

Kablolu Kaya Saplamlarının TTK Yeraltı Galerilerinde Kullanımı Üzerine Ön Çalışmalar

K. Çolak & T. Ünlü

Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Zonguldak, Türkiye

ÖZET: Bu çalışmada, kablolu kaya saplamlarının TTK yeraltı kömür ocaklarında uygulanabilirliği araştırılmıştır. İlk olarak saplamları ankralamada kullanılacak olan çimento şerbetinin karışım oranları ve dayanım özellikleri laboratuvar çalışmalarıyla belirlenmiştir. Daha sonra, kablolu kaya saplama sisteminin performansının belirlenmesine yönelik laboratuvar ve yeraltında gerçekleştirilen çekme testlerine yer verilmiştir. Sonuç olarak, kablolu kaya saplamları uygun şekilde tasarımılandırıldığı takdirde TTK yeraltı kömür ocaklarında başarı ile kullanılabilceği görülmüştür.

ABSTRACT: In this study, applicability of cable bolt support systems in underground coal mines at Turkish Hardcoal Enterprises (TTK) has been investigated. First of all, chemical composition and mechanical properties of grouting material have been determined by the laboratory works. Secondly, pull tests have been carried out both laboratory and in-situ to obtain the performance of the cable bolt support system. It has been concluded that if properly designed and installed, cable bolts can be successfully used in coal mines of TTK.

1 GİRİŞ

Kablolu kaya saplamları (cable bolts), ilk olarak 1970'li yılların başlarında Avustralya'nın bazı yeraltı madenlerinde üretim çalışmaları öncesinde açıklıkların kuvvetlendirilmesi amacıyla kullanılmıştır. Kablolu kaya saplamları daha sonra yaygınlaşarak ABD'nin Homestead altın madeni (1977), Kanada ve İngiltere gibi diğer gelişmiş ülkelerin yeraltı madenlerinde de uygulanmaya başlanmıştır (Nguyen et al., 1986; Stillborg, 1990; Goris, 1990; Bawden et al., 1992; Hutchinson and Diederich, 1996).

Kablolu kaya saplama; çeşitli kalınlık ve sayılardaki çelik veya cam elyafından (fiberglas) üretilen tel şeklindeki elemanların bir düzen içerisinde sarılması ile oluşturulmuş esnek bir kablodur. Kablolu kaya saplamları, değişik boy ve tiplerdeki kabloların, çimento dolgusu (grout) ile birlikte çeşitli uzunluklarda açılmış sondaj deliklerine ankralanması esasına göre uygulanmaktadır. Kablolu kaya saplamlarının yeraltı madenlerinde başlıca kullanım amaçları;

- kaya kütlelerinin duraylılığını artırarak güvenli bir çalışma ortamı sağlamak,
- madenlerde tavan-taban tabakalarının (gang) cevher içine karışmasını engellemek,
- galeri ve/veya taban yolu deformasyonunu en aza indirmek,
- D kavşakların ve geniş açıklıklarının daha kolay ve etkin şekilde desteklenmesini sağlamak ve
- a cevher topuklarının dayanımını artırmak şeklinde sıralanabilir.

Herhangi bir mühendislik girişiminde en önemli unsur güvenliktir. Klasik kaya saplamları ve çelik hasır tahkimatı, ana galeriler ve oda topuk panolarında başarı ile uygulanmaktadır. Ancak, olası yenilme bölgesinin açıklık boyutları ile orantılı olarak daha geniş olduğu ve bu nedenle duraysızlık sorunlarının yaşandığı kavşaklar ve geniş yeraltı açıklıklarında klasik kaya saplamları yetersiz kalabilmektedir. Kablolu kaya saplamları; uygulama uzunluğu ve yüksek yük taşıma kapasiteleri nedeniyle çelik hasırla ve/veya diğer tahkimat türleriyle beraber, bu tür açıklıkların desteklenmesinde etkin olarak uygulanabilmektedir.

