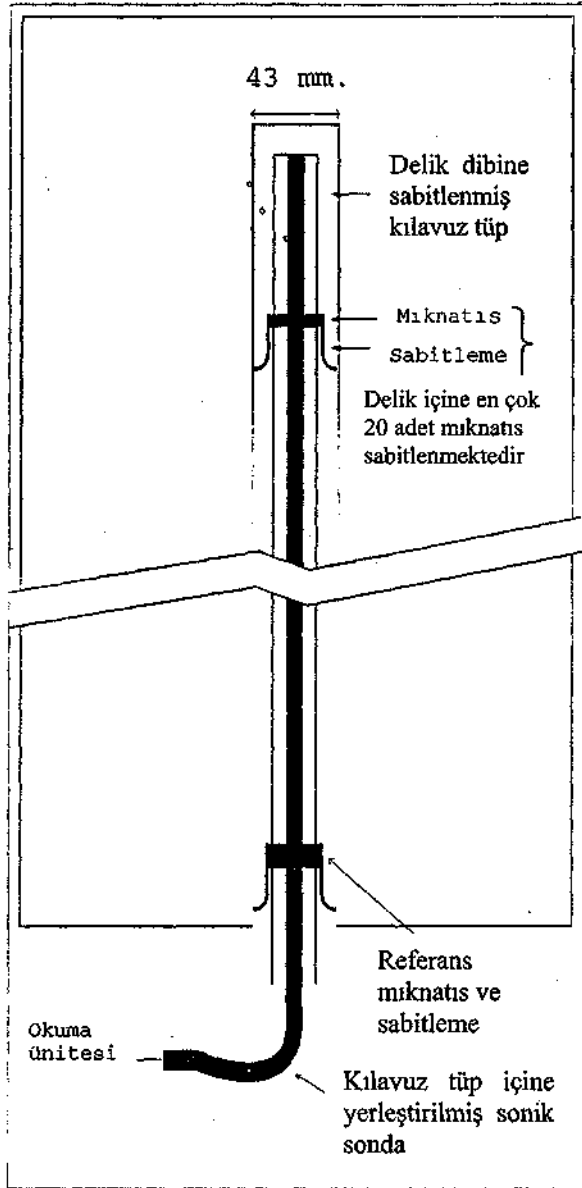
Nizamnameye göre sonik ekstansometrenin de bulunduğu ayrıntılı ölçüm istasyonları arasındaki mesafe en fazla 200 m olacak şekilde ayarlanmalıdır. Taban yolu tavanında en az 7 m uzunlukta ve 43 mm çapında açılan bir sondaj deliği içerisine, en çok 20 adet referans noktası teşkil edecek miktarda yerleştirilerek yapılan sonik ekstansometrenin şematik görüntüsü Şekil 16'da sunulmaktadır. Sonik ekstansometre ölçümlerinin bir paket program ile analizi sonucunda, tavandaki



Şekil 15. Kaya saplamak tahkimat tasarımının doğruluğunun kontrol edildiği tipik bir ayrıntılı ölçme istasyonu (Altounyan ve Hurt, 1998a).

kullanılarak belirlenmektedir. Bu noktaların göreceli olarak yanal hareketleri de ölçülerek makaslama zonları belirlenebilmektedir.

referans noktalarında zamana bağlı veya ayak ilerlemesiyle meydana gelen toplam tavan hareketleri, referans noktaları arasındaki



