

Tahkimat

Aşırı Sökülmenin Galeri Duraylılığı Üzerine Etkisi

T. Ünlü

Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Zonguldak, Türkiye

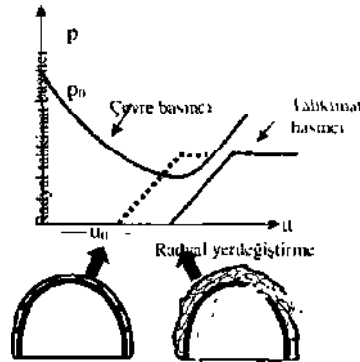
ÖZET: Bu çalışmada; Türkiye Taşkömürü Kurumu'nda (TTK) delme-pallatma yöntemiyle taşla sürülen galerilerde karşılaşılabilecek duraysızlık problemleri arazi gözlemleri ve sayısal gerilme çözümlerini yardımıyla incelenmiş, galerilerde oluşacak gerilme dağılımları ve yenilme bilgilerinin genişlikleri karşı I aşınımıştır. Sonuç olarak, delme-pallatma yöntemiyle açılacak olan galcrilc-Jo aşın .sökülmenin önlenmesi ve tahkimatın etkinliğinin artırılması için alınması gereken Önlemlere değinilm^i

ABSTRACT: In this study, in-situ observations and numerical modelling studies have been tried out to investigate stability problems resulting from drill-and-blast operations in main development galleries in die coal mines of Turkish Hardcoal Enterprises (TTK), Zonguldak. Stress concentrations and tailed regions around roadways have been determined and studied by the aid of numerical analyses. In addition, preventive measures have been suggested to improve support efficiency and overcome stability problems in die galleries excavated by drill-and-blast method.

1 GİRİŞ

Yeraltı madenciliğinde galeri açma işleri kayaç yapısına bağlı olarak ya delme-pallatma ya da mekanize kazı yöntemiyle yapılmaktadır. Delme-pallatma ile açılan galerilerde oluşan şok ve parçalama etkisiyle, çevre kayaç çoğu kez aşırı öselenmekle ve galeri yakın çevresindeki kaya kütlelerinin dayanımı da azalmaktadır. Ayrıca, kalitesiz delme-pallatma işlemleri sonucunda galeriler düzensiz kesitlerde devam eden açıklıklara sahip olmaktadır (aşırı sökölme), TTK ocaklarında sürülen galerilerde de delme-pallatma yöntemi uygulanmaktadır. Geçmiş dönemlerde, kuruma delme-pallatma ile açılacak galerilerde uygulanacak delik düzenleri ve kullanılması gereken patlayıcı miktarına ilişkin araştırmalar yapılmış ve pallatma verimliliğinin artırılmasına yönelik önerilerde bulunulmuştur (Bilgin vd., 1990). Ancak, günümüz uygulamalarında gerçekleştirilen kalitesiz delme-pallatma işleri sonucunda galeriler genellikle gelişigüzel kesitlerde oluşturulmaktadır. Bu galerilerde, klasik çelik bağlarla yapılan tahkimatın geometrisi açılan kesite uyum sağlayamamakta ve tahkimat çevre kayaya etkin bir şekilde sıklanamamaktadır. Diğer bir ifadeyle tahkimat,

çevre kayayla kısa surede etkileşime girememektedir (Şek. 1). Çevre kayada başlayan gevşeme hareketi pallatma etkisiyle çevre kayaya artmaktadır. Tahkimat üzerine çoğu zaman düzensiz veya noktasal olarak etkiyen yükler sonucunda da çelik bağlar deformasyona uğramakta ve galeride tamir laıama gereksinimleri doğmaktadır.



Şekil 1 Uyumlu ve gevşek sıkılanmış çelik baş* ile çevre kayaya etkileşimi.

2 GALERİLERDE KARŞILAŞILAN BAŞLICA DURAYSIZLIK PROBLEMLERİ

Yeraltı madencilğinde üretim, nakliyat, havalandırma vb. amaçlarla sürülen galerilerin tasarımında göz önünde bulundurulması gereken en önemli husus, bu galerilerin servis ömrü boyunca dayanıklılıklarını kaybetmeden aktif olarak hizmet vermeleridir. Galeri dayanıklılığında rol oynayan başlıca etkenler; arazideki gerilme durumu, jeolojik yapı, açıklık çevresindeki kayaların jeoteknik özellikleri, uygulanan tahkimatın türü ve etkinliği şeklinde sıralanabilir. Galerilerde karşılaşılan başlıca duraysızlık problemleri şunlardır:

- Yüksek ikincil gerilmeler nedeniyle tabakaların sıkışması (*squeezing*) veya ortamda suya hassas kayalarda görülen şişme (*swelling*) sonucu oluşan taban kabarmaları ve deformasyonlar.
- Süreksizliklerle sınırlanmış kaya bloklarının yerçekimi etkisiyle açıklık içine doğru hareketiyle görülen kısmi veya tam göçükler.
- Blok hareketleriyle başlayan ve giderek tabaka içlerine doğru genişleyen gevşeme bölgesinin oluşturduğu aşırı yükler ve bu yüklerin tahkimat kapasitesini aşması sonucunda oluşan galeri deformasyonları,
- Ortamdaki yüksek ikincil gerilmelerin kaya kütlelerinin dayanımını aşmasıyla, kaya kütlesi içerisinde lokal veya çevresel olarak görülen yenilme bölgeleri ve bu bölgelerin oluşturduğu duraysızlık problemleri sayılabilir. Ayrıca, yetersiz veya yanlış yapılan tahkimat da sıkça karşılaşılan duraysızlık problemlerinin kaynaklanmaktadır.

Galeri açma işlerinin etkinliğindeki en önemli ve öncelikli konu, planlanan kesitte ve mümkün olduğunca çevre kayaya en az hasar vererek kazı yapmaktır. Galen açma işlemi bir çeşit bombalama işlemi değil, cerrahi bir kesme işlemi olmalıdır. Kötü bir delme-patlatma uygulaması, yeni süreksizlikler oluşturarak galeri yakın çevresindeki kaya kütlelerinin kalitesini düşürmekte ve/veya açıklık çevresinde mevcut olan gevşemiş kaya bölgesinin genişlemesine yardımcı olmaktadır.

Çelik bağlar, pasif tahkimat türlerinden olup ilk kurulma sonrasında kaya ile etkileşime geçemezler. Ayrıca, kötü bir patlatma sonucunda, galeri cidarlarında aşın sökülmeler (*overbreak*) olacağından, her tür tahkimatın yerleştirilmesi ve sıkılanması işlemleri de zorlaşmaktadır. Etkin bir şekilde sıkılanmayan çelik bağlar, galeride oluşacak deformasyonları nedeniyle aşırı ve

asimetrik şekilde yüklenebilmektedir (Şekil 2). Periyodik olarak yapılan tamir tarama çalışmaları, bu tür galerilerde sık karşılaşılan durumlardandır. Sonuç olarak, tahkimat işlemlerindeki etkinlik azalmakta, zaman ve ekonomik kayıplarla karşılaşmaktadır.



Şekil 2 Rijit çelik bağın asimetrik yüklenmesi.

"Herhangi bir yeraltı açıklığının tasarımında temel amaç; çevre kayayı asıl yapı malzemesi olarak kullanmak, kazı sırasında çevre kayayı mümkün olduğunca az düzeyde rahatsız etmek ve mümkün olduğunca az miktarda beton ya da çeliği tahkimat olarak kullanmaktır. Bir anlamda tahkimatın asıl işlevi çevre kayanın ölü yükünü taşımak değil, kayanın kendi kendisini taşımasına yardım etmektir" (Hoek and Brown, 1980). Çevre kayayı en düşük seviyede rahatsız etmek ancak mekanize kazı yöntemlerini uygulamakla mümkündür. Ancak, delme-patlatma yönteminde geliştirilen bazı teknikler veya alman Önlemlerle de çevre kayadaki örselenmenin düşük seviyelerde tutulması mümkün olabilmektedir (US Army Corps of Engineers, 1994;Hoek, 2000). Bu teknikler:

- Ön çatlatma (*presplitting*) : Bu yöntemde, sık aralıklarla galeri sınırları boyunca delinmiş delikler ana patlatma öncesinde doldurulup ateşlenir. Böylece, ana patlatmayla oluşacak şok ve enerjinin galeri sınırlarının dışına iletilmesi engellenerek çevre kaya patlatmanın olumsuz etkilerinden korunmaya çalışılır.
- Düzgün patlatma (*smooth blasting*) Ana patlatma galeri sınırlarına yakın bir uzaklıkla sınırlandırılarak gerçekleştirilir. Daha sonra son patlatma (*kontur*) delikleri delinerek daha az miktarda patlayıcı ile doldurularak kontrollü bir şekilde ateşlenir. Bu yöntemle, çevre kaya konvansiyonel ve ön çatlatma tekniği ile gerçekleştirilen patlatma yöntemlerinden daha düşük seviyelerde etkilenebilir.
- Gevşek patlatma (*cushion blasting*): Bu yöntemde delik çapı patlayıcı madde çapından

çok daha büyük olarak delinir. Delik ağzı tıkaçlanır veya boş bırakılarak patlatma gerçekleştirilir.

Yukarıda belirtilen üç ana metottan başka uygulanan diğer bir yöntem de galeri çevresi boyunca boş delikler delinerek suni kırılma hattı oluşturulan patlatma yöntemidir. Ana patlatmadan sonra kalan 2 üç sıra patlatma bu delikler delindikten sonra gerçekleştirilir. Böylece galeri çevresinde düzgün bir kırılma hattı sağlanmaya çalışılır.

Rijit çelik bağların galerilerin tahkimatında etkin olarak kullanılması; bu bağların yerleştirilmesi, sıkılması ve komşu bağlar ile bağlantısıyla doğrudan ilintilidir. Proctor ve White (1946), kavisli rijit çelik bağlara etkiyen yüklerin belirlenmesi ve bu bağlarda oluşacak gerilmelerin analizi konusunda yaklaşık bir hesap yöntemi geliştirmişlerdir. Rijit çelik bağların boyutlandırılmasını İçeren ve yarım asırdır maden ve inşaat mühendisliğinde yaygın olarak benimsenen bu hesap yöntemiyle, galerilerde rijit çelik bağ tasarımı yapılması mümkün olmuştur. Bu yöntemde; kaya kütlelerinin kalitesine bağlı olarak belirlenen ya da tahmin edilen kaya yükü, çelik bağı galeri cidarına sıkılamak amacıyla yerleştirilen takozlar aracılığıyla (sıkılama noktaları) çelik bağa iletilmektedir. Bağdaki sıkılama sürekli (hiç aralık bırakmadan) değilse, bağ profilinde eğilme gerilmeleri ve yüksek itki kuvvetleri oluşacaktır. Bağda oluşacak eğilme momenti, sıkılama noktaları arasındaki mesafenin karesi $\propto W^2$ değişmektedir. Sıkılama ne kadar etkin ve aynı zamanda sık aralıklar ile yapılıyorsa bağda oluşacak gerilmeler de doğru orantılı olarak azalacaktır. Diğer bir anlatımla, yükün noktasal veya geniş aralıklarla bağa iletilmesi ve bağın dayanımının aşıldığı durumlarda bağ deformasyonu kaçınılmaz olacaktır. Bağda oluşacak gerilmeleri en düşük seviyelerde tutabilmek için alınması gereken önlemlerden bir tanesi, sıkılama takoz sayısını artırmak veya mümkünse bağı tüm uzunluğu boyunca çevre kayaya sıkılamaktır. Ayrıca, ülkemizde yaygın olarak kullanılan ahşap fırçalar yerine çelik fırçaların kullanılması durumunda, hem bağ aralıkları daha düzenli olacak, hem de bağların birbirleriyle uyum içerisinde çalışması sağlanacaktır. Bu uygulamanın diğer bir avantajı da patlatma sırasında oluşan şok nedeniyle bağların eğilmesi ve yana yatmasının önüne geçilebilmesidir.

3 TÜRKİYE TAŞKÖMÜRÜ KURUMU (TTK) UYGULAMALARI

TTK maden ocaklarında açılan galerilerde delme-patlatma yöntemi uygulanmaktadır. Açılan boşluklara galeri kesitine göre Alman (DİN) normlarına göre belirlenmiş GI-110 veya GI-140 türü 2 veya 3 parçalı 1 profilden üretilmiş rijit çelik bağlar ana tahkimat elemanı olarak kullanılmaktadır. Bu bağlar birbirlerine ahşap fırçalarla bağlanmakta ve çevre kayaya da takoz ve/veya kamalarla sıkılmaktadır. Görünürde bu bağlar, galeri kesitine uyum sağlamış ve iyi sıkılmış İzlenimi vermektedirler (Şek. 3a). Ancak; patlatma sonrasında galeri kesitinin kontrolsüz bir şekilde açılması sonucunda, aşırı ondülasyonlan, kesit düzensizliklerinin ve aşırı sökülmenin (overbreak) oluştuğu sıkça gözlenmektedir (Şek. 3b).

Bu galerilerde, klasik rijit bağlara alternatif olarak bazı kesimlerde kaya saplamaları ve püskürtme betonunun uygulanabilirliğini araştırmak amacıyla pilot bir galeride kaya saplaması ve püskürtme beton uygulaması yapılmıştır (Ünlü, 2003; Ünlü ve Çolak, 2004). Proje başlangıcında, B-14 kesitte ve mümkün olduğunca düzgün kazı geometrisine sahip bir galeride çalışmanın projenin sağlıklı bir şekilde gerçekleştirilmesi açısından oldukça önemli olduğu vurgulanmıştır. Çünkü, kullanılacak saplama sayısı ve boyları, püskürtme beton yapılacak alan ve bu alanın geometrisi, kullanılan dinamit miktarı ve patlatma sonrası kaldırılacak pasa miktarı, vb. gibi tüm çalışmalar kazı kesiti ve kesitin düzenliliğiyle doğrudan ilintilidir. Ancak, tüm uğraşlara karşın, proje galerisinde eücin bir kazı yapılması sağlanamamıştır (Şek. 4). Galeri kesitindeki düzensizlikler, fazla kazı ve aşırı ondülasyonlar v.b. sürekli karşılaşılan problemlerdir. Bu olumsuzluklar, hem tahkimat hem de işçilik masraflarını artırmaktadır. Sonuçta, sürülen galeri de oldukça ondülasyonlu bir görüntü vermektedir.

Sorunun giderilmesi için son larama deliklerinin daha sık delinmesi ve bu deliklerin boş-dolu düzenine uygun olarak sıralanması ve böylelikle düzgün kesme hattının oluşturulması önerilmiştir. Düzgün bir galeri kesiti sağlanabilmesi için, boş ve şarjlı deliklerin aralıkları, kayanın dayanımına, süreksizlik seti sayısına, süreksizliklerin eğim ve doğrultularına bağlı olarak daha dar veya daha geniş olarak seçilebilir. Zaman içerisinde bu aralıklar için en uygun değerler elde edilebilecektir. Uygulama galerisinde gerçekleştirilen patlatmalar sırasında gerçekleştirilen boş kontur deliklerinin açılmasıyla, patlatma sonrası elde edilen kazı kesitinde (açıklık ve ondülasyonlar açısından) gözle görülür bir iyileşme sağlanmıştır (Şek.5).

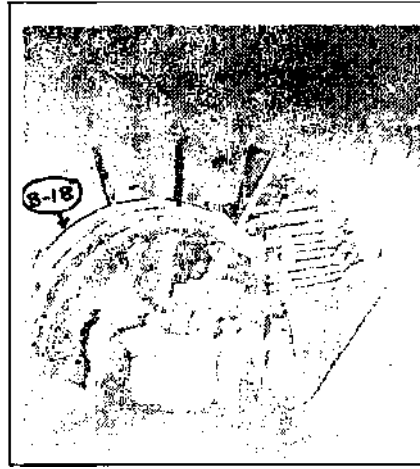


(a)

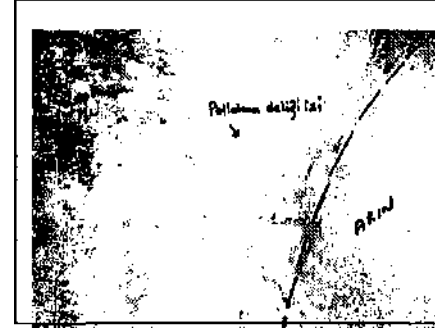
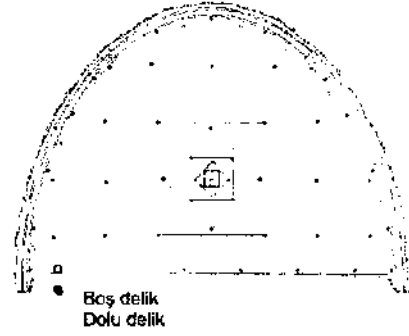


(b)

Şekil 3. Delme-patlatma yöntemiyle açılmış, (a) çelik tahkimatlı, (b) püskürtme beton tahkimatlı galerinin görünüşü.