Kablolu kaya saptamalarının çalışma prensibi dolgu klasik kaya saptamalarına benzemektedir. Ancak, özellikle açıklık çevresinde kaya yükü yüksekliği arttığında, klasik kaya saptamaları etkisiz kalabilmektedir. Bu tür yerlerde boyca daha uzun ve dolayısıyla etki mesafesi daha fazla olan kablolu kaya saptamaları, etkin tahkimat elemanı olarak kullanılabilir. Kablolu kaya saptamaları böylece ilerleyen gevşeme davranışının çok pahalıya mal olabilecek etkilerini ve tehlikelerini sınırlandırır (Hutchinson and Diederich, 1996).

2 KABLULU KAYA SAPLAMALARI

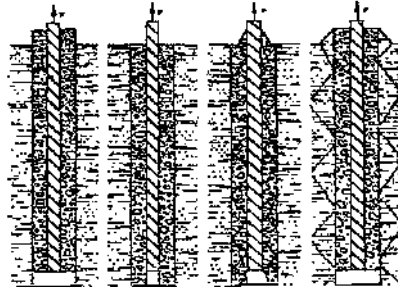
2.1 Kablolu kaya saptaması kullanım alanları

Kablolu kaya saptamaları tek başlarına veya diğer tahkimat türleriyle birlikte kaya kütlelerinin duraylılığının sağlanmasında başarı ile kullanılmaktadırlar. Kablolu kaya saptamalarının kullanıldığı başlıca yerler;

- Galeriler ve kavşaklar,
- Topuk yan duvarlarının sağlamlaştırılmasında.
- Cevher yükleme noktalarında,
- a Geniş yeraltı açıklıklarının ve tabanyollarının duraylılığının sağlanmasında kullanılmaktadır.

2.2 Kablolu kaya saptamalarının çalışma prensibi

Kablolu kaya saptamalarının çalışma prensibi dolgu klasik kaya saptamalarına benzemektedir. Kablo yerleştirildiği delik içerisinde çimento ile birlikte kayaya yapışık bir biçimde çalışır. Kablo, bağlayıcı çimento ve kaya kütlelerinin bir arada düşünüldüğü sistemin yenilmesi Şekil 1'de gösterildiği gibi farklılıklar göstermektedir. Olası yenilme şekilleri



Şekil 1 Kablolu kaya saptama sisteminin başlıca yenilme şekilleri.

- Kaya-çimento arasındaki bağlantının yitimi ile oluşan kesme yenilmesi,
- a Kablo-çimento arasındaki bağlantının yitimi ile oluşan kesme yenilmesi,
- Çimento malzemesinin yenilmesi,
- Kayada oluşabilecek bir yenilme.

Geçmişle yapılan araştırmalar en yaygın yenilme şeklinin kablunun bağlayıcı çimento malzemesinden sıyrılması şeklinde olduğunu göstermiştir. Kablolu kaya saptamalarının tasarımında iki önemli dayanım faktörü gözönünde bulundurulur (Yazıcı ve Kaiser, 1992). Bunlar.

- Çekme direnci (kablunun sıkıldığı delikten birim uzunluğunun sıyrılarak çıkartılması için gerekli eksenel çekme kuvveti, MNm) ve
- Yapışma ve sıkılma direnci (kablunun çekme direncinin kablunun dış yüzey alanına bölünmesi ile elde edilen dayanım, MPa).

Kablolu kaya saptama sistemlerinin etkinliğini belirleyen faktörler çok çeşitli olup, bunlar dört ana grup altında toplanabilirler. Bu faktörler,

- Kullanılan kablunun dayanım Özellikleri,
- Bağlayıcı dolgu maddesi olarak kullanılan çimentonun dayanım özellikleri,
- D Kaya kütlelerinin dayanım özellikleri,
- a Diğer yan faktörler (dolgu maddesinin gereğine uygun hazırlanması, dolgunun ve kablunun deliğe gereğine uygun şekilde yerleştirilmesi gibi faktörler çalışma performansını doğrudan etkilemektedir).