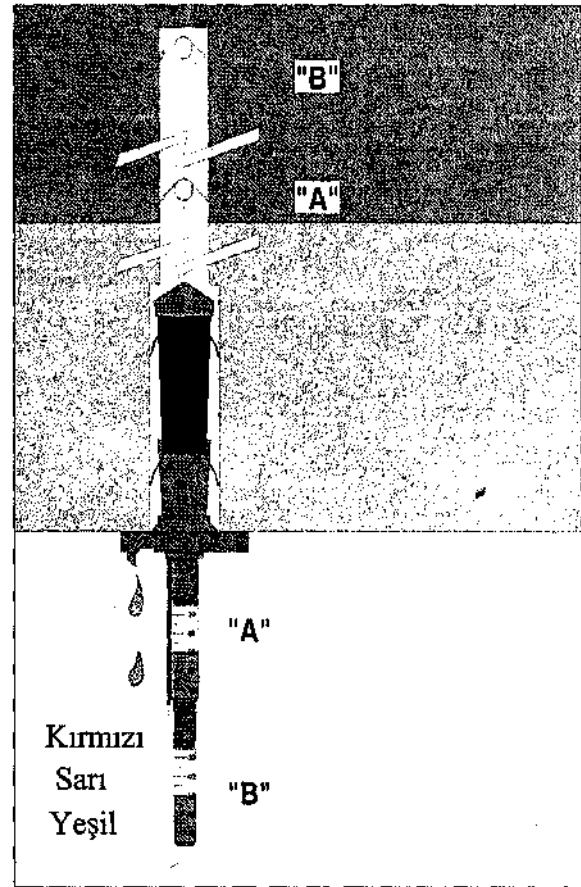
Şekil 16. Sonik uzama-kısalma ölçerin şematik görünüşü, (Altounyan ve Hurt, 1998a).

birim deformasyonlar ve her referans noktasında meydana gelen hareketler belirlenebilmektedir.

Ayrıntılı ölçme istasyonlarında üzerine birim deformasyon ölçerlerin yerleştirildiği kaya saplamaları da kullanılmaktadır. Saplamalar üzerinde meydana gelen birim deformasyonlar ölçülerek saplama yükü hesaplanabilmektedir. Böylece, kullanılması gereken kaya saplamasının sahip olması gerekli olan

özellikler belirlenerek tasarımın doğruluğu test edilebilmekte ve gerekli değişiklikler yapılabilmektedir.

Çift yükseklikli hareket ölçerler (İngilizler bu aleti sırt tutmayan kişi anlamına gelen "telltale" olarak adlandırmaktadırlar) taban yolu boyunca sürekli olarak tavan hareketlerinin ölçülmesi amacıyla kullanılmaktadır. Şekil 17'de basit bir mekanizmaya sahip olan bir sırtutmaz görülmektedir.



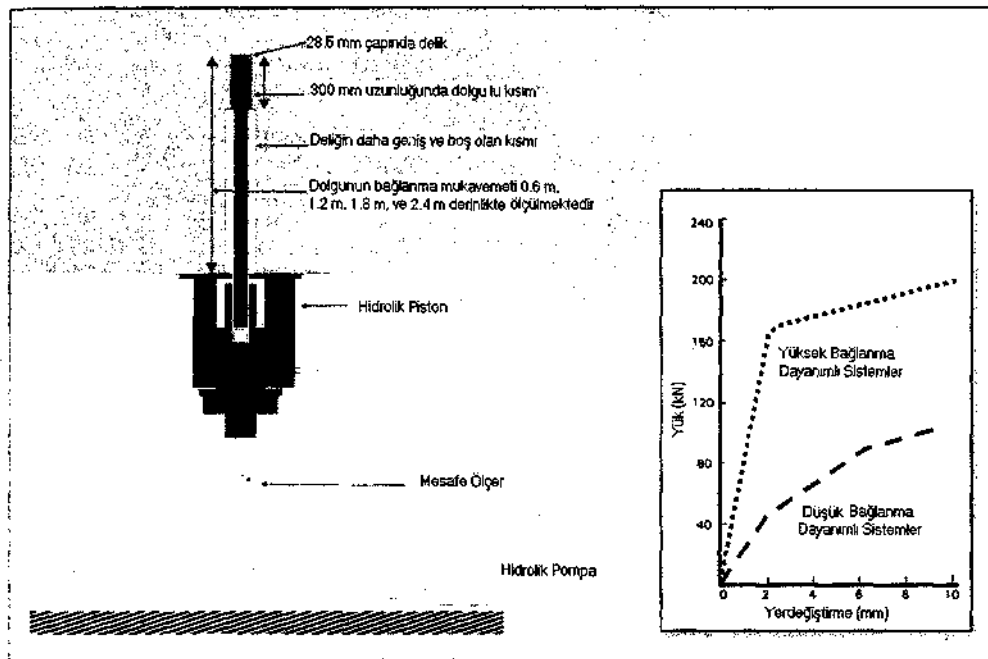
Şekil 17. İki kademedeki tavan alçalmasını ölçen bir sırtutmazın şematik görünüşü (Altounyan ve Hurt, 1998a).