Şekil 4. Galerinin yanlışı patlatma sınımcı aşırı genişlemesi.



Şekil 5. Boş delik uygulamasıyla galeri kesitinde gözlenen düzleme.

Uygun bir delme-patlatma işlemi, tahkimat gereksinimini azaltacak, tahkimatın etkinliğini de ciddi bir şekilde artıracaktır. Kaya kütlelerinin yapısına uygun şekilde gerçekleştirilecek delme-patlatma işlemleri, galeri duraylılığının korunmasında önemli rol oynayacağı gibi kazı hızını da olumlu yönde etkileyecektir. Çevre kayanın jeomekanik özellikleri, delme açıları ve delik derinliği, dinamit şarjı miktarı, kullanılan dinamitin gücü, vb. bir çok parametreye bağlı olan delme-patlatma işlemi, ancak, kalifiye işçilik ve mühendislik hizmetiyle başarılabilir. Kurumda bu konudaki iş tecrübesinin oldukça gelişmiş olması, geçilen kaya kütlelerinin yapısı, sertliği vb. özelliklere bağlı olarak uygun delik düzenleri ve şablonları yardımıyla etkin şekilde galeri açılması doğal beklentilerdendir. TTK'nin galeri ilerlemeleri hızı ve tahkimat etkinliğinin sağlanması konusundaki birincil problemi: etkin kazı, yani delme-patlatma işleridir. Proje süresince de bu açık olarak görülmüştür. Ayrıca, deneyimli ustaların emekli olması, dolayısıyla yeni ustaların iş becerisi ndeki yetersizlikler, teknik elemanlarda görülen

motivasyon eksikliği (yapılan işin inisiyatifi işçilere bırakması, yanlışlıklara müdahalelerde gecikme, yeterince öğretici ve yönlendirici olmama) gibi unsurlar da işin amacına uygun yapılamamasına sebep olmaktadır. Şekil 4 bu tür kolu uygulamanın en tipik örneğidir. Açılması gereken kesit B-14 olması gerekirken, şekilde de görüldüğü gibi B 18 çelik bağ dahi açılan açıklık için oldukça küçük kalmaktadır.

Arazi gözlemlerine göre, zayıf ve gencide ufalanmış kayalardan oluşan ezik zonlar, faylar ve/veya komur damarlarının yakınlarında sıkça görülmektedir. Bu bölgelere giriş noktaları on sondajlarla belirlenmelidir. Bu zonlarda birbirlerine metal fırkalarla bağlanmış çelik bağlar kullanılmalı ve bağ arkalan çelik hasır ve püskürtme beton tahkimatıyla desteklenmeli. Bu zonlar geçildikten sonra tahkimat yine çelik hasır+kaya sapsaması ve püskürtme beton olarak devam ettirilmelidir. Püskürtme beton kalınlığı 5 cm den az olmamak kaydıyla kaya kütesinin yapısına göre seçilmelidir. Genel olarak tavanda 10 cm (iki kat) ve yan duvarlarda 5 cm kalınlığında püskürtme beton uygulanması önerilir. Bu kalınlık gerektiğinde bir kat daha artırılabilir (Unlu, 2003).

4 SAYISAL GERİLME ÇÖZÜMLEMELERİ

Sayısal gerilme çözümleri diğer mühendislik dallarında olduğu kadar maden mühendisliğinde de gün geçtikçe daha yaygın uygulama alanları bulmaktadır. Yöntemin avantajları arasında, gerilme yığılımlarının ve olası yenilme bölgelerinin önceden kestirimini sağlamak çevre açıklıklar veya yapılarla etkileşimin sonuçları konusunda tasarımçıya ipuçları vermek ve alınacak tahkimat önlemleri karşısında yapının uygulanan tahkimata olumlu veya olumsuz tepkisini önceden kestirmek sayılabilir.

Yer kabuğu bölgeden bölgeye yapısal farklılıklar gösteren çoğunlukla heterojen anizotropiklik gösteren süreksizlikler ve/veya faylanmalarla sınırlanmış kaya kütlelerinden oluşmaktadır. Böyle ortamlarda oluşturulan mühendislik yapılarının sayısal çözümlerini yüksek doğruluk oranlarında gerçekleştirmeye yönelik gelişmiş henuz tek bir yöntem mevcut değildir. Bu nedenle, problemlerin çözümüne yönelik olarak, aiazının yapısal özelliklerine göre bir veya bu kaç yöntem uygulanabilmektedir. Böylece, yöntemlerin birbirlerine usun olan yönlen on plana çıkartılarak daha gerçekçi sonuçlara ulaşılabilir (örn sonlu elemanlar yöntemi). Aynı şekilde, aynı problemin çözümüne yönelik uygulanması gibi).

İİK'da incelenen *galat* probleminin iki boyutlu olması nedeniyle çalışmada iki boyutlu sonlu

elemanlar yöntemi (PHASE2 V5.0) kullanılmıştır (Rocscience 2004). Ancak ortamda doğal olarak bulunan süreksizlikler ile patlatmadan kaynaklanan hasarların etkisi mevcut programın kapasitesi dışında olduğundan çözümlerde göz ardı edilmiştir.

Çözümlemede yaklaşık olarak 4990 adet uçgen eleman kullanılmıştır. Galen kesiti fotoğraf üzerinden planimetreye çıkartılmış olup sonlu elemanlar modelinde 1:1 olarak ölçeklendirilmiştir (Şekil 6). Uygulama galerisi -360 kotunda olup ortu tabakası kalınlığı yaklaşık olarak toplam 560 m'dir. Galeriye etkiyen bıncıl gerilmeler hakkında kesim bir bilgi olmaması nedeniyle modellemelerde gerilmeler hidrostatik ($P_v = P_h$), düşey bıncıl gerilme ağırlıklı ($P_v = 2P_h$) ve yatay bıncıl gerilme ağırlıklı ($2P_v = P_h$) olacak şekilde seçilmiştir. Modeller, kazı ve tahkimat aşamalarını göz önüne alacak şekilde iki aşamalı olarak çözümlenmiştir (yukarıdaki %30'u 1 aşama olan kazı aşamasında, %70'lik kısmı da 2 aşama olan tahkimatın yapılması sonrasında).

4.1 Çevre kaya ve tahkimata ait mekanik özellikler

Galeriyi çevreleyen kaya kütesinin elasto-plastik davranışının modellediği sayısal gerilme çözümlerinde, galen çevresindeki kaya kütesine, püskürtme betona ve Split-sei tipi kaya sapsamasına ait varsayılan mekanik özellikler aşağıda verilmiştir.

Kaya kütesine ait özellikler

Kaya mal/emesinin tek eksenli basınç dayanımı

$\sigma_c = 90 \text{ MPa}$ (kumtaşı)

Hoek-Brown dayanım parametresi

$m = 164$

Kaya kütesinin deformasyon modulu

$E = 30 \text{ GPa}$

Poisson oranı $\nu = 0.2$

GSI = 70 olan kaya kütesine ait dayanım

parametreleri (Hoek-Brown yenilme ölçülmesi parametreleri)

$m = 6$ ve $n = 3.64$

$s = 0.036$ ve $s_i = 0.001$

Dilatasyon parametresi $= 0$ (hacim artışı yok)

Değerler $\sigma_c = 560 \text{ MPa}$

Kayanın birim hacim ağırlığı $\gamma = 0.026 \text{ MN/m}^3$

$P_v = \sim 15 \text{ MPa}$

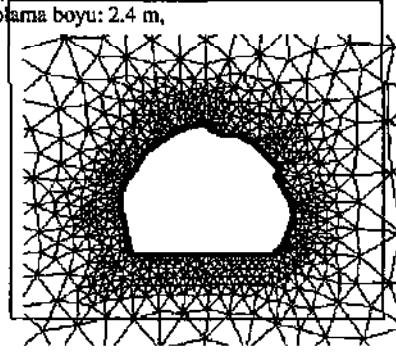
f. Ünlü

Kaya saptaması ve püskürtme betona ait mekanik

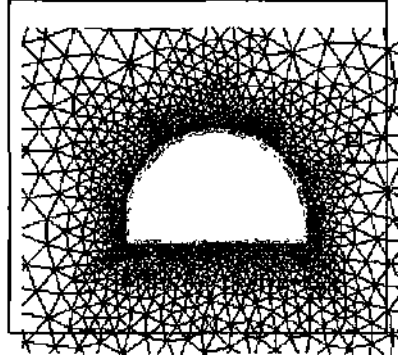
Özellikler:

Kaya saptaması tipi: Split-set,

saptama boyu: 2.4 m,



(a)



Şekil 6 Sonlu elemanlar çözümlemesinde kullanılan ağlar.

Saplama çeliğinin kesit alanı: 216.5 mm²,
Young modülü: 200 GPa,
Çekme kapasitesi: 0.1 MN,
Kesme (shear) kapasitesi: 0.02 MN/m,
Kesme katılığı (shear stiffness): 10 MN/m/m,
Saplama aralığı: 1.5 m.

Püskürtme beton tabakası kalınlığı : 10 cm,
Young modülü: 30 GPa,
Poisson oranı: 0.2,
Tek eksenli basınç dayanımı: 35 MPa,
Çekme dayanımı: 3 MPa,
Kalıcı basınç dayanımı: 3.5 MPa,
Kalıcı çekme dayanımı: 0

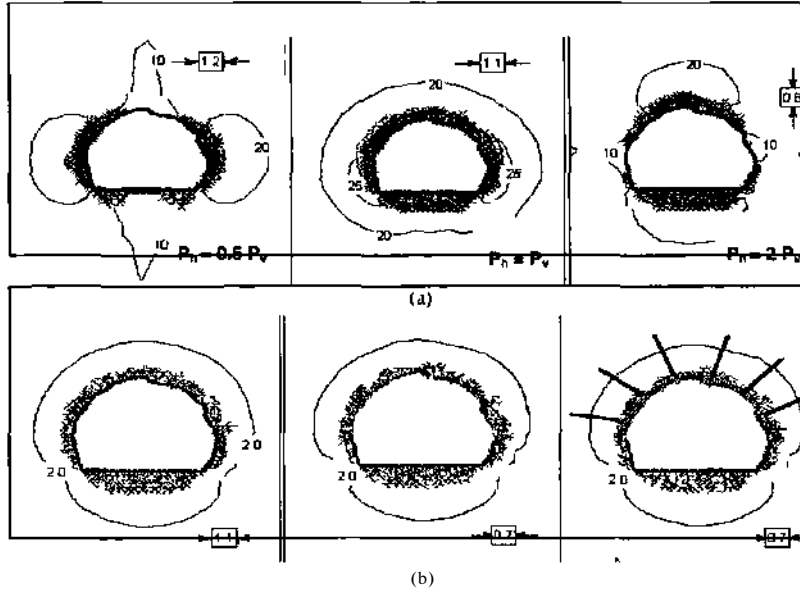
4.2 Sayısal tnodelleme sonuçları

Şekil 6a ve Şekil 6b'de gösterilen galeriler için yapılan sayısal çözümlemelerden elde edilen bazı önemli sonuçlar maddeler halinde aşağıda sunulmaktadır.

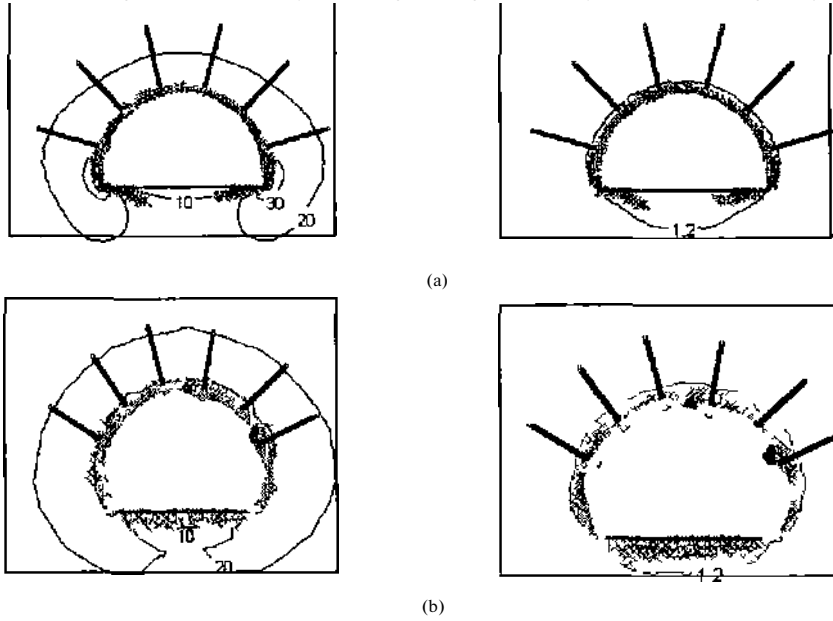
1. Yenilme bölgesinin genişliğinde kaya saptamalarının etkisi çok düşüktür. Sürtümlü ve dolgu saptamalar daha çok kaya bloklarının kilitlemesine yardımcı olmaktadır. Kaya kütlelerinin dayanımı üzerine etkileri sınırlıdır. Saptamalı ve saptamasız olarak yapılan modellemelerden elde edilen sonuçlardan da bu etki net olarak görülmektedir (Şek. 7b).
2. Püskürtme betonun asıl işlevi kaya yükünü taşımak değil gevşemeye engel olup kayanın kendi kendini taşımasına yardımcı olmaktır. Özellikle arına yakın yapılan püskürtme beton gevşeme hareketinin başlamasını engelleyebilmektedir. Püskürtme beton yenilme bölgesinin genişlemesine de engel olabilmektedir. Bu davranış özellikle hidrostatik gerilme koşullarında daha net olarak gözlemlenmektedir (Şek. 7b).
3. Püskürtme beton, girintili çıkıntılı yüzeylerde daha etkin bir kabuk oluşturarak tahkimat işlevini yerine getirmektedir (Şek. 7b, Şek. 8). Ancak, aşırı ondülasyonlu galeri yapısı, püskürtme beton tahkimatını hem güçleştirmekte hem de etkinliğini azaltmaktadır. Ayrıca, keskin girintili-çıkıntılı bölgelerde gerilme yığılımları ve yenilmeler beklenebilmektedir.
4. Düşey birincil gerilme ağırlıklı gerilme ortamlarında (Şek. 7a) yan duvarlar, yatay ve hidrostatik gerilme koşullarında ise tüm galeri çevresi duraysızlık problemlerine maruzdur. Ancak, kaya kütleleri içerisinde var olan eklem takımlarının, tavadan blok hareketlerine neden olabileceği de unutulmamalıdır.

5 SONUÇLAR

Dclme-patlama yöntemiyle açılan galeri lerdeki patlatma verimliliğinin galeri duraylığı üzerine etkisi oldukça önemlidir. Uygun donanımlarla ve planlı şekilde yapılan galeri açma çalışmaları, tahkimat etkinliğini artırarak galerilerin servis ömürleri boyunca tamir tarama gereksinimlerine maruz kalmadan hizmet vermelerine katkıda bulunacaktır. Ayrıca, fazla kazının önüne geçilmesiyle birlikte nakliyat işlerinde azalma, kazı hızında artış ve genel olarak, galeri açma ve bakım maliyetlerinde iyileşme sağlanacaktır.



Şekil 7 Tahkimatsız açıklık çevresindeki yenilme bölgeleri ve maksimum asal gerilme konturlarının dağılımı (üstte), hidrostatik gerilme ortamındaki yenilme bölgeleri ve güvenlik katsayısı konturlarının dağılımı (alta)



Şekil 8 Hidrostatik gerilme ortamında ($P_v = P_h$) makine ile açılmış üstte (a) ve patlayıcı madde kullanılarak açılmış galerilerde yenilmiş elemanlar, asal gerilme ve güvenlik katsayısı konturlarının dağılımı

T. Ünlü

Katkı Belirtme: Yazar; bu bildirinin oluşmasına esas olan "TTK ocaklarında Taşta sürülen Galerilerde Püskürtme Beton ve Kaya Saplamalarının Kullanımının Araştırılması" konulu projenin yürütülmesindeki katkılarından dolayı, TTK ilgililerine teşekkür eder.