2.3 Çimento malzemesi

Kablolu kaya saptamaları için özel bileşimli yüksek dayanımlı çimentolar geliştirilmeden önce bu iş için normal porland çimento-su karışımı bağlayıcı dolgu maddesi olarak kullanılmıştır. Bu tip çimentolar uzun katılma süresine ve düşük dayanıma sahiptir.

Bu olumsuzluğu gidermek amacıyla özel olarak hazırlanmış çeşitli kimyasal madde katkılı bağlayıcı çimento malzemeleri geliştirilmiş ve piyasaya sürülmüştür. Kablolu kaya saptamaları ile birlikte kullanılacak çimentoda aranan özellikler şunlardır:

- D Erken katılma (en kısa sürede katılarak yük taşıma Özelliği kazanması ve tabaka hareketlerini engellemesi),
- a Genişleme kabiliyeti (deliğin tam olarak dolması ile kablunun delik içerisinde sıkılarak, kaya kablo birleşmesini kuvvetlendirmek),

içeriği yüzdesi, su miktarı, çimento cinsi ve miktarı göz önünde bulundurulmuştur.

Denemeler sırasında yukarıda belirtilen parametreler değiştirilerek hazırlanan beton örnekleri üzerinde tek eksenli basınç deneyleri yapılarak, bir günlük en yüksek dayanımı sağlayan karışım oranları belirlenmiştir. Bir günlük katılma süresi, kablolu kaya saplama sisteminin galeri ilerlemesi sırasında oluşacak patlatma şokunun etkisinden korunması açısından önemlidir. Deneylerde kullanılan Sigunit miktarı, üretici firmanın önerileri de dikkate alınarak çimento ağırlığının %2 ile %4'ü arasında değiştirilmiştir. Sigunit, hazırlanan betonun kısa zamanda dayanım kazanmasını sağlamak için kullanılmıştır. Kullanılan diğer kimyasal madde olan S ikamem miktarı ise, çimento ağırlığının %0.6'sı ile %3'ü arasında değiştirilmiştir. Su azaltıcı olarak kullanılan Sikament, dayanımı yaklaşık %40 artırmakta ve prizlenme sırasındaki çatlamayı önlemekte ve akışkanlığı artırmaktadır (SİKA, 1998).

Çalışmada su miktarı, çimento miktarına göre (ağırlıkça) %30 ile %40 arasında değiştirilerek deneyler tekrarlanmıştır. Ayrıca, kum ve/veya kül kullanımının dayanımı nasıl etkileyeceği de araştırılmıştır. Yükseklik/çap oranı 2 olan SO mm çapında örnekler bilgisayar kontrollü katı yükleme makinası kullanılarak test edilmişlerdir. Yapılan denemelerde elde edilen 1 günlük dayanım sonuçları Çizelge 1'de sunulmuştur. Çizelgeden de görülebileceği gibi, IX. denemede elde edilen 70 kN'luk (35 MPa) yükleme değeri, bir günlük bekleme süresi için yeterlidir. 7, 14 ve 28 günlük dayanım değerleri, bir günlük kür süresi sonrası elde edilen dayanım değerlerinin üzerinde olacaktır,

bu süreler için ayrıca dayanım değerlerinin belirlenmesine yönelik çalışmalar yapılmamıştır.

Kömür çevresi kaya kütlelerinin basınç dayanım değerleri göz önüne alındığında (50-120 MPa), yaklaşık 35 MPa olarak elde edilen dolgu malzemesinin tek eksenli basınç dayanımı değeri oldukça iyi sayılabilir (Çiz. 1).