Çapı 27-55 mm arasında bulunan ve uzunluğu tahkimat için kullanılan kaya saplaması boyunun iki katı (veya en az 4,8 m) olan

sırtutmazların Şekil 17'de gösterilen ölçüm noktalarının (A ve B) yerleştirilmesi oldukça önemlidir. B referans noktası hemen delik tabanına, A referans noktası ise kaya saplaması ucunun 30 cm altında olacak şekilde yerleştirilmiştir. Örneğin 2,4 metrelik kaya saplaması kullanılıyorsa, A noktası tavanın 2,1 m derinliğinde olmalıdır. Her iki referans noktasında meydana gelecek olan düşey hareketler, üzeri derecelenmiş ve kırmızı, sarı ve yeşil renkte olan göstergelerden doğrudan Çakılarak tespit edilebilmektedir. Sırtutmazın yerleştirildiği delik ağzına sabitlenen referans tüpünün A noktasına kıyasla hareketi, kaya saplaması boyunca tavanda meydana gelen genişlemeyi ifade eder. A noktası ile B noktası arasındaki düşey hareket farkından, kaya saplamalı kısmın tavanı ile A noktası arasındaki tabakalardaki genişleme ölçülmektedir. Tavandaki toplam genişleme A ve B noktalarında ölçülen değerlerin toplamı kadardır. Tavandaki genişleme, bu bölgede bulunan tabakaların belirli oranlarda yenilmeye uğrayarak kırılanmalarının bir sonucu olması dolayısıyla büyük anlam ifade etmektedir. Sırtutmazlar delik dibinde bulunan

referans noktası (B) üzerinde meydana gelen tavan alçalmasını ölçemezler. Bu nedenle, ayrıntılı izleme istasyonlarında sonik ekstansometreler vasıtasıyla daha derinlerdeki tavan hareketleri ölçülmektedir.

Sırtutmazların hepsi her vardiya kontrol edilerek olabilecek tavan hareketleri çok kısa sürede belirlenebilmektedir. Ancak bu işlem insan tarafından yapıldığı için fazladan iş gücü gerektirmekte ve hareketlerin bir süre sonra farkedilmesi problemini yaratmaktadır. En son gelişme olarak, sırtutmaz verilerinin sinyaller yardımıyla doğrudan ve eş zamanlı olarak yerüstündeki izleme ve kumanda merkezine iletilmesini sağlayan sistem sayılabilir. Bu yöntemin kullanılması sayesinde bütün taban yolları eş zamanlı olarak izlenecek ve hemen hemen hiç göçük ile karşılaşılması imkan dahilinde olacaktır. Çünkü kaya saplamaları ile tahkimatı yapılmış olan bir taban yolu tavanında meydana gelecek olan küçük bir alçalmayı, zamana bağımlı üssel olarak artan deformasyonlar takip etmekte ve göçük riski büyümektedir. Bu nedenle tavanda meydana gelen deformasyonların erken tespit edilerek



Şekil 18. Dolgu dayanımını belirlemek için yapılan delik içerisinden çekip çıkarma deneyi düzeneği ve sonuçları (Altounyan ve Hurt, 1998a).

önlem alınması yöntemin başarılı olarak kullanılmasının önkoşuludur. Saplama kısmında 25 mm ve/veya delik dibinde 10 mm hareket tespit edilirse bölgeye hemen ek tahkimat yapılır. Ancak bu değer sabit olmayıp ocak koşullarına göre biraz değişiklik gösterebilir. Ek tahkimat, kaya saplama, kablolu saplama ve çok kötü koşullarda direklerin kullanılması şeklinde olabilir. Ancak, genellikle ek kaya saplama ile birlikte gerekirse uzun kablolu saplama kullanılması yeterli olmaktadır (Kent vd., 1997; Bigby, 1995).