KAYNAKLAR

- Bilgin. H. A., Pasamehmeioğlu. A. G., ve Onur. Ç. 1990. Lağımlar için çift orta çekmeli patlatma düzeni. *Türkiye 7. Kömür Kongresi Bildiriler Kimin*, Zonguldak, pp 35-51
- Hook. E- and Brown. ET.. 1980; *Underground Excavations in Rock*, IMM. London,
- Hoek, E. 2000 *Practical Rock Engineering*, Course Noltis, [http - // www .roscience .com](http://www.roscience.com), 313 p.
- Proctor, R V., and White. T. L.. 1946; *Rock Tunnelling with s reel supports*. Commercial shearing & stamping Co.. Youngstown. Ohio.. pp 193-232.
- US Army Corps of Engineers. 1994.Engineering Design. Tunnels and Shafts in Rock, Engineci Manual. EMI 110-1-2908. dept. of the Army Corps of Engineers. Washington. DC.
- Ünlü. T.. 2003; *TTK Ocaklarıntkı taşta sürülen galerilerde püskürtme beton ve kava .saplamalarının kullanımının amsımlnası*, Araştırma Projesi. ZKÜ Maden Mühendisliği Bölümü. Zonguldak. 46 s.
- Ünlü. T..ve Çolak. K., 2004; TTK Kömür Ocaklarında Taşta Sürülen Galerilerde Püskünme Beton ve Kaya Saplamalarının Kullanımının Araştırılması, *Türkiye 14 Kömür Kongresi Bildiriler Kitabı*. 02-04 Hazıan 2004 Zonguldak
- Rocscience. 200-4; Phase2 v5.0. [http : // www roscience. com/prod ucis/phase2. asp](http://www.roscience.com/prod ucis/phase2.asp)

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 ankrajlamada 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 ankrajlanması 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

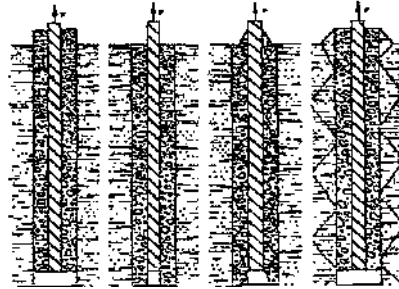
2.1 Kablolu kaya saptaması kullanım alanları

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 sıyrılmaya 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),

- Su içerisinde karışma kolaylığı (delik İçerisine rahatça pompalanabilmesi için suya homojen olarak karışma özelliği),
- a Çelik kablolu sistemlerde korozyona karşı dayanıklılık (pompanın ve çelik kablonun korozyona uğramasına neden olabilecek bileşimler içermemesi),
- o Yüksek dayanıma sahip olması (kablolu kaya saplama sisteminin dayanımını artırmak için yüksek basınç, kesme ve çekme dayanımına sahip olması).

Çimento malzemesinin pompalanabilme özelliği ile dayanım ve katılma süresini arasında sıkı bir ilişki vardır. Katılan su, pompalanabilirliği iyileştirirken, dayanımı ve katılma süresini olumsuz yönde etkilemektedir. Bu üç parametre arasında optimum değerlere ulaşmak için, İngiltere'de piyasaya sürülen çimentolarda önerilen katı-su karışım oranı 1/3.2 - 1/4.5 arasında değişmektedir. Bu şekilde hazırlanan çimento malzemelerinin basınç dayanımları, 7 günlük bekleme süresi sonrasında, yaklaşık olarak 80 MPa seviyesine çıkabilmektedir (Ünlü, 1994).

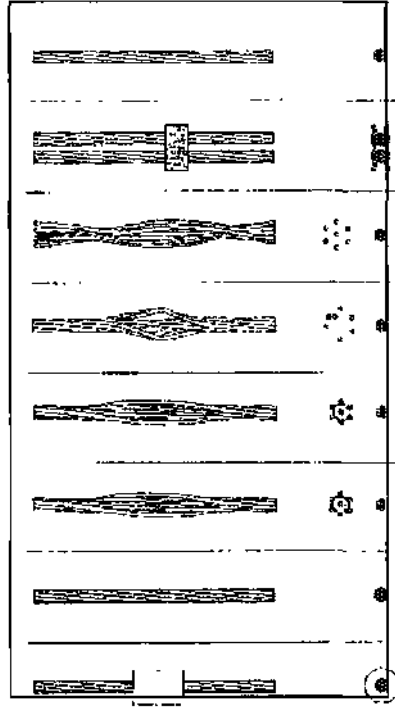
2.4 Kablolu kaya saplaması çelik halat tipleri

Kablolu kaya saplamalarının ilk uygulamalarında, kuyu halatları gibi başka amaçlar için kullanılan eski kabloların yağlarından arındırılıp uygun boylarda kesilerek kullanıldığına dair bilgiler literatürde yer almaktadır. Günümüzde bu kablolar yerlerini amacına uygun olarak geliştirmiş yüksek dayanımlı çelik ve fiberglas kablolarla bırakmışlardır. Bağlayıcı çimento malzemesi ile kablo arasındaki kohezyonu artırmak ve dolayısıyla sistemin dayanımını artırmak amacıyla çelik kabloyu oluşturan tel elemanlar kablo boyunca belirli aralıklarla birbirinden ayrılarak ve nodal noktalarda birleştirilerek oluşturulan kafes sistemi (birdcaging) ile standart kabloya alternatif bir kablo türü olan kafes sistemli kablo tipi geliştirilmiştir. Tek kafesli kablo, 7 tel elemanlı bir kablodan, çift kafesli kablo ise toplam 14 tel elemanlı iki kablodan oluşmaktadır. Bunlardan başka ortası tüp şeklinde tasarımılandırılmış çelik halatlarla birlikte tel kalınlıklan genellikle 7 mm olan çeşitli eleman sayılarına sahip kafes şeklindeki fiberglas kablolar da kablolu kaya saplaması olarak kullanılmaktadır. Kablolu kaya saplaması olarak kullanılan halat tipleri Şekil 2'de verilmiştir.

3 LABORATUVAR ÇALIŞMALARI

Araştırmanın laboratuvar çalışmaları 2 aşamadan oluşmaktadır. Birinci aşamada, kablolu kaya

saplamalarının delik içerisine ankraj lanmasında kullanılacak olan yüksek dayanımlı çimento dolgusu için en uygun karışım oranı elde edilmeye çalışılmıştır. İkinci aşamada ise, değişik kablo şekillerinin laboratuvar koşullarında hazırlanan kaya bloğuna açılan delik İçerisine yerleştirilmesi ve halatın delikten sınırlması için gerekli olan çekme kuvveti belirlenmiştir. Böylece yeraltında kullanılacak olan çelik kablonun şekli elde edilmeye çalışılmıştır.



Şekil 2 Saplama olarak kullanılacak değişik halat tipleri (Hutchinson and Diederich, 1996).

3.1 Dolgu malzemesi karışım oranlarının belirlenmesi

Çalışmanın bu aşamasında, kablolu kaya saplamalarının delik içerisine ankrajlanmasını sağlayacak olan yüksek dayanımlı çimento dolgusunun üretilmesinde kullanılacak olan çimento-su karışım oranının belirlenmesine çalışılmıştır. Bu çalışmalar sırasında; dayanımı etkileyebilecek parametreler olarak; dayanım artırıcı ve hidrasyon sırasında çatlamayı önlemek amacıyla kullanılacak kimyasal madde (Sigunit) miktarı, prizlenme süresini (su azaltıcı, Sikament)) kısaltacak kimyasal madde miktarı, kum ve/veya kül

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,

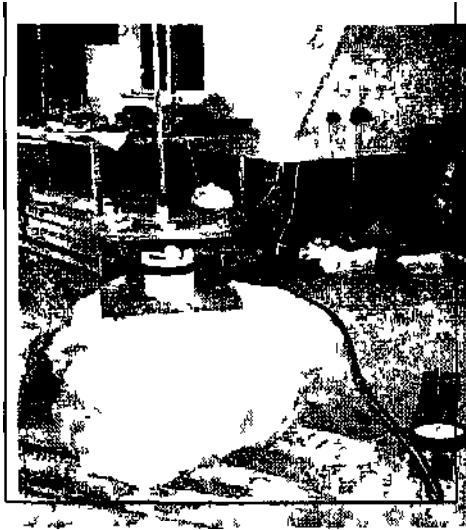
bu süreler için ayrıca dayanım değerlerinin belirlenmesine yönelik çalışmalar yapılmamıştır.

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 sınıldığı 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



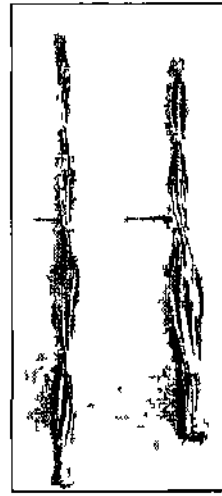
Şekil 3 Çekme testi deney düzeneği

İkinci sen deney başarı ile sürdürülmekteyken delikli krikoyu tahrik eden tetikleyici pompanın basınç artışı nedeniyle yağ kaçırmaması sonucu deney, 39 kN luk (4 ton) yükleme sonrasında kesilmiştir. Deney düzeneğinin sökülmesi sonrasında gözle yapılan incelemede, kullanılan başlığın kablodan sıyrıldığı gözlenmiştir ve yerdeğiştirmelerin 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.

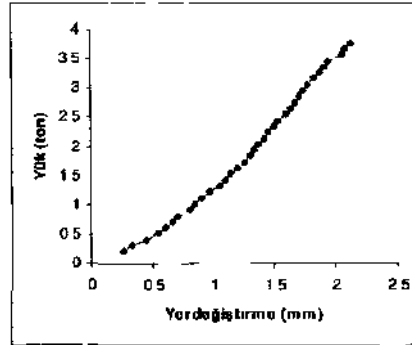
4 ARAZİ ÇALIŞMALARI

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'nlukta delinmiştir. Kullanılan saplama boyları 2 m'dir.



Şekil 4 Deneylerde kullanılan kates yapısındaki çelik halatlar

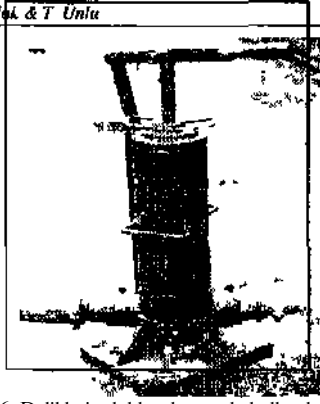


Şekil 5 Çekme testi deney sonuçları

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

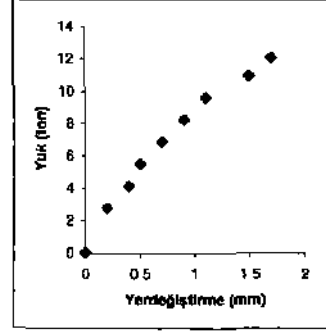
Deliklerin doldurulması sırasında yeraltı koşullarından kaynaklanan sorunlar aşılmış ve yerleştirilen saplamalara çekme testi uygulanarak, saplamanın davranışı ve çimento ile ankrajlamada elde edilebilecek muhtemel yük taşıma kapasitesi belirlenmiştir.



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

Çatalağzı Termik Santralı Kül İletim Tünelinde Tahkimat Uygulamalarının Değerlendirilmesi

A. Özarslan & M. Geniş

Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü, Zonguldak

Ç. Alkılıç

Devlet Su İşleri Zonguldak Şube Müdürlüğü, Zonguldak

D. Acun

Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü, Zonguldak

ÖZET: Zonguldak'ta işletilen Çatalağzı termik santralında günde yaklaşık 2000 ton oluşan artık kül denize deşarj edilmektedir. Bu çevresel sorunun önlenmesi amacıyla kül barajı inşaatı projesi gerçekleştirilmektedir. Kül nakliyatının sağlanabilmesi için termik santral ile kül barajı arasında 885 m uzunluğunda atnalı kesit şeklinde bir tünel açılmıştır. Bu çalışmada, tünel bölgesinin jeolojik, hidrojeolojik ve jeoteknik özellikleri incelenmiştir. Tünel güzergahı yapısal bölgelere ayrılıp kaya kütle kalite belirteci (RMR) sınıfları belirlenmiştir. Tünel açıklığının duraylılık değerlendirmeleri için sayısal gerilme çözümlenmeleri yapılmıştır. Gerilme çözümlenmeleri için iki boyutlu sonlu elemanlar programı kullanılmıştır. Sonuçta, elde edilen bilgiler doğrultusunda tahkimat uygulamaları değerlendirilmiştir.

ABSTRACT: Approximately 2000 tpd of ash produced by Çatalağzı Coal Power Station in Zonguldak is discharged into the sea. In order to overcome this environmental problem, an ash dam project is put into application. A tunnel with horseshoe cross-section and 885 m in length is opened to provide transportation of ash between power station and ash dam. In this study, geological, hydrogeological and geotechnical properties of the tunnel area are investigated. The tunnel route is divided into structural zones and rock mass rating (RMR) classifications are determined. Numerical stress analyses are carried out for assessment of tunnel stability. A two dimensional finite element programme has been utilised for stress analysis. Finally, support applications have been analysed according to these findings.

1 GİRİŞ

Çatalağzı Termik Santralı Zonguldak il merkezinin 15 km doğusunda Karadeniz kıyısında yer almaktadır. Santrale ulaşım, Zonguldak-Filyos karayolu ve Zonguldak-Ankara demiryolu ile sağlanmaktadır. Ayrıca termik santralın Balı kıyısında bir liman bulunmaktadır. Toplam Kurulu gücü 129 MW olan Çatalağzı A termik santralı ekonomik ömrünü doldurduğu gerekçesiyle 1991 yılında servis dışı bırakılmıştır. Çatalağzı A termik santralının yanına kurulan Çatalağzı B termik santralı toplam 300 MW (2x150 MW) kurulu gücündedir (Çınar 2001).

Çatalağzı B termik santralının iki ünitesinde, Türkiye Taşkömürü Kurumuna ait Zonguldak ve Çatalağzı Filtrasyon tesisleri ürünü olan 1.5 milyon ton/yıl taşkömürü artığı yakılmaktadır. Yakma işleminde kullanılan yüksek kül oranına sahip (%45-50) kömürden yılda yaklaşık 650 bin ton kül ve cüruf açığa çıkmaktadır. Termik santralden çıkan

karışımın yaklaşık %15'i cüruf ve %85'i külden oluşmaktadır.

Çatalağzı B termik santralinde kazanlarda kömür yanması sonucu açığa çıkan kül-cüruf mevcut sistemde deniz suyu ile yaklaşık 1/10 oranında karıştırılarak kanallar aracılığıyla kıyıdan denize boşaltılmaktadır. Kül ve cüruf artıklarının kanallar aracılığıyla denize dökülmesi sonucunda içindeki %6-7 oranında sudan hafif yüzen kısmı deniz yüzeyinde fiziksel bir kirlilik oluşturmaktadır. Kirlenme deniz yüzeyinde askıda kül zerrecikleri şeklinde görülmektedir. Akıntı ve rüzgarın etkisiyle kirlenme boşaltma bölgesinden yaklaşık 25-30'ar km'lik sahil bandına ve deniz üzerinde 5-6 mil açığa kadar yayılmaktadır.

Termik santralden kaynaklanan bu olumsuzlukların önlenmesi için çalışmalar başlatılmış ve çeşitli düzenli depolama yöntemleri incelenmiştir. Bu doğrultuda olası depolama yöntemleri olarak; derin deniz deşarjı, denizden kazanılan alanda depolama, vadide atık barajı oluşturulması, yöntemleri araştırılmıştır. Depolama

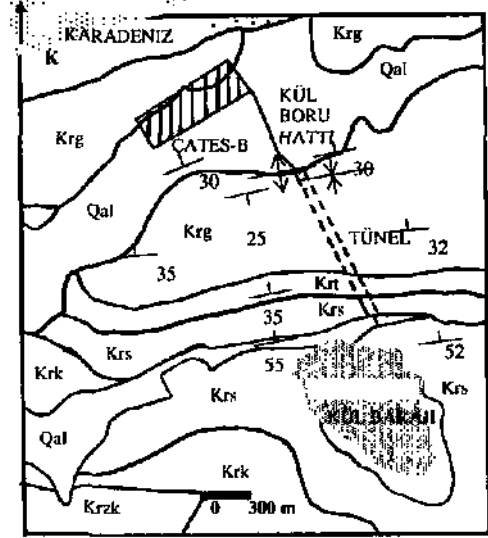
yöntemleri; mevcut arazi yapısı, fayda-maliyet, çevresel etkiler gibi unsurlar, göz önünde bulundurularak incelenmiş ve en uygun seçeneğin bölgede mevcut olan DereÖy su temin barajının güneyindeki yan kol üzerinde inşa edilecek olan kül barajında depolama projesinin yapılmasına karar verilmiştir (Çınar 2001).