3.2 Çekme dayanımı testleri

Kablolu kaya saplamalarının performansını irdeleyebilmek amacıyla kaya mekaniği laboratuvarında ve yeraltı koşullarında doğrudan çekme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Bu bağlamda, araziden temin edilen, boyutları yaklaşık olarak 0,8-0,8-0,8 m olan prizmatik bir kireçtaşı bloğunun ortasında bir uçtan diğer uca kadar 54 mm çaplı bir delik açılmıştır. Bu delik içerisine kablolu kaya saplaması yerleştirilmiştir. Beton döküldükten ve saplama yerleştirildikten sonra ilk beş dakika içerisinde sistemin katıldığı belirlenmiştir. Sistemin dayanım performansının artması için 3 gün süreyle beklenmiş ve 60 ton kapasiteli özel bir delikli krika alt ve üst plakalar arasında yerleştirildikten ve kablo sıkılanmış ve sonra yine bir tetikleyici pompa aracılığı ile saplama yerinden çıkartılmaya çalışılmıştır (Şek. 3). Bu sırada çekme/çıkarma kuvveti (pull out force) ve yerdeğiştirme miktarları (displacements) düzenli aralıklarla kaydedilmiştir. Birinci denemede kafes yapısına sahip (Şek. 4) 7 elemanlı ve 30 ton kopma mukavemetli kablunun vida hareketi ile sınırlı tespit edildiğinden, ikinci seri deneyde dip kısmına bir kafa yerleştirilerek deliğe anrajlanmış tır.

| Deney No | Su Miktarı (%) | Kum Miktarı (%) | Sigunit | SİKament | Karıştırma Süresi (dk) | Yenilme Yüğü (kN) |
|----------|----------------|-----------------|---------|----------|------------------------|-------------------|
| I | 35 | 66 | 3 | 2 | 2 | 14.55 |
| II | 38 | 66 | 3 | 2 | 2 | 17.09 |
| III | 38 | 100 | 3 | 2 | 2 | 15.87 |
| IV | 40 | 100 | 3 | 2 | 2 | 14.40 |
| V | 40 | 80 | 3 | 2 | 2 | 16.55 |
| VI | 32 | 0 | 4 | 3 | 2 | 28.44 |
| VII | 30 | 0 | 4 | 1.5 | 2 | 46.39 |
| VIII | 32.5 | 0 | 4 | 1.5 | 2 | 34.8 |
| IX | 30 | 0 | 4 | 2 | 2 | 70.00 |
| X | 32 | 0 | 4 | 2 | 2 | 57.21 |
| XI | 32 | 0 | 4 | 2 | 2 | 60.84 |



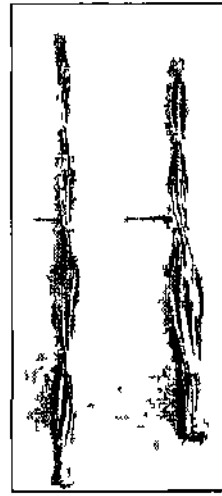
Şekil 3 Çekme testi deney düzeneği

İkinci sen deney başarı ile sürdürülmekteyken delikli krikoyu tahrik eden tetikleyici pompanın basınç artışı nedeniyle yağ kaçırmaya sonucu deney, 39 kN luk (4 ton) yükleme sonrasında kesilmiştir. Deney düzeneğinin sökülmesi sonrasında gözle yapılan incelemede, kullanılan başlığın kablodan sıyrıldığı gözlenmiştir ve yer değiştirmelerin muhtemelen bu nedenle meydana geldiği sonucuna varılmıştır. Deney verilen göz önüne alındığında kablolu kaya saplama sisteminin performansının oldukça iyi olduğu söylenebilir. Deneyde elde edilen yuk yer değiştirme değişimi Şekil 5'de verilmiştir.