Kaya saplama performansının istenen performansı sağlayabilmesi için dolgu maddesinin donma ve donduktan sonra kaya saplama ile delik cidarı arasında iyi bir bağlantı sağlayacak özellikte olması çok önemlidir. Bu nedenle dolgu dayanımı yerinde delikten çekip çıkarma deneyleri yapılarak belirlenmelidir. Şekil 18'de İngiltere'de yapılan delik içerisinden çekip çıkarma deneyi şematik olarak verilmektedir. Delik tabanında 300 mm'lik bir kısım reçineli dolgu ile sağlamlaştırılmakta ve yerleştirmeden en erken bir saat ve en geç 24 saat sonra saplama çekilerek delikten çıkarılmaya çalışılmaktadır. Her 10 kN'luk yükleme sonrasında meydana gelen deformasyon kaydedilmelidir. Genel olarak dolgu bu şekilde yükleme sonucunda en az 130 kN'luk bir kuvvete dayanmalıdır. Delik çapının 27,6 mm olduğu durumda dolgu üzerindeki bağlanma gerilmesi 5 MPa olmaktadır.

7. SONUÇLAR .

Özellikle Almanya ve İngiltere'deki kömür damarları ve yan kayaçları göz önüne alınacak olursa, dayanım değerlerinin oldukça düşük olduğu söylenebilir. Kaya saplama Fransa'da daha önceleri kullanılmasına rağmen şartların daha zor olduğu İngiltere ve Almanya'da 1989 yılında kullanılmaya başlanmış ve özellikle İngiltere'de geri

dönümlü uzunayak panolarının uygun olması ve panolar arasında topuk bırakılması nedeniyle hemen hemen tek tahkimat yöntemi olmuştur (Dejean vd., 1983). İstatistikler incelendiğinde hem çalışma emniyetinin mukayese kabul etmeyecek oranlarda artmış olması, hem de maliyet ve işlevsel özellikler açısından büyük avantajlar elde edildiği görülmektedir. Ülkemizde, özellikle, reçine dolgu kaya saplama, rutin izleme ve ayrıntılı ölçme istasyonlarının tesisi ile birlikte başarılı olarak kullanılabilir. Zonguldak bölgesi dahil, bütün yeraltı kömür ocaklarımızda bu yöntemin kullanılması daha verimli uzunayaklara sahip olmamıza olanak sağlayacaktır.

TEŞEKKÜR-

Yazar, kendisine bu konuda çalışma yapma ve uygulamaları yerinde görme olanağı sağlayan DAAD bursunun temini için Almanya Hükümeti'ne teşekkür eder.

KAYNAKLAR

Altounyan P.F.R., Bigby D.N., Hurt K.G. ve Peake H.V., 1998; "Instrumentation and Procedures for Routine Monitoring of Reinforced Mine Roadways to Prevent Falls of Ground", RMT, Rock Mechanics Technology, İngiltere, s. 14.

Altounyan P.F.R., ve Hayes A., 1995; "Strata Control - The State of the Art", Mining Technology, Sayı: 77, No: 892, s. 354 - 358.

Altounyan P.F.R. ve Hurt K.G., 1998a,; "Advanced Rockbolting Technology for European and Russian Coal Mines", World Coal, May 1998.

Altounyan P.F.R., ve Hurt K.G., 1998b; "Introduction of High Production Longwalls, Utilising Rockbolting to Traditional Mining

Industries", Coal International, Vol: 246, No: 2, March, ss. 62-67.

Anon, 1990; DIN Standartları, No: 21521, "Gebirgsanker für den Bergbau und den Tunnelbau", Teil 1, Juli.

Anon, 1993; DIN Standartları, No: 21521, "Gebirgsanker für den Bergbau und den Tunnelbau" Teil 2, Februar.

Anon, 1996; "Guidance on the Use of Rockbolts to Support Roadways in Coal Mines", Deep Mines Coal Industry Advisory Authority, s. 39.

Anon 1998(a); Catalogues, DMT-Gesellschaft für Forschung und Pruning mbH, Almanya.

Anon 1998(b); Rock Mechanics Technology Ltd. (RMT) Catalogue, Burton-on-Trent, İngiltere.

Anteiler P., Groten A. ve Rattmann L., 1995; "Studie zum Thema Ankertechnik", Institut für Bergbaukunde I, RWTH-Aachen, s.155, Almanya (Yayınlanmamış).

Ataman T., 1952; "1951 Yılında Zonguldak Havzasında Elde Edilen Teknik ve Mali Neticeler ve Bu Neticelerin Analizi", Maden - Türk Yüksek Maden Mühendisleri Cemiyeti Mecmuası, Sayı: 19, Kasım, s. 5-9.