2 DÜZENLİ KÜL PEPOLAMA PROJESİ

Gerçekleştirilmekte olan proje ile Çatalağzı B termik santralından kaynaklanan kül-cüruf atıklarının denize boşaltılması önlenecektir. Projede santralde halen mevcut olan kül-su karıştırma sistemi muhafaza edilecektir. Sulandırılan atıklar inşa edilmekte olan kül barajı depolama alanına sulu olarak iletilecektir. Sulandırılan atıklar inşa edilecek kül iletim boru hatları aracılığıyla santralden alınacaktır. Hatlar topografyaya uygun olarak çelik yapı iskele üzerinde taşınacak, inşa edilen 885 m uzunluğundaki tünele girecek, tünel çıkışında tekrar çelik yapı iskele üzerine alınarak kül barajı depolama alanına ulaşacaktır. Kül iletim boruları dört hat olarak tesis edilecek olup, bu hatların ikisi kül iletimi, birisi geri dönüş hattı, diğeri de yedek hat olarak kullanılacaktır. Kül barajına taşınan karışım içindeki kül zamanla dibe çökecek, iletimde kullanılan su geri dönüş boru hattı aracılığıyla alınarak, santral sahasındaki kül-su karışım havuzuna verilecektir. İnşa edilecek olan baraj kil çekirdekli, kaya dolgululu olacaktır. Baraj yeri ile depolama alanı Sapça jeolojik formasyonu üzerinde yer almaktadır. Kül barajı depolama alanı yağış alanı açısından kapalı bir havzadır. Vadi 13 milyon m³ lük depolama kapasitesine sahip olup, 30 yıllık işletme süresi için yeterli görülmektedir (Çınar 2001). Kül depolama projesi ve çalışma sahasının jeolojik haritası Şekil 1 'de verilmiştir.

3 KÜL İLETİM TÜNELİ

Arazinin topoğrafik özellikleri nedeniyle termik santral ile kül barajı arasında kül nakliyatının sağlanabilmesi için 885 m uzunluğunda bir tünel açılmıştır. Tünel Yeni Avusturya Tünel Açma Yöntemi (NATM) yardımıyla atnalı kesit şeklinde açılmıştır.



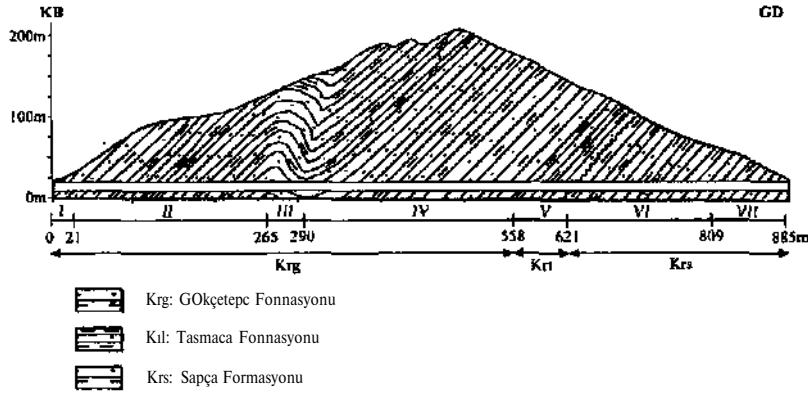
↑↓ Dokanak
* Antiklinal eksen
* Senklinal eksen

Alüvyon (Qal): beyaz, gri
Gökçetepe Formasyonu (Krg): kumlası, silttaşı, killi
Tasmaca Formasyonu (Krt): silttaşı, kumlası; mam
Sapça Formasyonu (Krs): kumtaşı, kiltası
Kilimli Formasyonu (Krk): kumtaşı, kiltası
Kapus kireçtaşı üyesi (Krz): kireçtaşı

Şekil 1. Çalışma sahasının jeolojik haritası.

Tünelin kazı yüksekliği ve genişliği uygulanan tahkimat tipine bağlı olarak 6.3 m-6.5 m dir. Faydalı açıklık genişliği 5 m'dir. Sulu kül-cüruf karışımının nakliyatı için tünel içerisinden 4 adet boru hattı geçecektir. Çelik yapı iskele üzerinde yatay olarak tünel ağzına gelen kül iletim boru hatları, tünele düşey olarak girecek ve tünel duvarına monte edilecektir. Hatlar, tünel çıkışında yeniden yatay duruma geçip, çelik yapı iskele üzerine alınacaktır. Tünel iletim hatları dışında, malzeme nakliyatı ve servis yolu olarak da kullanılacaktır.

Kazıya tünelin KB ve GD'daki girişlerinden birlikte başlanılmıştır. KB girişinden itibaren yapılan kazılar Gökçetepe formasyonunun sonuna kadar, GD girişinden itibaren yapılan kazılar ise sırasıyla Sapça ve Tasmaca formasyonları içerisinde ilerlemiştir. Tünelde kazı delme-patlatma yöntemi ile tek aşamada gerçekleştirilmiştir. Çalışmada, tünel yedi adet yapısal bölgeye ayrılmıştır (Şek. 2).



Şekil 2. Tünel güzergahında yapısal bölgeler.

3.1 Jeoloji

Tünel güzergahı ve yakın çevresinde Krelase yaşlı formasyonlar ile bunları örten Kuvaler yaşlı yamaç molozu ve akarsu düzlüklerinde çökelmiş alüvyonlar (Qal) yer almaktadır (Şek. 1). Kretase yaşlı formasyonlar yaş sırasına göre Kilimli formasyonu (Krk), Sapça formasyonu (Krs), Tasmaca formasyonu (Krt) ve Gökçetepe formasyonundan (Krg) oluşmaktadır. Tünel çıkış ağzındaki şevlerde mostraları gözlemlenen Sapça Formasyonu kumlasından oluşmaktadır.

Sapça formasyonu (Krs) litolojik olarak kumlası, ki İtasi ile seyrek olarak karbonatlı kumtaşlarından oluşmaktadır. Kumtaşları yeşil açık gri renkli, genellikle sert ve dayanımlıdır. Tabaka düzlemlerine genellikle dik veya vevrek şeklinde kırık ve çatlaklıdır. Çatlaklar genelde ikincil kalsit dolguludur. Kıltaşları gri renkli olup çatlak düzlemleri genelde pürüzsüz ve dolgusuzdur. Kıltaşları düşük dayanımlı olduğu için kolay kazılabilir özellik göstermektedir. Genellikle tünel tavanında kırık ve çatlakların yoğun olduğu yerlerde blok boyutunda parçalanmalar oluşmuştur. Daha serî ve dayanımlı kumlası tabakaları çatlamış ve parçalanmış, yumuşak ve dayanımsız olan ki İtasi tabakaları ise yapraklanma ve dağılma özelliği ile düzlemsel kaymalara neden olmuştur. İlerleme esnasında çoğunlukla tavanda, yer yer ayna ve yan duvarlarda blok boyutlu taş düşmeleri ile akmalara gözlemlenmiştir.

Tasmaca formasyonu (Krt) litolojik olarak kum taşı, silttaş ve marndan oluşmaktadır. Silttaşında ianeler iyi çimentolanmamış olup hava ile temasta kolayca ayrışmakta ve dağıtabilecek niteliktedir. Kumtaşları genellikle kendi iç dokusunu korumuş ve Öz yapısı bozulmamıştır.

Gökçetepe formasyonu litolojik olarak kumlası, silttaşı ve kulasından oluşmaktadır. Tabaka kalınlığı, kumtaşlarında 10- 150 cm, kil taşı ve silttaşlarında laminadan 5 cm ye kadar değişkenlik göstermiştir. Kül iletilim tünelinin başlangıcından 20 metreye kadar olan kısımda kumtaşlarındaki kırık, çatlak sistemleri blok boyutunda parçalanmalara neden olmuştur. Kırık, çatlak ve fay süreksizliklerinde ikincil dolgular gözlemlenmiştir. Bunlar çoğunlukla kalsit ve az olarak kil dolguludur. Kırık ve çatlak yüzeyleri genellikle pürüzlüdür. Yer yer dolgusuz çatlak sistemleri de gelişmiştir. Kumtaşları genellikle kendi iç dokusunu korumuş ve orijinaliği bozulmamıştır. Genellikle sert ve dayanımlıdır. Gökçetepe formasyonunda görülen diğer hakim litoloji gri renkli silttaşlardır. Kumtaşları içerisinde bant şeklinde bulunmaktadır.

Tünel inceleme alanında bölgesel anlamda kıvrılma ve faylanma gözlemlenmemiştir. Ancak Gökçetepe formasyonunda antiklinal ve senklinal geçilmiştir. Gökçetepe ve Tasmaca formasyonlarında faylanma ve buna bağlı kırıklar gözlemlenmiştir. Fay ve kırık süreksizlikleri çoğunlukla kalsit, nadiren kil dolguludur. Ara sıra ezik zonlar gelişmiştir. Yapısal süreksizliklerin doğrultuları, genellikle tünel eksenine paralel veya vevrek konumludur. Sapça formasyonu içerisinde yerel kıvrılmalarda yer almaktadır. Sapça Formasyonu içerisinde kıltaşlarının bulunduğu dayanımsız yerlerde yapraklanma ve ezik zonlar geçilmiştir. Yapısal unsurlardan kaynaklanan olumsuz jeoteknik koşullar, özellikle Sapça formasyonu içerisinde bazı kesimlerde tünel tavanında blok boyutlu parçalanmalara neden olmuştur (Alkılıç 2003).

Tünel güzergahı ile yakın çevresindeki formasyonlar genelde Doğu-Batı doğrultusunda olup eğimleri ise kuzeye doğrudur. Tabaka eğimleri 10-70° arasında değişkenlik göstermektedir. Eğim açıları tünel giriş ağzından çıkış ağzına doğru gıreceli olarak artış göstermekte. Tünel içerisinde gözlemlenen süreksizlik sistemleri genellikle tünel eksenine paralel veya vevv doğrultuludur. Süreksizlik eğimleri 50-90° arasında değişkenlik göstermektedir. Tünel güzergahı boyunca gözlemlenen süreksizlik aralığı genelde 0.6-2 m, yer yer 2 m'den fazla değerler almaktadır.

3.2 Hidrojeoloji

İletim tüneli kazısı esnasında özellikle fay, kırık ve çatlak zonlarından gelen su akma ve sızıntılarına rastlanılmıştır. Jeolojik gözlemler sonucu Gökçetepe, Tasmaca ve Sapça Formasyonlarının geçirimsiz-yarı geçirimli özellikler olduğu sonucuna varılmıştır. Tünel kazısında, tavanda ve yan duvarlarda gözlemlenen kırık süreksizliklerinden yer yer su akmaları tespit edilmiştir. Tünelin 830 ile 855 m'leri arasında önemli miktarlarda su geliri gözlemlenmiştir. Genel olarak tünelde karşılaşılan yeraltı suyu koşulları II, III, IV nolu yapısal bölgelerde nemli, I, V, VI nolu bölgelerde ıslak ve VII nolu bölgede damlama şeklinde sınıflandırılmıştır.

3.3 Kaya Kütesinin Mühendislik Özellikleri

Kaya kütesinin mühendislik özelliklerinin kestiriminde tünelcilik ve madencilik uygulamalarında RMR ve Q kaya kütesi sınıflandırma sistemleri yaygın kullanım alanı bulmaktadır. RMR (rock mass rating) kaya kütesi sınıflama sistemi Bieniawski (1973) tarafından geliştirilmiş olup kazanılan deneyimler çerçevesinde son şeklini 1989 yılında almıştır. Bu sisteme göre kaya kütlelerinin sınıflandırılmasında; kayaç malzemesinin dayanımı, kayaç kalitesi göstergesi (RQD), süreksizlik aralığı, süreksizliklerin durumu, yeraltı suyu koşulları ve süreksizliklerin yönelimine göre düzeltilmiş değerlerinden yararlanılmaktadır.

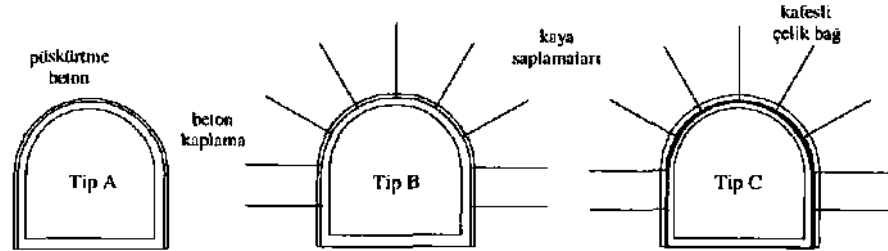
Ayrıca, özellikle madencilik uygulamalarında, patlatma, yerindeki gerilmeler ve fayların durumu gibi faktörler de dikkate alınarak ilave düzeltmelerin yapılması önerilmektedir. Kaya kütesine ait mekanik özelliklerin kestiriminde kullanılan görgül bağıntılarda süreksizlik yönelimi için düzeltme yapılmamış toplam temel RMR değeri, yeraltı açıklıklarının duraylılığıyla ilgili görgül bağıntılarda ise düzeltilmiş nihai RMR değerlerinin kullanılması önerilmektedir (Ulusay & Sönmez 2002).

Araziden alınan kaya bloklarından laboratuvar koşullarında kaya malzemesi örnekleri alınıp ISRM standardına uygun deneyler yapılmıştır. Çalışmada, tünel güzergahı yedi adet yapısal bölgelere ayrılmış olup RMR sınıflama sisteminin girdi parametreleri her bölge için ayrı ayrı belirlenmiştir (Çiz. 1).

4 TAHKİMAT UYGULAMALARI

Ulaşım tünelinin tipi atnalı kesit şeklinde olup toplam tünel uzunluğu 885 m dir. Tahkimat elemanları açıklığın çevresel koşullarına bağlı olarak; püskürtme beton, çelik hasır, çimento dolgululu kaya saplamaları, kafesli çelik bağ ve kalıp betondan oluşmuştur. İletim tüneli kazısı esnasında jeolojik birimlerin kaya kütesi özellikleri göz önünde bulundurularak uygun tahkimat sistemleri belirlenmiştir. Buna göre tünelde projelendirilmesi yapılmış olan Tip A, Tip B ve Tip C tahkimat sistemleri uygulanmıştır (Şek. 3).

Püskürtme beton genelde tünel tahkimatının ilk destekleme elemanını oluşturmaktadır. Kül iletim tünelinde püskürtme beton kuru karışım yöntemi şeklinde uygulanmıştır. Bu yöntemde, tasarıma göre belirlenen miktarlarda hazırlanan çimento, hafifçe (%2 ile 6 oranında) nemlendirilmiş kum ve çakıl ile susuz ortamda karıştırılarak elde edilen kuru karışım püskürtme beton makinesine beslenir. Karışım, buradan basınçlı hava yardımı ile özel iletim hortumuna aktarılır, iletim hortumu ucundaki püskürtme beton tabancasında (nozül) püskürtme suyu ile karıştırılarak, uygulanacak yüzeye yüksek hızla püskürtülür (Yurdakul & Gerçek 2002).



Şekil 3. Tünelde uygulanan farklı tahkimat sistemleri.

Çizelge 1. Tünel güzergahında yapısal bölgelere ait RMR kaya kütleli sınıflandırma değiştiricileri ve puanlar.

Yapısal bölge	i	II	III	IV	V	VI	VII
Kayaç malzemesinin basınç dayanımı	50-100 MPa (7)	50-100 MPa (7)	50-100 MPa (7)	50-100 MPa (7)	25-50 MPa (14)	25-50 MPa (4)	25-50 MPa (4)
RQD kayak.iliie göstergesi	%70 (14)	%90 (18)	%90 (18)	%95 (19)	%70 (14)	%40 (B)	%25-50 (8)
Süreksizlik aralığı	0.6-2m (15)	0.6-2 m (15)	0.6-2 in (15)	> 2 m (20)	> 2 m (15)	0.2-0.6 m (10)	0.2-0.6 m (10)
Süreksizliklerin durumu	(25)	(25)	(25)	(25)	(10)	(0)	(0)
Yeraltı suyu koşulları	ıslak (17)	nemli (10)	nemli (10)	nemli (10)	ıslak (7)	ıslak (17)	damlama (4)
Temel RMR puanı	68	75	75	81	50	29	26
Süreksizlik yönelimine göre düze İlme	uygun değil (-10)	uygun değil (-10)	çok uygun (0)	uygun değil (-10)	çok uygun (0)	çok uygun (0)	çok uygun (0)
Nİhn i RMR puanı	58	65	75	71	51)	29	26
Kaya sınıfı	ofta	m	m	m	arta	zayıf	zayıf
Uygulanan tahkimat tim	TipC	Tip B	Tip B	Tip A	TipB	TipB	TipC

* Değiştiricilere ait puanlar parantez içinde verilmiştir

Yapısal bölgeler ve jeolojik formasyonlar:

I. (I, III Gökçetpe formasyonu (Krg). 0-21 m (I), 21-265 m (II), 265-290 m (III), 290-558 m (IV)

V Tasmaca formasyonu (Krt), 558-621 m (V)

VI, VII Sapça formasyonu (Krs), 621-809 m (VI), 809-885 m (VII)

Genelde püskürtme beton çelik hasır ile birlikte uygulanmaktadır. Çatalağzı kül iletim tüneline çelik hasır ile birlikte Tip A tahkimatında 5 cm. Tip B'de 10 cm ve Tip C'de 20 cm kalınlığında püskürtme beton uygulanmıştır.

