

GALERİLERDE KAYA SAPLAMALARI İLE TAHKİMAT TASARIMI

Erdal ÜNAL (*)

ÖZET

Kömür ocakları yeraltında sürülen galerilerin devreye girmesiyle canlılık kazanır. Ayakların temiz hava, su ve elektrik enerjisi ile beslenmesi, insan, malzeme, makina aksamı ile kömür nakli bu galeriler sayesinde gerçekleştirilir. Galerilerin bu derece önem taşıması ve kömür ocaklarının candamarları olmasına karşılık, havzalarımızda galeri-tasarımına gereken önem verilmemiştir.

Bu bildiriye, kaya saplamaları, uygulamaları ve bu konudaki yeni gelişmeler ile ilgili genel bir değerlendirme yapılmakta ve galeriler için geliştirilmiş olan "kaya saplamaları ile tahkimat tasarımı" yöntemi uygulamalı bir örnek verilerek anlatılmaktadır.

ABSTRACT

Coal mines gain vitality with the use of roadways excavated in underground. The functions of roadways are: the supply of working face with fresh air, water and power, and transportation of men, materials, machinery and coal. Although they are of great importance to mining and are the lifelines of the coal mines, little attention has been paid to the design of roadways.

In this paper, a general evaluation is made on rock bolts, their application, and new developments in this area. A rock-bolt design method, developed for roadways, is introduced and this design method is further explained with a practical example.

(*) Y.Doçent Dr., Maden Yuk. Muh., ODTÜ Maden Mühendisliği Bölümü, ANKARA.

1. GİRİŞ

Genel bir değerlendirme ile, bugün yeraltında bir yılda sürülen toplam hazırlık galerisi uzunluğu Almanya'da 500 km, İngiltere'de 300 km ve çoğu oda-topuk yöntemindeki ocaklarda kömür içerisinde sürülen giriş galerileri olmak üzere ABD'de 30 000 km'dir. 1985 yılında TKİ işletmelerindeki yeraltı üretim miktarı 4-4,5 milyon ton olarak gerçekleştirilmiştir. Aynı yıl taştta ve kömürde sürülen galeri uzunluğu ise yaklaşık 31 km dir. Bu durumda, açılan galerilerin her metresi için 135 ton kömür üretilmiştir. 1986 yılında planlanan üretim miktarı 6,5-7 milyon ton, açılacak galeri uzunluğu 32,5 km dir. Dolayısıyla, metre galeri başına 20-ton'luk bir üretim düşmektedir. 2000 yılında Soma Bölgesi'nin devre dışı kalmasına rağmen 5,5-6 milyon tonluk bir üretim öngörülmekte hatta bu miktarın artırılması düşünülmektedir. Bu duruma göre 2000 yılında açılacak galeri uzunluğu 30-35 km'nin altına düşmeyecektir. TTK işletmelerine ait elde kesin veriler olmakla birlikte, Türkiye'de yeraltı ocaklarında açılan toplam galeri uzunluğu oldukça büyük rakamlara ulaşmaktadır. Önümüzdeki yıllarda galeri tasarımına gereken önem verilirse, emniyet ve verimliliğin artırılmasının yanısıra ekonomik açıdan da büyük yararlar sağlanabilecektir.

Galeri tahkimat tasarımında en çok kullanılan tahkimat türleri ağaç direkler, demir bağlar ve kaya saplamalarıdır. Bildirinin bundan sonraki bölümünde kaya saplamaları, ilkeleri, uygulamaları ve bu konudaki yeni gelişmelere değinilecektir.