Bigby D.N., 1995; Rock Mechanics Design for Rockbolted Roadways in British Coal Mines", Proceedings of the Int. Mining Tech'95 Symposium, Beijing, - Central Coal Mining Research Institute, China.

Bigby D.N., ve Egan J., 1996; "Harworth Colliery: Rockbolted Support in Weak Roof at Depth", 15th International Conference on Ground Control in Coal Mines, Denver, Colorado.

Bigby D.N., 1997; "Developments in British Rockbolting Technology", Coal International, Sayı: 245, No: 3, s. 111-115.

Birön C, 1952; "Tavan Civatalarının Asma Ocağında Tecrübe Tahkimatı" Maden - Türk Yüksek Maden Mühendisleri- Cemiyeti Mecmuası, Sayı: 19, Kasım, s. 20-25.

Birön C, Arıoğlu E., Bilgin N. ve Acar D.K. 1987; "Alpagut-Dodurga Linyit İşletmesi'nde Gözlenen Taban Kabarma Olayını En Aza İndirmek İçin Geliştirilen Tahkimat Sistemleri ve Deneme Sonuçları", Türkiye Madencilik Bilimsel ve Teknik 10. Kongresi, 11-15 Mayıs, Ankara, s. 367-386.

Butcher R., 1995; "Australian Roof Support Techniques", International Mine Development, Planning and Operations Conference, Pittsburgh, PA, 6-8 Haziran.

Dejean M., Raffoux J.F. ve Piguet J.P., 1983; "Rock Bolting in France", Int. Symposium on Rock Bolting, Abisko.

Eaton J.C., 1993; "Roof Bolting - Supply Side Technology", The Mining Engineer, Austos, s. 35-43.

Hanke H., 1998; Kişisel Görüşme, Niedeberg Underground Mine, Almanya.

Hindmarsh, W.E.H., 1995; "The Management of Rockbolting with British Coal" 20th Int. Symposium on Roofbolting in Mines, Aachen. Hurt K.G., 1992; "Roofbolting Design in UK Coal Mines", International Society of Rock Mechanics (ISRM) Sym. Eurock'92, Rock Characterisation, Chester, UK.

Hurt K.G., 1994; "New Developments in Rockbolting", Colliery Guardian, Temmuz, s. 133-141

Kaufmann M., 1998; Kişisel Görüşme, Institut für Bergbaukunde 1, RWTH- Aachen, Almanya.

Kent F.L., Hurt K.G. ve Coggan J.C. 1997; "The Design and Application of Cablebolt Reinforcement in UK Coal Mine Roadways", IMM Tunnelling 97, London.

Khair A.W., 1998; "Roofbolting Concepts", 3rd International Symposium on Roofbolting in Mining, RWTH Aachen, 3-4 Haziran, Band 15, s. 285-300.

Luo J., Haycocks C, Karmis M. ve Westman E., 1998; "A Critical Overview of U.S. Rock Bolting Practices", 3rd International Symposium on Roofbolting in Mining, RWTH Aachen, 3-4 Haziran, Band 15, s. 13-34.

Parashev V. ve Nikolaev N., 1999; "Bulgarian Experience with Frictional Rock Bolting in Mines and Tunnels" 16. Madencilik Kongresi, Haziran, Ankara, s. 215-220.

Richter H., 1997; "Vergleichende Grundsatzuntersuchungen an einer neueartigen Bauform von Gebirgsankern", PhD Thesis, D82 (Dissertation Aachen).

Stillborg B., 1994; "Professional Users Handbook for Rock Bolting" Trans Tech Publications, Second Edition, 164 s.

Ünal E. ve Özkan İ., 1998; "Kaya Saplama ve Demir Bağların Uzunayak Taban Yolundaki Davranışı ve Performans Analizleri" Türkiye 11. kömür Kongresi Bildiriler Kitabı, 10-12 Haziran, Zonguldak, s. 101-110.

Walker S., 1998; "Supporting Development", World Coal, Sayı:7, No:5, Mayıs, s. 37-41.

Williams P. 1994; "The Development of Roof Bolting in UK", The Mining Engineer, Mayıs.