Dolgu veya çimentolu kaya saplamaları tünelcilikte yaygın kullanılan saplama türleridir. Diğer saplama türlerine kıyasla daha ekonomiktir ve uygulanması kolaydır. Nervürlü çelikten imal edilen dolgu kaya saplamaları delik içerisine itilmekte ve çimento karışımı enjeksiyon malzemesinin katılaşması ile sabitleşmektedir. Taşıyıcı plakalar somun ile sıkılarak püskürtme beton kabuğunun yüzeyine bastırılır ve kabuğun doğal arazi kemeri ile birlikte çalışması sağlanmaktadır. Çelik hasır, kaya kütleli yoğun olarak eklemeler içeriyorsa, küçük kaya blokları ve parçaların sökülmesi veya dökülmesine karşılık kaya saplamalarının plakaları arasına döşenmektedir (Gerçek 2004). Kül iletim tüneline Tip B ve C tahkimatında çimentolu kaya saplamaları kullanılmıştır. Kaya saplamaları şebek düzeninde bir sırada 9 adet diğer sırada 10 adet olmak üzere yerleştin İmiş ür. 4 m uzunluktaki kaya saplamaları 1.5 m aralıklı olarak yerleştirilmiştir. Tünelde zayıf çevre kaya kütleli koşullarında yer yer tabana yakın yan duvarlarda saplama uygulanmıştır.

Tünel inşaatlarında ihtiyaç duyulması durumunda çelik tahkimat olarak kafesli çelik bağlar kullanılmaktadır. Kafesli çelik bağlar üç adet nervürlü çelik ve bunları birleştiren bağlantı elemanlarından oluşmaktadır. Tünel içerisinde parça şeklindeki kafesli çelik bağlar civata-somun aracılığıyla birbirine bağlanmaktadır. Kurulan

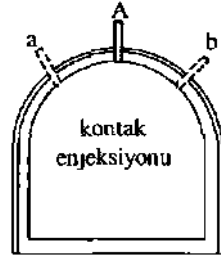
bağların birbirine irtibatlandırılması da nervürlü çubuklar aracılığıyla gerçekleştirilmektedir. Tünel girişinde ilk 20 m'de ve Sapça formasyonu içerisinde uygulanan Tip C tahkimatında dört parçalı kafesli çelik bağlar kullanılmıştır. Genelde 1.5 m aralıklı olarak yerleştirilen bağlarda çevre kayacın koşullara bağlı olarak bağ aralığı yer yer 0.75 m'ye kadar azaltılmıştır.

Çelik sürenler, tünel kazı işlerinde gerekli olabilen kazı öncesi destekleme elemanını oluşturmaktadır. Çelik sürenler, kazıyı takiben aşırı sökülme, çökme veya malzeme akmasına elverişli kaya koşullarında uygulanmaktadır. Çelik bağ tahkimatı ile bağlantılı olan süren elemanları, çevresel koşullara bağlı olarak yerel veya sistematik olarak uygulanabilmektedir. Yaygın olarak çelik borular veya nervürlü çelik çubuklar kullanılmaktadır (Yüksel Proje 2004). Kül iletim tüneline içi boş çelik borular süren olarak kullanılmıştır. Sürenler çelik kafesli bağ üzerinden yatayla en fazla 5-10° açı yapacak biçimde yerleştirilmiş ve iç boşluğa çimento enjeksiyonu yapılmıştır. C tipi tahkimatta çevre kaya koşullarına bağlı olarak 6 m uzunlukta, 10-20 adet süren açıklığın tavan bölgesinde uygulanmıştır.

Kalıp beton, tünellerde kalıcı destekleme elemanını oluşturmaktadır. Genellikle beton dökümü, geçici destekleme elemanları ile takviye edilmiş, tünel açıklığında deformasyonların ihmal edilecek düzeye inmesinden sonra gerçekleştirilmektedir. Çatalağzı Termik Santrali kül iletim tüneline kullanılan kaplama betonu BS 25

sınıfında olup kaplama betonu kalınlığı 40 cm olarak uygulanmıştır.

iletim tüneli boyunca kaplama betonu ile kaya arasında var olan boşlukları doldurmak amacıyla kontak enjeksiyonları yapılmıştır. Kontak enjeksiyonları için açılan 46 mm çapındaki delikler, beton dökülürken bırakılan borular içinden delinmiştir. Kontak deliklerinin boyu, kaplama betonu ve kazı boşluğunu aşacak şekilde en az 15 cm uzunlukta seçilmiştir. Kontak enjeksiyonları 3 m kesit aralığında eşleşmiş olarak açılan delikler içerisinde yapılmıştır. Tünel güzergahı boyunca toplam 194 kesitle 441 adet kontak enjeksiyon sondajı açılmıştır. Eşleşmiş düzeninde tavanda bir adet (A) veya sol üst yan ile sağ üst yan olmak üzere iki adet (a, b) enjeksiyon deliği açılmıştır (Şek. 4). Uygulanan enjeksiyon basınçları 2.1 kg/cm civarında gerçekleşmiştir. Tünel içinde ayrıca 35 adet kontrol ve 22 adet karotlu kontrol enjeksiyon sondajları açılarak enjeksiyonları yapılmıştır. Roald vd (2002) enjeksiyon işlemlerinin kaya kütlesi kalitesinde kuru koşullarda bir, ıslak koşullarda ıki veya uç sınıf iyileşmesini sağlayabileceğini belirtmektedirler



Şekil 4. Tünelde kontak enjeksiyonu uygulaması

Çatalağızı termik santrali iletim tüneline Sapça Formasyonu içerisinde çevre kayanın zayıf ve su gelirden fazla olması nedeniyle 821-885 metre'leri arasında konsolidasyon enjeksiyonları yapılmıştır. Konsolidasyon enjeksiyonları ile açıklık çevresinde zayıf kaya kütlesi özelliklerinin iyileştirilmesi ve su gelirden sınırlandırılması hedeflenmiştir. Bu amaçla toplam 134 adet konsolidasyon enjeksiyon sondajı açılmıştır. Her bir kesitle 6 adet olarak açılan enjeksiyon sondajlarının boyları 2.5 m seçilmiştir. Kul iletim tüneline tüm enjeksiyon işlemleri bitirildikten sonra tünelde her 6 m'de bir olmak üzere drenaj kanalı içerisinde 5 m boyunda basınç düşürme sondajları yapılmıştır. Bütün delikler

açıldıktan sonra kuyulara 50 mm çapında delikli borular yerleştirilmiştir (Alkılıç 2004)

Kul iletim tüneline uygulanan tahkimat sistemi ile RMR sistemi tahkimat önerilerinin bir karşılaştırılması Çizelge 2'de verilmiştir. Karşılaştırmada, RMR tahkimat önerileri arasında da yer almaması nedeniyle, uygulanan tahkimat sisteminde kaplama betonu ve enjeksiyon işlemleri göz önünde bulundurulmamıştır. Gökçetepe formasyonunda I nolu yapısal bölgenin tünel girişini oluşturması nedeniyle Tip C tahkimatı uygulanmıştır. II ve III nolu yapısal bölgelerde ise belirlenen kaya kütlesi sınıfına kıyasla daha yoğun bir tahkimat sistemi kullanılmıştır. IV nolu bölgede ise önerilen ve uygulanan Tip A tahkimat sistemi benzerlik göstermektedir. Tasmaca formasyonunda orta kaya sınıfını temsil eden yapısal bölgede önerilen ve uygulanan tahkimat sistemleri ortuşmaktadır. En zayıf kaya kütlesi koşullarını temsil eden Sapça formasyonunda yer alan VI ve VII nolu yapısal bölgelerde uygulanan Tip C tahkimatı ile önerilen tahkimat sistemi uyum içerisinde bulunmaktadır.

Genel olarak incelendiğinde kül iletim tüneline uygulanan tahkimat sistemi ile RMR sistemi tahkimat önerilerinin önemli ölçüde örtüşürüğü görülmektedir. RMR sisteminde kullanılan on tasarım amaçlı tahkimat sistemleri seçim kılavuzu delme-patlatma yöntemi ile açılmış atnalı kesit şeklindeki 10 m genişliğindeki tüneller için önerilmiştir. Kül iletim tüneline uygulanan kazı yöntemi ve kesit şekli uyumlu olmasına karşın, tünel genişliği daha dardır. Bu durumda aynı kaya kütlesi koşullarında seçim kılavuzunda yer alan tahkimat önerileri bir nevi en fazla tahkimat gereksinimini temsil etmektedir. Bu açıdan değerlendirildiğinde özellikle Gökçetepe formasyonunda yer alan II ve III nolu yapısal bölgelerde fazla tahkimat boyutlandırılmasına gidildiği söylenebilmektedir. Tünel içerisinde gerçekleştirilen gözlemler de bu durumu doğrulamaktadır.

Kul iletim tüneline Tasmaca ve Sapça formasyonları içerisinde taban betonda yer yer kılcal çatlaklar oluşmuştur. Bu çatlaklar özellikle VII nolu yapısal bölgede yoğunlaşmıştır. Bu durumda açıklık çevresindeki su gelirden önemli rol aldığı tahmin edilmiştir. Tünel güzergahı boyunca yapılan kontak enjeksiyonları, en olumsuz durumu temsil eden VII nolu yapısal bölgede gerçekleştirilen konsolidasyon enjeksiyonları ve ilave su drenajı önlemlerinin de etkisiyle, beton kaplamada ilave çatlak gelişmesi veya mevcut çatlakların genişlemesi durumları gözlemlenmemiştir. Mevcut durumda tünelde ilave bir duraylılık sorunu ile karşılaşılma ihtisidir.

Çizelge 2 Tünelde uygulanan tahkimat sistemi ile RMR sistemi tahkimat önerilerinin karşılaştırılması

Yıpsal Bölge	Önerilen tahkimat sistemi (RMR)	Tu ne ile uygulanan tahkimat sistemi
I (0-21 m) Gökçetepe formasyonu Kaya sınıfı orta (Nihai RMR =58)	3 4 m uzunlukta 1 5 2 m aralıklı sistematik kaya saplamaları kemer tavanında çelik hasır kemer tavanında 5 10 cm ve yan duvarlarda 3 im puskürtme beton, çelik bağ desteği yok	kemer tavanında ve yan duvarlarda 1 5 m aralıkta çelik hasırla birlikte şeşbeş düzende sistematik çimento dolgulu 4 m uzunlukta kaya saplamaları gerektiğinde 4 m boyunda taban saplamaları kafesli çelik bağ ile birlikte toplam 20 cm kalnlığında puskürtme betoa gerektiğinde kemer ve yan duvarlarda çelik suren uygulaması
II (21 265 m) Gökçetepe formasyonu Kaya sınıfı iyi (Nihai RMR =65)	kemer tavanının her 2 3 m'sinde çelik hasır ile birlikte 2 2 5 m aralıklı yer yer kaya saplamaları gerektiğinde Livan kemerinde 5 cm kalnlığında puskürtme beton çelik bağ desieği yok	kemer tavanında ve yan duvarlarda 1 5 m aralıkla çelik hasırla birlikte şeşbeş düzende sistematik çimento dolgulu 4 m uzunlukta kaya saplamaları. lunel açıklığı çevresinde 10 cm kalnlığında puskürtme beton, kafesli çelik bağ desteği yok
III (265 290 m) Gökçetepe formasyonu Kaya sınıfı iyi (Nihai RMR =75)	kemer tavanının her 2 3 m sinde çelik hasır ile birlikte 2 2 5 m aralıklı yer yer kaya saplamaları gerektiğinde tavan kemerinde 5 cm kalnlığında puskürtme beton çelik bağ desteği yok	kemer tavanında ve yan duvarlarda 1 5 m aralıkta çelrk hasırla birlikte şeşbeş düzende sistematik çimento dolgulu 4 m uzunlukta kaya saplamaları tünel açıklığı çevresinde 10 cm kalnlığında puskürtme beton, kafesli çelik bağ desteği yok
IV (290 558 m) Gökçetepe formasyonu Kaya sınıfı iyi (Nihai RMR=71)	tavan kemerinin her 2 3 m sinde çelik hasır ile birlikte 2 2 5 m aralıklı yer yer kaya saplamaları gerektiğinde tavan kemerinde 5 cm kalnlığında puskürtme beton, çelik bağ desteği yok	kaya saplaması yok lunel açıklığı çevresinde 5 cm kalnlığında puskürtme beton, çelik bağ desteği yok
V (558 621 m) Tasmaca formasyonu Kaya sınıfı orla (Nihai RMR-50)	3 4 m uzunlukla I 5 2 m aralıklı sistematik kaya saplamaları tavan kemerinde çelik hasır tavan kemerinde 5 10 cm ve yan duvarlarda 3 cm kalnlığında puskürtme beton çelik bağ desteği yok	kemer tavanında ve yan duvarlarda 1 5 m aralıkla çelik hasırla birlikte şeşbeş düzende sistematik çimento dolgulu 4 m uzunlukta kaya saplamaları tünel açıklığı çevresinde 10 cm kalnlığında puskürtme beton kafesli çelik bağ desteği yok
VI (621 809 m) ânpa formasyonu Kaya sınıfı zayıf (Nihai RMR =29)	çelik hasır ile birlikte kemer tavanı ve yan duvarlarda 1 1 5 m aralıklı 4-5 m uzunlukta sistematik kaya saplamaları kemer (ava nında 10 15 cm ve yan duvarlarda 10 cm kalnlığında puskürtme beton gerekli yerlerde 1 5 m aralıklı hafif protillli çelik bağ tahkimatı	kemer tavanında ve yan duvarlarda 1 5 m aralıkla çelik hasırla birlikte şeşbeş düzende sistematik çimento dolgulu 4 m uzunlukta kaya saplamaları gerektiğinde 4 m boyunda taban saplamaları tunc! açıklığı çevresinde 0 75 1 5 m aralıklı kafesli çelik bağ 20 cm kalnlığında puskürtme beton, gerektiğinde kemer ve yan duvarlarda çelik suren uygulaması
VII (809 885 m) Sapça formasyonu Kaya sınıfı zayıf (Nihai RMR =26)	çelik hasır ile birlikte kemer tavanı ve yan duvarlarda 1 1 5 m aralıklı 4-5 m uzunlukta sistematik kaya saplamaları kemer tavanında 10 15 cm ve yan duvarlarda 10 cm kalnlığında puskürtme beton gerekli yerlerde 1 5 m aralıklı hafif profilli çelik bağ tahkimat	kemer tavanında ve yan duvarlarda 1 5 m aralıkta çelik hasırla birlikte şesbes düzende sistematik çimento dolgulu 4 m uzunlukta kaya saplamaları gerektiğinde 4 m boyunda taban saplamaları tünel açıklığı çevresinde 0 75 1 5 m aralıklı kafesli çelik bağ toplam 20 cm kalnlığında puskürtme beton gerektiğinde kemer ve yan duvarlarda çelik suren uygulaması

5 DURAYLILIK ÇÖZÜMLEMELERİ

Çalışmada duraylılık çözümleri için iki boyutlu sonlu elemanlar bilgisayar programı PHASE 2D 5.0 (Rocscience, 2004) kullanılmıştır. Söz konusu programda oluşturulan sonlu elemanlar ağında 3 düğüm noktalı üçgen elemanlar seçeneği kullanılmıştır. Tüneli çevreleyen ortamın sınırlarının açıklıktan uzaklığı yaklaşık olarak açıklık genişliğinin 9 katı alınmıştır. Bu sınır üzerinde bulunan düğüm noktalarının yatay ve düşey yöndeki yer değiştirmeleri önlenmiştir. İncelenen tüm durumlarda, açıklığı çevreleyen ortam için aynı sonlu elemanlar ağı kullanılmıştır.

Tünelin yeryüzünden derinliği tünel güzergahı boyunca değişkenlik göstermektedir. Duraylılık çözümlerinde tünel güzergahı boyunca düşey birincil gerilmeler eşit kabul edilip, derinlik ortalama olarak 200 m alınmıştır. Örtü katmanının ortalama birim hacim ağırlığı 25 kN/m^3 alınarak, düşey birincil gerilme (Pv) yaklaşık 5 MPa olarak tahmin edilmiştir. Yatay birincil gerilmelerin (Ph) tüm doğrultularda birbirine eşit olduğu varsayılmıştır. Literatürde rapor edilen (Brown & Hoek 1978) ölçüm sonuçlarından ortalama 200 m derinlik için birincil gerilmelerin oranı (Ph/Pv) = "k", 1.4 hatta 5-6 ya kadar çok değişkenlik gösterdiği belirtilmektedir. Genelde sığ derinliklerde yatay birincil gerilmelerin düşey birincil gerilmelerden daha büyük olduğu kabul edilmektedir. Çözümlerinde mevcut birincil gerilme ölçümleri olmadığı için "k" oranı 2 olarak kabul edilmiştir.