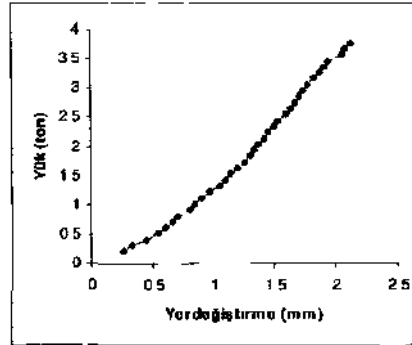
4 ARAZİ ÇALIŞMALARI

Kablolu kaya saplamalarının arazide uygulanması için, TTK eğitim ocağında daha önce açılmış olan bir galen seçilmiştir. Söz konusu galen 14 m kesitte, yeryüzünden yaklaşık 50 m derinde ve kumtaşı formasyonu içinde açılmıştır. Galeriyi çevreleyen formasyonun, TTK yeraltı galerisinin çoğunluğunda karşılaşılabilecek özelliklerde olduğu söylenebilir.

Yerinde uygulama yapmak için deliklerin açılması, doldurulması ve yerleştikten saplamaya çekme yuku uygulamak için özel tıp kriko temin edilmiştir. Delikler pnomatik olarak çalışan delicilerle, 38 mm çapında matkap kullanılarak yaklaşık 42 mm çapında ve 1.2 m U7'nlükta delinmiştir. Kullanılan saplama boyları 2 m'dir.



Şekil 4 Deneylerde kullanılan kates yapısındaki çelik halatlar

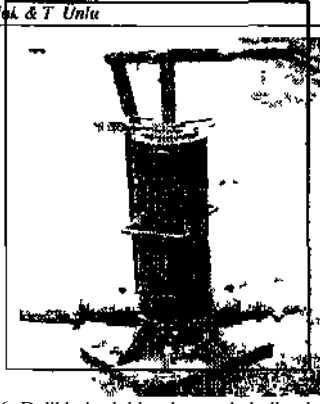


Şekil 5 Çekme testi deney sonuçları

Deliklerin çimento dolgusu ile doldurulması için emme basma prensibi ile çalışan ve elle tahrik edilen bir pompa kullanılmıştır (Şek 6).

4.1 Saplamaların yerleştirilmesi

Kablolu kaya saplamalarının çekme dayanımlarının ve sıyırma yüklerinin belirlenmesi amacı ile galen arınma ve tabana 3'er adet delik delinmiş ve saplamalar yerleştirilmiştir (Şek 7). Düşey olarak açılan 1 adet deliğe saplama yerleştirilmiş ve çimento dolgusu ile doldurulmuş 24 saat donması için beklenmiştir.



Şekil 6 Deliklerin doldurulmasında kullanılan pompa düzeneği

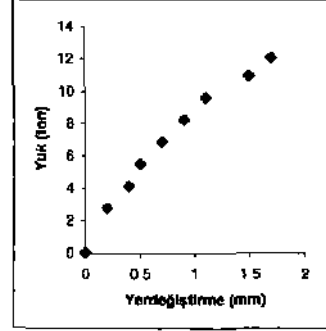
Deliklerin doldurulması sırasında yeraltı koşullarından kaynaklanan sorunlar aşılmış ve yerleştirilen saplamalara çekme testi uygulanarak, saplamanın davranışı ve çimento ile ankrajlamada elde edilebilecek muhtemel yük taşıma kapasitesi belirlenmiştir.



Şekil 7 Uygulama galerisinde saplamalar ve çekme düzeneği

4.2 Arazi çekme testi sonuçları

Kablolu kaya saplamalarının delik içerisine yerleştirilmesi ve 3 günlük kur süresinin sonrasında saplamalar üzerinde çekme deneyleri yapılmıştır. Denemelerde saplamalara en yüksek 128 kN'luk (13 ton) çekme yükü uygulanabilmiştir. Yükün bu değerden daha fazla artırılması istenmiş ancak kablunun çekme düzeneğinden sıyrılması nedeniyle artırılmasına engel olmuştur. Deneyler sırasında uygulanan yük ve yer değiştirme miktarı kaydedilmiştir. Elde edilen yer değiştirme ve uygulanan çekme yükü değerleri Şekil 8'de verilmektedir.