Atmalı kesitli tünelin kazı genişliği 6 m ve yüksekliği 6 m alınmıştır. Yarım daire şeklindeki tavanın eğrilik merkezi tabandan 3 m yüksekliktedir. Bu durumda tünelin kazı kesiti yaklaşık 32 m² olmaktadır. Farklı yapısal bölgeler içerisinde uygulanmış olan tahkimat durumları göz önünde bulundurularak elasto-piastik çözümler yapılmıştır. Tahkimat durumları nihai kaplama betonu ve iyileştirme enjeksiyonları Öncesi durumları temsil etmektedir.

Çözümlerinde tünelde açıklık çevresinde 9 adet tamamen dolgu ön gerdirmesiz kaya saplamaları kullanılmıştır. Kaya saplamalarının boyu 4 m, çapı 25 mm, saplama aralığı 1.5 m (düzlem içi ve dışı), saplama çeliğinin Young modülü 200 GPa ve çekme kapasitesi 0.1 MN alınmıştır.

Çözümlerinde püskürtme beton, Bernoulli fibrülasyonuna uygun olarak davranan giriş elcmanlarıyla temsil edilen kaplama elemanları kullanılarak model lenmiştir. Püskürtme betonun elastik özellikleri, Young modülü 30 GPa ve Poisson oranı 0.2 alınmıştır. Püskürtme betonun dayanım özellikleri olarak, tek eksenli basınç dayanımı 35 MPa, kalıcı tek eksenli basınç dayanımı 3.5 MPa,

çekme dayanımı 3 MPa ve kalıcı çekme dayanımı 0 alınmıştır. Püskürtme betonun kaplama kalınlığı uygulanan tahkimat tipine (A, B, C) bağlı olarak 5 cm, 10 cm ve 20 cm şeklinde değişmektedir.

Açıklığı çevreleyen kaya kütesinin Hoek-Brown görgüI yenilme ölçütüne (Hoek & Brown 1980) uygun olarak yenildiği varsayılmıştır. Ölçütün genelleştirilmiş hali aşağıda verilmiştir (Hoek vd. 2002):

$$\sigma_1' = \sigma_3' + \sigma_{ci} \left(m_b \sigma_3' / \sigma_{ci} + s \right)^a \quad (D)$$

burada σ_1' ve σ_3' sırasıyla yenilme anındaki en büyük ve en küçük asal gerilmeler ve σ_{ci} ise kaya malzemesinin tek eksenli basınç dayanımıdır. Hoek-Brown dayanım sabitleri (m_b , s , a) kaya kütesinin özelliklerine (GSI) ve kaya kütesinde oluşan patlatma hasarına göre değişim göstermektedir. Ölçüt ile ilgili detaylı bilgiler Hoek vd. 2002'den elde edilebilir.

Jeolojik dayanım indeksi (GSI) değerlerinin kestirilmesinde aşağıda verilen eşitlik kullanılmıştır. (Hoekvd. 1995).

$$GSI = RMR_{89} - 5 \quad (RMR_{89} > 23) \quad (2)$$

burada, RMR₈₉. Bieniawski tarafından önerilen kaya kütesini sınıflama sisteminin 1989 yılı versiyonudur. Kaya malzemesine ilişkin yapılan tek ve üç eksenli basınç dayanımı deney verileri ile ROCLAB (v.1.0) (Rocscience 2003) bilgisayar programı kullanılarak kaya malzemesine ilişkin dayanım parametreleri (σ_{ci} , n_{ij}) ve kaya kütesini dayanım ve deformasyon parametreleri (E_{ci} , m_b , s) belirlenmiştir.

Kırılmış kaya kütesine ait dayanım parametrelerinin (m_b , s) tahmin edilmesinde Ribacci (2000) tarafından önerilen bağıntılar kullanılmıştır.

$$m_b = 0.65 m_b \quad (3)$$

$$s_r = 0.04 s \quad (4)$$

Çözümlerinde tünelin farklı yapısal bölgeleri için kullanılan girdi parametreleri Çizelge 3'te verilmiştir. Hoek-Brown dayanım parametrelerinden "a" değeri tüm durumlar için 0.5 alınmıştır.

Çözümlemede kaya saplamaları ve/veya püskürtme betondan oluşan tahkimat elemanlarının ikinci bir aşamada yük almaya başladığı varsayılmıştır. Tahkimat elemanlarına tahkimat gecikmesini modellemek üzere tünel açıklığını Çevreleyen ortamdaki %75 oranında yük etkidiği varsayılmıştır.

Çizelge 3. Tünel güzergahı boyunca kaya malzemesi ve kütesinin özellikleri.

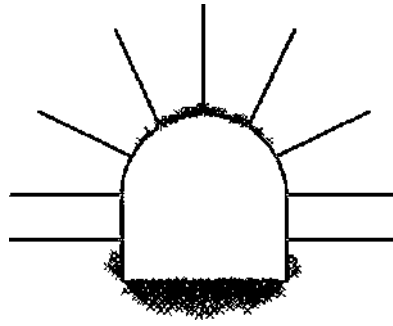
Yapısal Bölge	Aralık (m)	σ_c (MPa)	GSI*	σ_{un} (MPa)	m_i	n_i	s	m_r	s_r	E_m (GPa)
I	0-21 m	68.4	53	4.91	21	3.9	0.0054	2.5	0.000216	9.83
II+III	21-290 m	68.4	70	12.9	21	7.1	0.0357	4.6	0.0014	26.2
IV	290-558 m	68.4	76	14.3	21	8.8	0.0695	5.7	0.00278	37.0
V	558-621 m	40.5	45	1.82	29	4.1	0.0022	2.7	0.00009	4.77
VI	621-809 m	31.4	24	0.35	50	3.3	0.0002	2.2	0.000008	1.25

* GS^Temel RMR-5

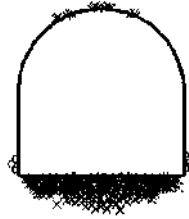
Tünel güzergahında karşılaşılan değişik formasyonlarda uygulanan farklı tahkimat türleri ayrı ayrı modellenmiştir. Çözümlenmelerde sadece kaya saptamalı ve püskürtme beton lu tahkimat durumları modellenmiştir. Tünel giriş ve çıkış ağızlarının gerçekçi bir şekilde modellenmesi için üç boyutlu analizlere ihtiyaç duyulduğundan I ve VII nolu yapısal bölgeler için çözümlenmeler yapılamamıştır. Tünel güzergahında farklı yapısal bölgeler için elde edilen çözümleme sonuçları Şekil 5-8'de verilmiştir. Gökçetepe formasyonunda yer alan II ve III nolu yapısal bölgeler aynı kaya kütesi koşullarını temsil etmeleri nedeniyle ortak çözümleme yapılmıştır.

İncelenen yapısal bölgeler için elde edilen kaya kütesi özellikleri kullanılarak, kaya saptaması ve püskürtme beton tahkimat uygulamasında, çözümlenmelerden elde edilen sonuçlara göre, duraylılık açısından olumsuz durumlar Tasmaca ve Sapça formasyonu içerisinde yer alan yapısal bölgelerde (V-VI) oluşmaktadır. Açıklık çevresindeki yenilme bölgesi açıklığı tamamen çevreleyerek özellikle tabanda derinlik kazanmaktadır. Bu olumsuz koşullar tünel içerisindeki gözlemler ile teyit edilmiştir. Gökçetepe formasyonu içerisinde yer alan yapısal bölgelerde (II-IV) ise tavan ve yan duvarlarda oluşan yenilme bölgesinin genişliği önemli ölçüde daralmaktadır. Bu bölgelerde tünel açılması ve desteklenmesinden sonra duraylılık problemleri ile karşılaşılmaşım. Genel anlamda bilgisayar programı ile yapılan sayısal çözümlenmelerden elde edilen sonuçlar ile tünel içerisindeki gözlemler karşılaştırıldığında benzer bulgulara ulaşıldığı soylenebilmektedir.

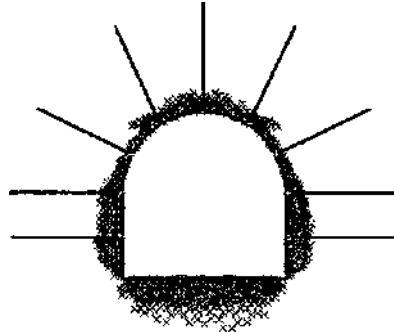
Tünelde karşılaşılan duraysızlık durumlarında çevre kaya kütesi koşullarının iyileştirilmesi için kontak ve konsolidasyon enjeksiyonları yapılmıştır. Tavan ve taban koşullarındaki olumsuz durumları sınırlandırmak için tünel içerisinde ihtiyaç olması durumunda tavana süren ve tabanda da saptama uygulamaları gerçekleştirilmiştir.



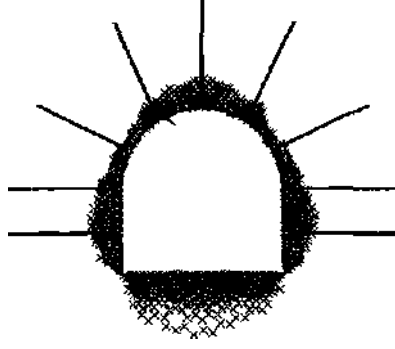
Şekil 5. Gökçetepe formasyonu II ve III. yapısal bölgeler.



Şekil 6. Gökçetepe formasyonu IV. yapısal bölge.



Şekil 7, Tasmaca formasyonu V. yapısal bölge.



Şekil 8. Sapça formasyonu VI. yapısal bölge.

6 SONUÇLAR

Arazi gözlemleri, kaya kütlesi sınıflandırma sistemi ve bilgisayar programı ile yapılan sayısal çözümlerden elde edilen sonuçların birbiriyle uyum içinde oldukları söylenebilmektedir. Ancak, elde edilen sonuçların sınırlı sayıda verilere dayalı olması ve bilgisayar programı özelliklerinden kaynaklanan zorunlu idealleştirmeler (sürekli ortam, birincil gerilmeler vb.) nedeniyle her zaman dikkatle kullanılması ve arazi gözlemleri ile devamlı olarak izlenmesi önerilmektedir. Çalışmadan, güvenilir ve yeterli arazi verilerine dayalı olan kaya kütlesi sınıflama sistemi ve sayısal çözümlene modelleri analizlerinin, yeraltı açıklıklarının ve tahkimat sistemlerinin planlanmasında önemli bir ön tasarım aracı işlevine sahip olduğu teyit edilebilmiştir.

7. KAYNAKLAR

Alkılıç, Ç. 2003; Çalagzı Termik Santrali Kül Cürufun Uzaklaştırılması ve Depolanması İnşaatı İletim Tüneli Jeoteknik Raporu (yayımlanmamış), DSİ 23. Bölge. 232. Şb. Md.. Zonguldak

- Alkılıç, Ç. 2004; Çalagzı Termik Santrali Kül Cürufun Uzaklaştırılması ve Depolanması İnşaatı Kontak ve Konsolidasyon Enjeksiyonları İşbitim Raporu (yayımlanmamış). DSİ 23. Bölge. 232. Şb. Md.. Zonguldak.
- Bieniawski. Z.T. 1989; *Engineering Rock Mass Classifications*. John Wiley & Sons, New York?
- Brown. E.T., Hoek. E., 1978; Trends in relationships between measured insitu stresses and depth, *Int. J. Rock Mech. Min. Sei. & Geomech. Ahsir.*, Vol. 15, pp. 211-215.
- Çınar, 2001 ; *Çalagzı Termik Santrali Alık Depolama ve Taş Ocağı Entegre Projesi*. ÇED Raporu, Çınar Mühendislik, Ankara.
- Gerçek; H. 2004; *Tünelcilik Ders Notları* (yayımlanmamış), ZKU Maden Müh. Bölümü. Zonguldak.
- Hoek, E., Brown, E.T., 1980; *Underground Excavations in Rock*. IMM, London.
- Hoek, E., Carranza-Torres, C., Corkum, B., 2002; Hoek-Brown failure criterion on-2 002 edition, <http://www.rocscience.com>, 7 p.
- Hoek, E., Kaiser, P.K., Bawden, W.F., 1995; *Support of Underground Excavations in Hard Rock*. A.A. Balkema, Rotterdam.
- Ribacci, R., 2000; Mechanical tests on pervasively jointed rock material: insight into rock mass behaviour, *Rock Mechanics and Rock Engineering*, Vol. 33, No.4, pp.243-266.
- Roald, S., Barton. N., Nomeland, T., 2002; Grouting -The Third Leg of Underground Construction. Norwegian Tunnelling Society Publication, Vol. 12, http://www.tunnel.no/upl/Kap10_Grouting.pdf
- Rocscience, 2003; Rocklab (v.1.0) Software-Rock Mass Strength Analysis using the Generalized Hoek-Brown failure criterion, <http://www.rocscience.com/products/roclab.asp>
- Ulusay, R. Sönmez, H., 2002; *Kaya Kütlelerinin Mühendislik Özellikleri*. TMMOB JMO Yayınları. No: 60, Ankara.
- Yurdakul, Ş., Gerçek H. 2002; Püskürtme Beton Tahkimatının TTK Ocaklarının Ana Galerilerinde Uygulanabilirliğinin Araştırılması, *Türkiye 13. Kömür Kongresi Bildiriler Kitabı*. TMMOB MMO. Zonguldak, s. 297-307.
- Yüksel Proje, 2004; İstanbul Metroşu Proje Raporu (yayımlanmamış), İstanbul.

Halat Tipi Kaya Saplamlarında (Cable bolt) Patlatma Esaslı Ankraj Sistemi

Ö. Uysal

Dumtuşmar Üniversitesi, Kütahya, Türkiye

A. Demirci

Cumhuriyet Üniversitesi, Sivas, Türkiye

ÖZET: Bu çalışmada, öncelikle yeraltı maden işletmeleri tahkimat işlerinde, yaygın bir şekilde kullanılmakta olan halat tipi kaya saplamları (cable bolt) hakkında yapılmış olan bir literatür araştırmasının sonuçları sunulmuştur. Daha sonra ise yazarlar tarafından geliştirilmiş olan, halat tipi kaya saplamlarının delik içerisindeki ankrajını sağlayan yeni bir patlatma esaslı sistem anlatılmıştır. Bu sistemin amacı, delik içerisine basılan çimento harcının donmasını beklemeksizin halat tipi kaya saplamasına bir ongenime uygu I anlayabilmektir. Bu çalışma kapsamında öncelikle bir çekme testi (pull-out test) aleti dizayn edilmiş ve üretilmiştir. Daha sonra, delik içerisinde ankrajı sağlayacak başlık dizaynı üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Bu amaçla geliştirilen başlıklar denenmiş ve elde edilen sonuçların değerlendirilmesi bir sonraki alternatif için temel oluşturmuştur. Bu şekilde, 9 farklı yöntem geliştirilmiş ve farklı formasyonlarda toplam 220 adet deney gerçekleştirilmiştir.

Deneylemlerden elde edilen sonuçların değerlendirilmesi neticesinde, halatın delik dibindeki ankrajını sağlamak için en uygun yöntem olarak "Eğik kapaklı çelik başlık-jelatini t dinamit yöntemi" belirlenmiştir. Gerçekleştirilen deneylemlerde, çalışmanın amacına uygun olarak 10 ton değerinin üzerinde ankraj değerleri elde edilmiştir.

ABSTRACT : This study deals with the results of a literature survey on cable bolts, widely used as a support element in underground mining, and with the elaboration on an "explosive based anchorage system" developed by the authors. The aim of this system is to apply pre-tension to cable bolts, which is independent of cement mortar. Within the scope of this work, a pull-out test device has been designed and produced. After that, studies have been carried out on a cap design, which provides anchorage into the borehole. The caps which were developed for that purpose have been tested, and the results obtained have constituted the grounding for the next alternative study. In this way, nine different concepts have been produced and a total of 220 experiments were carried out in different mines.

The evaluation of the results has shown that "an oblique steel cap with gelatinic dynamite explosion" is a sufficiently good approach to cable bolt anchorage in a borehole. The pull-out test values outstripped an anchored load of 10 tonnes, which was within the aims of this study.

1 GİRİŞ

Günümüz yeraltı madencilik faaliyetlerinde yaygın ve yoğun olarak kullanılan en önemli tahkimat türleri ahşap tahkimat, çelik tahkimat, püskürtme beton ve kaya saplamlarıdır. Bu türler içerisindeki ahşap tahkimat, teknolojik gelişmelere bağlı olarak önemini oldukça yitirmiştir. Buna karşın teknolojik gelişmelere bağlı olarak kullanımı her geçen gün artan tahkimat türü ise kaya saplamlarıdır. Kaya saplamlarının tahkimat olarak kullanımının

yaygınlaşmasında en önemli nedenler aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Düşük maliyet,
- Kabul edilebilir emniyet,
- Kolay üretim ve kolay yerleştirme,
- Değişken koşullarda kullanılabilmesi,
- İlave açıklık gerektirmemesi.

Kaya saplama türleri içerisinde, halat tipi kaya saplamları (cable bolts), boy sınırlamasının olmaması, esnek olması, ucuz olması ve yüksek yük

taşıma kapasitesine sahip olmaları nedeni ile dikkat çekmektedir. Halat tipi kaya saplaması, basil olarak bir veya daha fazla halatın özel olarak delinmiş deliğe yerleştirilmesi, çimento harcı ile doldurulması ve bu sayede kaya kütlesi içinde bir kolon oluşturulması şeklinde tanımlanabilir.

Günümüz madencilik endüstrisinde halat tipi kaya saplamaları, tavan armlı kazı yöntemi (kes ve doldur), arakatlı kazı yöntemi, arakatlı göçertme yöntemi, ambarlı üretim yöntemi ve oda yöntemleri yanında galeri açmada tahkimat olarak ve açık ocak şev duraylılığının sağlanmasında yaygın olarak kullanılmaktadır (Hutchinson, Diederichs. 1996).

Halat tipi kaya saplamalarının genellikle öngerdirmesiz kullanılması, özellikle istenmeyen deformasyonların oluşmasına neden olmaktadır. Bu itibarla, halat tipi kaya saplamalarının makul bir sistemle öngerdirmeye labı tutulması ve bunun akabinde dolgu malzemesinin deliğe pompalanması, hem saplamanın hemen aktif hale geçmesini sağlayacak, hem deformasyonların belirli ölçüyle sınırlanmasına yardımcı olacak hem de birbirini takip eden faaliyetlerin sürekliliği söz konusu olacaktır. Bu şekilde bir uygulama, aynı zamanda dolgu harcının kesikliği durumunda daha emniyetli bir tahkimat sağlayacaktır.

Bu çalışmada, mevcut öngerdirmen sistemlerinde karşılaşılan problemlere karşı metallerin patlayıcı madde ile şekillendirilmesini esas alan bir sistem düşünülmüştür. Bu amaçla, halatın ucuna monte edilen bir başlık içerisine yerleştirilen patlayıcının patlatılması ve bu sayede bir ankraj elde edilerek halatın delik içerisinde sabitlenmesi ve öngertilme uygulanabilmesine yönelik çalışmalar yapılmıştır. Bu sistemin konusu olan hususlar şu şekilde sıralanabilir;

- Metal başlıkla ilgili malzeme seçimi,
- Halatın delik içinde ankrajını sağlayacak olan patlatma ile şekillenebiien bir metal başlığın tasarımı ve üretimi,
- Metal başlığın halatla irtibat! andırılması,
- Patlayıcı madde seçimi, şarj geometrisi, sıkılama biçimi ve patlatma,
- Ankraj kapasitesinin Ölçülebilmesi amacıyla çekme düzeneğinin geliştirilmesi,
- Uygulamalarda elde edilen sonuçlar ve bu sonuçların değerlendirilmesi.

2 BAŞLIK MALZEMESİNİN SEÇİMİ

Halatın delik içerisinde ankrajını sağlayacak başlık malzemesi aşağıdaki özellikleri arz etmelidir.

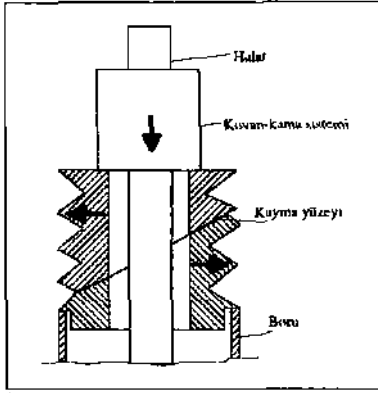
- Malzemenin sınırlı miktarda patlayıcı ile şekillenebilmesi,
- Yukarıdaki hususa karşı malzemenin elastisite sınırının, sınırlı deformasyon ile aşılması ve plastisite alanının fazla olması,
- Deformasyona uğrayan malzemenin, makul bir mukavemet göstererek kayaç-başlık konlağımdaki tutunmayı muhafaza edebilmesi,
- Patlamanın etkisiyle ısınan malzemenin, soğuduğunda daha sert bir yapı arz etmesi,
- Patlamanın etkisiyle malzemenin mikro yapısında kırılmaların olmaması ve bu hususa karşı malzemenin başlangıçta sınırlı bir sertlikte olması,
- Malzemenin işlenmesinin kolay olması,
- Malzemenin ucuz olması.

Yukarıda sayılan özelliklere en uygun malzemeler olarak, demir-çelikten ve alüminyumdan imal edilmiş olan borular belirlenmiştir. Her ne kadar bakır borular veya bakır alaşımları kolayca şekillenebilir gözüke de gerek maliyet, gerekse dayanım bakımından uygun bulunmamıştır.

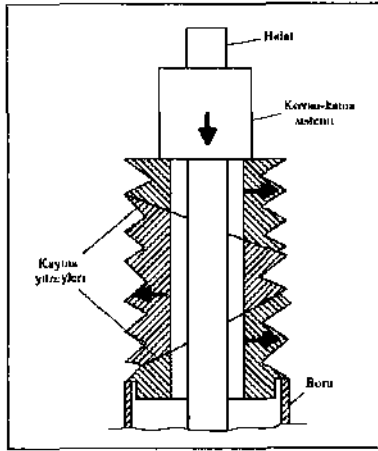
3 BAŞLIK TASARIMI

Yukarıda belirtildiği gibi, başlık malzemesi olarak St-37 çelik borular ve alüminyum borular kullanılmıştır. (Çalışmaya daha uygun malzeme üretimi, ayrı bir araştırma konusudur.) Çalışmalar kapsamında 40 ve 60,3 mm çaplarında ve 8-30 cm boy aralığındaki başlıklar ile yapılan deneylerde değişik başlık tasarımları denenmiştir. Bir yandan deneyler yapılırken diğer yandan alınan sonuçlara göre yeni yaklaşımlar geliştirilmiştir. Tüm çalışmalar boyunca denemesi yapılarak başlık türüne ve kullanılan patlayıcı madde tipine göre adlandırılan yöntemler şu şekilde sıralanabilir (bunların haricinde yapılmış olan pek çok çalışma burada verilmeye değer bulunmamıştır);

1. Düz kapaklı çelik başlık-karabarut yöntemi
2. Düz kapaklı alüminyum başlık-karabarut yöntemi
3. Düz kapaklı çelik başlık-emülsiyon dinamit yöntemi
4. Düz kapaklı alüminyum başlık-emülsiyon din. yöntemi
5. Düz kapaklı çelik başlık-jelatinit dinamit yöntemi
6. Düz kapaklı alüminyum başlık-jelatinit din. yöntemi
7. İki parça kapaklı çelik başlık-jelatinit dinamit yöntemi (Sekili)
8. Üç parça kapaklı çelik başlık-jelatinit dinamit yöntemi (Şekil 2)
9. Eğik kapaklı çelik başlık-jelatinit dinamit yöntemi (Şekil 3)



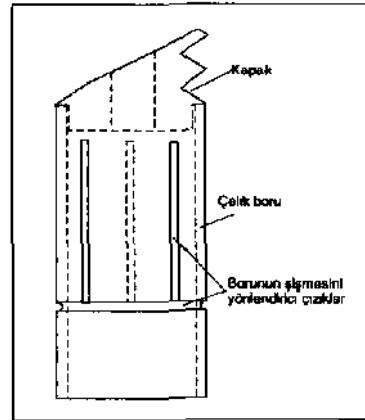
Şekil 1. İki parça kapaklı başlık yöntemi



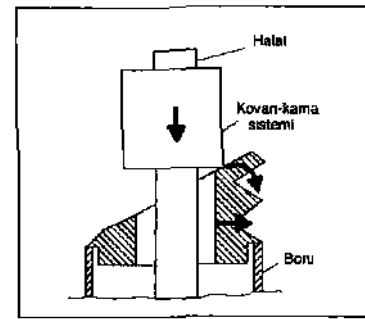
Şekil 2. Üç parça kapaklı başlık yöntemi

Bu yöntemler dahilinde gerçekleştirilen deneylerde başlık çapı, başlık boyu, patlayıcı miktarı ve sıkılama türü gibi değişkenler araştırılmıştır. Ancak ilk 8 yöntem için yapılan çalışmalarda bir noktaya kadar gelinmesine rağmen yeterli ve standart bir ankraj kapasitesi elde edilememiştir. Bu yöntemlerin geliştirilmesi ve uygulama esnasında karşılaşılan problemlere çözümler üretilmesi sonucu "Eğik kapaklı çelik başlık-jelatinit dinamit yöntemi" geliştirilmiştir. Bu yöntem kapsamında gerçekleştirilen deneyler neticesinde amaçlanan ankraj ve deplasman değerlerine ulaşılmasının yanı sıra deneyler arasında bir standardizasyon sağlanmıştır. İlk 8 yöntemde ankraj, başlığın delik içerisinde sıkışmasıyla ortaya çıkan sürtünme kuvveti tarafından sağlanmaktadır. Diğer yandan dokuzuncu yöntemde sürtünmeye ilave olarak başlık üzerinde bir dönme momenti oluşturulmaktadır. Bu

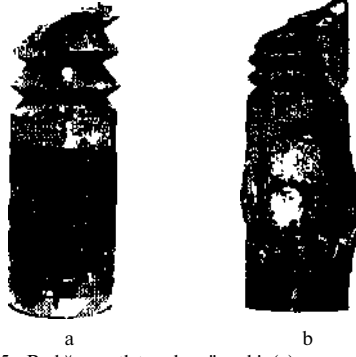
yöntem dahilinde geliştirilen başlık Şekil 3 ve Şekil 4'de görülmektedir. Başlığın kapağı Şekil 4'de görüldüğü gibi eğik olarak tasarlanmıştır. Bu sistemde halatı tutan kovan-kama kapağına bir noktadan basmakta ve başlık üzerinde bir dönme momenti oluşturmaktadır. Bu sayede sıkışmadan kaynaklanan sürtünmeye ilave olarak başlığın dönmesinden dolayı ekstra bir sürtünme elde edilmiştir. Başlığın patlatılmadan önceki ve somaki görünümü Şekil 5'de görülmektedir.



Şekil 3. Eğik kapaklı başlık yöntemi

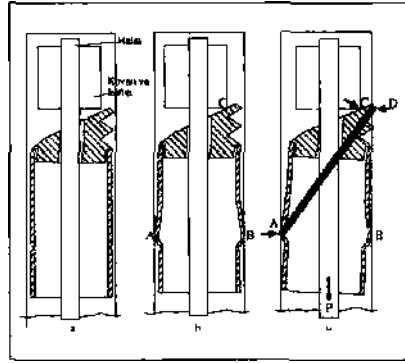


Şekil 4. Eğik kapaklı başlık (Uysal, 2003)

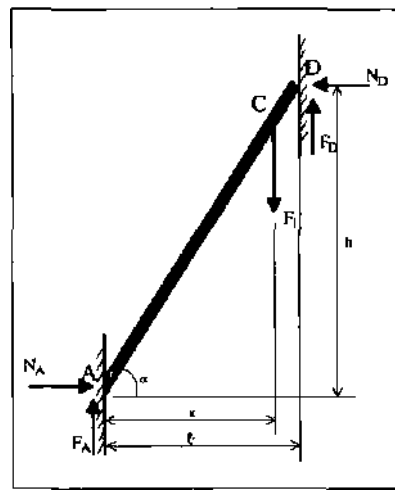


Şekil 5. Başlığın patlatmadan önceki (a) ve sonraki (b) görünümü (Uysal, 2001)

Şekil 6'da ankraj olayının aşamaları görülmektedir. Burada, Şekil 6-a şekli başlığın patlatılmadan önce delik içindeki pozisyonunu göstermektedir. Patlatma gerçekleştikten sonra başlık A ve B noktalarından delik cidarına sıkışmaktadır (Şekil 6-b). Daha sonra germe işlemi uygulanmaya başlandığında, halatı tutan aparat (kovan-kama sistemi) başlığa C noktasından yük uygulamaktadır. Bu sırada B noktasının delik cidarı ile teması kesilirken, başlık D noktasından delik cidarına temas eder (Şekil 6-c). Bu andan itibaren sistem, A ve D noktalarından mesnetli bir kiriş gibi hareket eder ve C noktasından uygulanan kuvvet, bu kirişte bir dönme momenti oluşturur (Şekil 6-c). Bu oluşum sırasında meydana gelen kuvvetler Şekil 7'de gösterilmektedir.



Şekil 6 Ankraj olayının aşamaları (Uysal, 2001)



Şekil 7. Oluşan kuveiler (Uysal, 2001)

$$\sum x = 0, N_A - N_D = 0, \quad (1)$$

$$\sum y = 0, F_I - F_A - F_D = 0, \quad (2)$$

$$\sum MA = 0, F_I * x - F_D * l - N_D * h = 0 \quad (3)$$

$$F_D = N_D * \mu \quad (4)$$

$$F_A = N_A * \mu \quad (5)$$

Burada;

- N_A : A noktasında oluşan normal kuvvet
- N_D : D noktasında oluşan normal kuvvet
- F_A : A noktasında oluşan makaslama kuvveti
- F_D : A noktasında oluşan makaslama kuvveti
- F_I : Halata uygulanan çekme kuvveti
- h : Başlığın delik cidarına değdiği noktalar arasındaki düşey mesafe
- t : Delik çapı
- x : Kovan-kama'nın başlığa değdiği nokta A noktası arasındaki yatay mesafe.

3 ve 4 nolu denklemlerden hareketle aşağıdaki ilişkiler elde edilir:

$$F_I * x = N_D * \mu * l + N_D * h$$

$$N_D = F_I \frac{x}{\mu * l + h} \quad (6)$$

1,2 ve 4 nolu denklemlerin yardımıyla elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibidir:

$$F_1 = F_A + F_D$$

$$F_j = N_A * \mu + N_D * \mu$$

$$F_1 = N_D * \mu + N_D * \mu$$

$$N_D = \frac{F_1}{2\mu} \quad (7)$$

4 ve 7 nolu denklemlerden ,

$$F_D = \frac{1}{2} F_1 \quad (8)$$

6 ve 7 nolu denklemlerden,

$$F_1 \frac{x}{\mu * \ell + h} = \frac{F_1}{2\mu}$$
$$\mu = \frac{h}{2x - \ell} \quad (9)$$

Şekil 7'de ve yukarıdaki denklemlerde görülen kuvvetler arasındaki ilişkiler, kullanıcıya başlığın ankraj kapasitesi veya olası bir öngerilmenin değeri hakkında fikir verir. Şöyle ki, F_A , F_D , N_A , N_p kuvvetleri, kayacın oluşmuş tepki kuvvetleridir. Denklemlerde, halata uygulanan F_1 kuvveti ile oluşan diğer kuvvetler arasındaki ilişkiler verilmiştir. Örneğin, kayacın F_D yönündeki dayanımı biliniyor ise, uygulanan F_1 kuvveti ile arasında $F_D = 1/2 F_1$ şeklinde bir ilişki bulunan F_D kuvvetinin değeri, kayacın bu yöndeki dayanım değerinden büyük olmamalıdır. Uygulanan kuvvet, kayacın dayanımını aşar ise kayacın yenilecek ve başlık ankrajını kaybedecektir. Bu nedenle, uygulamanın yapıldığı formasyonun özellikleri son derece önemlidir.

4 BAŞLIĞIN HALATA BAĞLANMASI

Bu çalışma kapsamında söz konusu olan en önemli problemlerden biri halatla başlığın ilişkilendirilmesidir. Bu amaçla başlığın halata tespitinde aşağıdaki yöntemler denenmiştir:

- Halatın başlığa kaynaklanması,
- Halatın düğümlemesi,
- Halat kelepçesi,
- Halatın tellerine çinko dökümü,
- Kovan-kama sistemi (Thompson, 1992).

Yukarıda sayılan yöntemlerin ayrı ayrı denenmesi sonucunda, halat tipi kaya saplamalarının delik dışındaki ankrajında da kullanılan kovan-kama sisteminin sağlamlık ve uygulama kolaylığı

açısından en uygun yöntem olduğu sonucuna varılmıştır.

S SIKILAMA MALZEMELERİ VE/VEYA SİSTEMLERİ

Patlayıcı maddenin, başlığın içinde patlatılması ile başlığın deformasyonu sağlanmaktadır. Bilindiği gibi patlayıcı maddenin etkili olabilmesi için kapalı bir ortamda patlatılması ve açığa çıkan gazların hemen havaya karışmasının önlenerek başlık içinde bir basınç oluşturulması, amaca daha iyi hizmet edecektir. Bu nedenle başlığın içerisine yerleştirilen patlayıcı maddenin iyi bir şekilde sıkılması gerekmektedir.