Şekil 8 Saplamaya uygulanan çekme yükü ile yer değiştirmelerin değişimi

Deney esnasında yapılan gözlemlerde, yer değiştirmelerin bir kısmının çekme düzeneği ile kablo arasındaki sıyrılmadan kaynaklandığı görülmüştür. Deneylerin başlangıcında hedeflenen amaç, Şekil 1'de gösterilen yemime şekillerinden bir tanesiyle kablolu kaya saplama sisteminin yenilmesini sağlamak olmuştur. Ancak, ekipman yetersizliğinden kaynaklanan nedenlerle çekme deneyleri ancak 128 kN'luk (13 ton) bir değerde kesilmek zorunda kalmıştır. Şekil 8'den sistemin katılığı 67 kN/mm (6.85 ton/mm) olarak hesaplanmıştır. Elde edilen bu sonuca göre, bağlayıcı eleman olarak kullanılan çimento dolgusu pert ortamının oldukça iyi olduğu söylenebilir.

5 SONUÇLAR

Bu çalışmada dünyada yaygın olarak kullanılan ancak ülkemiz yer altı madenciliğinde pek sık karşılaşılmayan bir tahkimat türü olan kablolu kaya saplama sisteminin tasarımına yönelik olarak, on

çalışmalar gerçekleştirilmiştir. TTK ocaklarında açılan galerileri temsil edebilecek özellikteki bir galeride yapılan çalışmada, geleceğe yönelik olumlu sonuçlar elde edilmiştir. Bundan sonra yerli malzemeler kullanılarak üretilebilecek kablolu kaya saplamalarının yeraltı kömür madenciliğinde aktif olarak kullanımına yönelik çalışmalar yapılması ve bu tahkimat sisteminin yeraltı kömür madenciliğindeki uygulamalarının yaygınlaştırılması yerinde bir yaklaşım olacaktır.

TEŞEKKÜR

Yazarlar, bu bildirinin oluşmasına esas olan, 98-K-123180 nolu "Kaya Saplamaları ve Kablolu Kaya Saplamalarını Uygulama Olanaklarının Araştırılması" konulu projenin yürütülmesindeki katkılarından dolayı, DPT ve TTK ilgililerine teşekkür ederler.

KAYNAKLAR

- Bawden, W. F. Et al.,1987; An experimental procedure for the in-situ testing of cable bolts. *Int. J. Rock Mech. Min. Sei. And Geomech. Ahst.*, Vol: 29, No. 5, pp. 525-533.
- Goris, M. J., 1990; Laboratory evaluation of cable boh supports, U.S.B.M. Report of Investigations, RI 9342, 14 p.
- Hutchinson, D.J., Diederichs. M. S., 1996; *Cablebolt in Underground Mines*. Bitech Publishers Ltd. Canada.
- Nguyen. V.U. et al, 1986; An experimental investigation on cable reinforcement, *Ground Control Related to Coal Mining Symposium*, The Aust. IMM Illavarra Branch, pp. 93-101
- SİKA, 1998; *Ürün klcn-ttzu*. Sika Deteks Yapı Kimyasalları A.Ş. 158 p.
- Stillborg, B-, 1990; Rockbolt and cablebolt tensible testing across a joint. Kaya saplamaları ve tasarımı çalışma grubu toplantısı, TKİ Orta Anadolu Linyitleri İşletmesi, Ankara.
- Ünlü. T.. 1994; *Stability and reinforcement of pillar working with particular reference to deep coal mining*. Ph.D Thesis, University of Nottingham, 302 p.
- Yazıcı. S., Kaiser. P. K., 1992; Bond strength of grouted cablebolts, *Int J. Rock Mec. Set. & Geomech. Ahst.*, Vol: 29, No. 3, pp. 279-292