Bu çalışma kapsamında, bu amaca yönelik olarak kullanılan sıkılama malzemeleri şunlardır;

- Atım deliklerinden çıkan tozlar,
- Ahşap malzemeden imal edilen sistem,
- Kestamit malzemeden imal edilen sistem,
- Metalden imal edilen sistem.

Bu sistemler kullanılarak yapılan çalışmalar neticesinde metalden imal edilen sistem en uygun sistem olarak belirlenmiştir (Şekil 8). Diğer sistemlerde yapılan patlatma işleminde yeterli verim alınamamıştır.



Şekil 8. Metal sıkılama diski

6 PATLAYICI MADDE MİKTARININ BELİRLENMESİ

Bu çalışmada, karabarut, emülsiyon dinamit (powergel) ve jelatinit dinamit olmak üzere üç farklı türde patlayıcı madde kullanılmıştır. Başlık içine yerleştirilecek patlayıcı maddenin miktarı son derece önemlidir. Zira, patlayıcı miktarı fazla olduğunda,

delik çeperine gereğinden fazla bir basınç uygulanmaktadır. Bunun neticesinde, kaya kütlesi içinde çatlakların oluşması söz konusu olabilmektedir. Bunun tersine, gereğinden daha az miktarda patlayıcı kullanıldığında, başlık yeterince şişmemekte ve düşük ankraj kapasiteleri elde edilmektedir. St-37 çelik boni içerisinde patlatılan jelatini! dinamit türü patlayıcı madde için yapılan hesaplamalarda gerekti patlayıcı madde 7,83 gr olarak bulunmuştur. Ancak bulunan bu değerler kesin sonuçlar olmayıp, bir yaklaşım getirmektedir. Kesin sonuçlar için uygulamanın yapılacağı formasyonlarda denemelerin yapılması gerekmektedir. Denemelere hesaplamalar ile bulunan sonuçların % 50'si ile başlanmış ve patlayıcı miktarı düzenli bir şekilde artırılmıştır.

7 UYGULAMA ALANLARI

Bu çalışmanın amacı, halat tipi kaya saplaması uygulamalarına yeni bir bakış açısı getirmektir. Bu kapsamda önemli olan husus, geliştirilen patlatma başlığının ankraj kapasitesidir. Yapılan çalışmalar, tamamen başlığın değişik formasyonlardaki ankraj kapasitesini belirlemeye yönelik olmuştur. Bu nedenle, halat tipi kaya saplamaları yeraltı madencilğinde daha yaygın olarak kullanılmasına rağmen, bu çalışmalar, açık ocaklarda gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma kapsamında dört farklı maden ocağında ve dört farklı formasyonda deneyler yapılmıştır. Bu formasyonlar traverten, jips, marn ve kireçlaşıdır.

Çalışılan kaya birimlerinin bazı mekanik özellikleri Çizelge 1'de görülmektedir. (Kahrıman, 1995; Görgülü, 1998).

Çizelge 1. Çalışılan Kaya Birimlerinin Ba/ı Mekanik Özellikleri

Kaya Birimi	Yoğunluk (gr/cm ³)	Nem Oran	Suya dayanıklılık indeksi (I _j) (%)	Dolaylı Çekme Dayanımı (MPa)	Nokia Yük. Dayanımı (Is50) (MPa)	Tek Ekinli Basınç Dayanımı (MPa)
I raverien	2.411	0.329	99.32	5,18	5.72	37.80
Jips	2.305	15.8	87.09	2,56	-	19,97
Manı	1.804	13.08	49.02	0,21	0.172	3,78
Kireç (K s)	2.705	10,15	97.29	1.04	0.835	18,83

8 DENEY PROSEDÜRÜ

Yapılan bir deneyin aşamaları şu şekilde sıralanabilir;

- İlk olarak gerekli çap ve boyda delik delinir,
- Halatın başlık takılan ucuna kovan-kama sistemi monte edilir,
- Başlığın içine öngörülen patlayıcı maddeden belirlenen miktarda yerleştirilir,
- Başlık halata geçirilir,
- Elektrikli kapsül yerleştirilir,
- Halatın başlık içinde hareketini önlemek için başlığın önüne bir kelepçe takılır,
- Bu aşamada başlık deliğe sokulmaya hazır hale getirilir (Şekil 9).
- Halal ucuna bağlı başlık ile dikkatli bir şekilde deliğe sokulur,
- Emniyet tedbirleri alındıktan sonra manyeto yardımı ile patlatma işlemi gerçekleştirilir,
- Şişleme çekme testi uygulanarak, ankraj kapasitesi tespit edilir.

Bu aşamalara göre planlanan deneyler müteakip paragrafla verilmiştir.




Şekil 9. Deliğe yerleştirilmeye hazır durumdaki başlık (Uysal, 2001)

9 ARAZİ UYGULAMALARI


Çalışmalar boyunca toplam olarak 220 adet deney yapılmıştır. Bunların 103 adedi "Eğik kapaklı çelik başlık-jelatinit dinamit yöntemi" kapsamında gerçekleştirilmiştir. Bu deneyler boyunca sıkılama sistemi, patlayıcı madde türü ve miktarı gibi değişkenlerin belirlenmesi amacıyla çalışmalar yapılmıştır. Eğik kapaklı başlık ve metal sıkılama kullanılarak, değişik formasyonlarda yapılan deneylere ait deney sonuçları Çizelge 2, 3, 4 ve 5'de verilmiştir. Marn biriminde yapılan bazı deneylere ait yük-deplasman grafikleri Şekil 10'da verilmiştir. Deneyler sırasında hedef olarak 10 ton belirlenmiş

ve yapılan deneylerin hemen hemen tümünde bu değerlere ulaşılmıştır.

Çizelge 2. Mam Kaya Biriminde Yapılan Deneyler

Deney No	Başlık Malzemesi		Başlık El Kalınlığı (mm)	Patlayıcı Madde Mik. (g)	Max. Yük (ton)	Man. Yükteki Deplasman (mm)	Açıklama
1	Sl-37	120	3,2	5	9	3,5	-
2	St-37	120	3,2	5	10	4	-
3	St-37	120	3,2	5	9,5	4	-
4	Sl-37	120	3,2	7,5	10	3,2	-
5	Sl-37	120	3,2	7,5	10,5	4	-
6	Sl-37	120	3,2	7,5	9,5	6	-
7	Sl-37	120	3,2	7,5	10	2,2	-
8	Sl-37	120	3,2	7,5	> 11	3	Deneye 11 ton'da son verildi
9	St-37	120	3,2	7,5	10,5	3,2	-
10	Sl-37	120	3,2	7,5	>11	2,2	Deneye 11 ton'dn son verildi
11	Sl-37	120	3,2	7,5	10	2,7	-
12	Sl-37	120	3,2	10	18,5	5	-
13	Sl-37	120	3,2	10	>11	4	Deneye 11 ton'da son verildi
14	Sl-37	120	3,2	10	10	3,5	-
15	Sl-37	120	3,2	10	10,5	3,3	-

Çizelge 3. Jips Kaya Biriminde Yapılan Deneyler

Deney No	Başlık Malzemesi		Başlık El Kalınlığı (mm)	Patlayıcı Madde Mik. (pt)	Max. Yük (ton)	Max. Yükteki Deplasman (mm)	Açıklama
1	St-37	120	3,2	5	> 11	3,2	Deneye 11 ton'da son verildi
2	St-37	120	3,2	5	10	4	-
3	St-37	120	3,2	5	9,5	4	-
4	St-37	120	3,2	7,5	10	4	-
5	St-37	120	3,2	7,5	10	3,5	-
6	Sl-37	120	3,2	7,5	10	3,4	-
7	St-37	120	3,2	7,5	10	3,5	-
8	St-37	120	3,2	7,5	10	3	-
9	St-37	120	3,2	7,5	10	3,2	-
10	St-37	120	3,2	7,5	>11	1,5	Deneye 11 ton'da son verildi
11	St-37	120	3,2	7,5	>11	1	Deneye 11 ton'da son verildi
12	Sl-37	120	3,2	10	>11	3	Deneye 11 ton'da son verildi
13	Sl-37	120	3,2	10	10	3,5	-
14	St-37	120	3,2	10	10	4	-
15	Sl-37	120	3,2	10	>11	3,5	Deneye 11 ton'da son verildi
16	St-37	1211	3,2	10	10	1	-

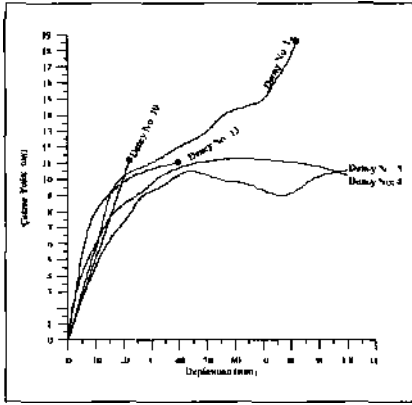
Çizelge 4. Tarveiten Kaya Biriminde Yapılan Deneyler

Deney No	Başlık Malzemesi	Başlık Boyu (mm)	Başlık Et Kalınlığı (mm)	Patlayıcı Madde Mik. (gr)	Max. Yük (ton)	Max. Yükteki Deplasman (cm)	Açıklama
1	St-37	150	3,6	5	>11*	3,3	Deneye 11 ton'da son verildi
2	St-37	150	3,6	5	3	5,2	-
3	St-37	150	3,6	5	8	6,4	-
4	St-37	150	3,6	2,5	-	-	Başlık deforme olmadı
5	St-37	150	3,6	2,5	-	-	Başlık deforme olmadı
6	St-37	150	3,6	2,5	5	7,2	-
7	St-37	150	3,6	2,5	-	-	Başlık deforme olmadı
8	St-37	150	3,6	5	6	6	-
9	St-37	150	3,6	5	1	-	Başlık deforme olmadı
10	St-37	150	3,6	5	6,5	2,2	-
11	St-37	150	3,6	5	4,5	1,5	-
12	St-37	120	3,2	5	7,5	4,7	-
13	St-37	120	3,2	5	7	4,2	-
14	St-37	120	3,2	5	>11	4,3	Deneye 11 ton'da son verildi
15	St-37	120	3,2	5	6	3	-
16	St-37	120	3,2	7,5	10	3	-
17	St-37	120	3,2	7,5	>11	3,3	Deneye 11 ton'da son verildi
18	St-37	120	3,2	7,5	25**	6	25 ton'da halar koptu
19	St-37	120	3,2	7,5	9,5	4	-
20	St-37	120	3,2	7,5	10	3	-
21	St-37	120	3,2	10	10	4	-
22	St-37	120	3,2	10	>11	4,5	Deneye 11 ton'da son verildi
23	St-37	120	3,2	10	10	3,5	-
24	St-37	120	3,2	10	>11	4	Deneye 11 ton'da son verildi
25	St-37	120	3,2	15	>11	3,5	Deneye 11 ton'da son verildi
26	St-37	120	3,2	15	10	3,5	-
27	St-37	120	3,2	15	10	7	-
28	St-37	120	3,2	7,5	>11	3	Deneye 11 ton'da son verildi
29	St-37	120	3,2	7,5	10	3,5	-
30	St-37	120	3,2	7,5	11	3	-
31	St-37	120	3,2	7,5	>11	2,5	Deneye 11 ton'da son verildi

Çizelge 5. Kireçtaşı Kaya Biriminde Yapılan Deneyler

Deney No	Başlık Malzemesi	Başlık Boyu (mm)	Başlık Et Kalınlığı (mm)	Patlayıcı Madde Mik. (gr)	Max. Yük (ton)	Max. Yükteki Deplasman (cm)	Açıklama
1	St-37	120	3,2	7,5	10	3	-
2	St-37	120	3,2	7,5	>11	3,5	Deneye 11 ton'da son verildi
3	St-37	120	3,2	7,5	10,5	3,5	-
4	St-37	120	3,2	7,5	10,5	3,2	-
5	St-37	120	3,2	7,5	11	4	-
6	St-37	120	3,2	7,5	9,5	3	-
7	St-37	120	3,2	7,5	>11	3	Deneye 11 ton'da son verildi

Deneye 11.til kopuncayı k.idin devdin edilmiş ve 25 lın değerinde luluı kopmuştur



Şekil 10 Eğik kapaklı başlık yöntemi kullanılarak yapılan bazı deneylerin yuk-deplasman eğrileri

10 SONUÇLAR

Bu çalışmada, metallerin sınırlı miktarda patlayıcı madde kullanımı ile deforme edilerek delik içerisinde sabitlenmesi amaçlanmıştır. Buradan hareketle, deliğe pompalanan harcın donması beklenmeden halata ongenime uygulanabilmesi imkanları araştırılmıştır. Bu amaçla geliştirilen yöntemler işletmelerde uygulanarak sonuçlar değerlendirilmiştir. Yapılan çalışmalar neticesinde * Eğik kapaklı çelik başlık-jelatmit dinamik yönteminin' tüm beklentilere cevap verdiği tespit edilmiştir. Bu yöntem dahilinde yapılan çalışmalarda patlayıcı madde miktarı 7,5 gr jelatinit dinamit olarak belirlenmiştir. Uygulanan çekme testleri neticesinde minimum 9 ton ankrj kapasitesi elde edilmiştir. Çekme test düzeneğinin kapasitesinin sınırlı olmasından dolayı deneylerin büyük çoğunluğunda çekme testine 11 ton mertebesinde son verilmiştir (Şekil 10).

Geliştirilen bu sistem, diğer tür kaya saptamaları ile karşılaştırıldığında, aşağıda verilen sonuçlar gözde çarpıcıdır,

- i Elde edilen minimum ankrj değeri, pek çok kaya saptaması için literatürde verilen tipik ankrj değerlerinden daha yüksektir (mekanik kaya saptaması split set swclex v b) (Stullborg, 1994)
- ii Günümüzde kullanılan halat tıptı kaya saptamaları ile ankrj kapasitesi açısından lam bir karşılaştırma yapabilmesi için, ongerdirmeye işleminden sonra deliğe çimento pompalanmalıdır. Ancak bu çalışmada amaç,

ongerdirmeye işleminin yapılabilirliği olduğu için çimento tıptı işlemi yapılmamıştır. Bu işlem için çalışmalarda gaz önünde bulundurulacaktır. Çimento tıptı işleminden sonra sistemin ankrj kapasitesinin artması beklenmektedir.

- m Sistemin yükü taşıma kapasitesi, deplasman değerleri nispeten yüksektir (Şekil 10). Deneylerde kullanılan çekme cihazının yetersizliğinden dolayı, delik içerisinde halatın dönmesi engellenememiştir. Deplasman değerlerinin yüksekliğinin, halatın dönmesi ve bu esnada halat boyunda meydana gelen uzamadan kaynaklandığı düşünülmektedir. Yüksek deplasmanın diğer bir nedeni tse, çekme testinin başlangıcında delik içerisindeki melal başlığın düşey ekseninde bir miktar dönmesidir (Şekil 6).

Yapılan deneylerin sonuçları, geliştirilen patlatma esaslı halat tıptı kaya saptamasının, yeraltı ve açık ocaklarda, kaya kütlelerinin duraylılığının artırılmasında ve güvenli bu çalışma ortamı sağlanmasında kullanılabilirliğini göstermiştir. Ancak sistemin performansının tam olarak ortaya konulabilmesi için, bir yeraltı işletmesinde düzenli olarak kullanılması ve elde edilen verilerin değerlendirilmesi gerekmektedir.

KAYNAKLAR

- Gorgulu K 1998, *Bazı Mitrüel Birimleri tını Optimum Aşındırma Cihazlarının Koşullarının Araştırılması ve Malzeme O-İllikien İle İlişkileudu İlmesi*. Doktora Tezi Ful Bilimleri Enstitüsü, Cumhuriyet Üniversitesi Sivas. 178
- Hutchinson DJ ve Diederichs M S. 1996, *Cahleholttung ut Undergruouul Mines*, BıTeth Publishes Ltd Richmond British Columma Canada 406
- Kahnman A 1995 *Sı\ a\ Ulaş Yorcısı S_L-tit Ce\ hen \e Yaukasaçları İçin Optimum Pad alı tı Koşullarının Aıaşındması se Ka\ aç Özellikleri İle İlişkileudu* Doktora Tezi Cumhuriyet Üniversitesi Ful Bilimleri Enstitüsü Sivas 278
- Stullborg B 1994 *Pajessional U\er\ Handbook loı Rock Boiling* Trans Tech Publications 145
- Thompson AG 1992 *Tensioning reinforcing cables Rock Suppoit in Mining and Ünde t ground Construction* Bulkema Rotterdam 285 291
- Uysal O 2001 *Patlatma fşaslı Halat Tıptı (Kablo Tıptı) Kaya Saptamaları Tasannu Üretimi \e Uygıdamalart* Doktora Tezi Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimim Enstitüsü Sivas 188
- Uysal O , Demirci A 200^ *Explosive-Based Anchoung System in Cable Bolts, Mum\; technology* Vol 112 125 HO