2. KAYA SAPLAMALARI HAKKINDA GENEL BİLGİLER

Kaya saplamaları ile tahkimat, galerilerin duraylılığını sağlamak için kullanılan en etkin tahkimat yöntemlerinden bir tanesidir. Literatürde yayınlanan bilgilere göre mekanik türdeki kaya saplamaları ilk olarak İngiltere ve Almanya'da birinci dünya savaşından önce 1910'lu yıllarda kullanılmıştır. ABD'de ilk defa 1927 yılında kullanıldıkları söylenmekle birlikte planlı ve sistematik olarak kullanılışları söylenmekle birlikte planlı ve sistematik olarak kullanılışları 1936 yılına rastlamaktadır (1). Kaya saplamaları ABD'de 1945 yılında revaçta olmaya başlamış ve 1950-1960 yılları arasında teorisi ve uygulaması bir hayli gelişmiştir. Türkiye'deki kömür ocaklarında planlı bir şekilde henüz kullanılmaya başlamamış olmasına karşılık, bugün ABD'deki kömür ocaklarında yılda yaklaşık 120 milyon adet kaya saplaması kullanılmaktadır. İsveç'in Abisko kentinde 1983 yılında yapılan Birinci Uluslararası Kaya Saplamaları İçin Konferansında belirtildiğine göre (2) bütün dünyada yeraltı kazılarının duraylılığını sağlamak için bir yılda kullanılan kaya saplaması miktarı 500 milyonun üzerindedir. Ortaya konan bu gerçek, kaya saplamalarının yalnız mühendislik uygulamaları açısından ne derece anlamlı olduğunu belirtmeyip, aynı zamanda kaya saplamaları ile yapılan uygulamalarda emniyet ve ekonominin ne derece önemli olduğunu da yansıtmaktadır.

Kaya saplamaları ile ilgili ilkeler, uygulamaları ve değişik kaya saplamalarının değerlendirilmesi konusunda bir çok yayın yapılmıştır. Adı geçen yayınların en

önemlilerinden bazıları bu bildirinin kaynaklar bölümünde verilmektedir (2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11). Ayrıca, "Abisko-1983, Birinci Uluslararası Kaya Saplama Konferansı" sırasında 19 ayrı ülkeden 56 bildiri sunulmuştur. Konferanstaki yayınlar bu daldaki en son gelişmelerden pek çok güzel örnek vermektedir (2,12).

2.1. Kaya Saplama Türleri

Kaya saplama yapılmış oldukları malzemeye, çalışma prensiplerine ve kaya kütlesi içerisine yerleştirme şekillerine göre sınıflandırılmaktadır. Yeraltı uygulamalarında kullanılan belli başlı kaya saplama türleri şunlardır:

- Mekanik Ankrajlı (kama veya genişleme başlıklı),
- Dolgulu (reçineliyadaçimentolu),
- Birleşik tip (mekanik ankrajlı ve dolgulu birlikte),
- Sürtünmeli (Spüt Set ve Swellex),
- Kaymalı (yieldable),
- Tavan giriş tipi (roof truss),
- ~ Çelik halat tipi,

Kaya saplama türleri kaya kütlesi içine yerleştirme yöntemine göre, "gerdirmeli" ve "gerdirmesiz" olarak da adlandırılmaktadır.

2.2. Kaya Saplama Türleri ile İlgili İlkeler

Yeraltında yapılan kazı sonucunda yaratılan boşluk bu bölgede önceden var olan arazi gerilmelerini değişime uğratmakta ve tabaka deformasyonunun artmasına paralel olarak azalarak yeni bir dağılım göstermektedir. Yatan lan boşluğun duraylılığını sağlamak için kullanılan tahkimat direkleri üzerinde zamanla ve tabaka deformasyonunun etkisiyle kaya kütlesi yükleri olmaya başlamakta ve bu durum tahkimatın kaya kütlesi yüklerini dengelemesine kadar devam etmektedir (tahkimat yeterli olduğu takdirde). Bu durumda, kullanılan demir bağ veya ağaç tahkimatın amacı tabaka yüklerine karşı bir direnç yaratmak ve sonunda bu yükü dengelemektir. Kaya saplama türleri ile tahkimatta ise durum daha değişiktir. Kaya saplama türleri kullanılarak tavan sağlamlaştırılmakta ve tabakalara kendi kendini tutabilme özelliği kazandırılmaktadır. Tabaka deformasyonu ve tahkimatın işleyişi en güzel şekilde "kaya kütlesi ve tahkimat etkileşim" analizleriyle (kayaç karakteristik ve tahkimat tepki eğrileri) açıklanmaktadır.

Kaya saplama türlerinin tavan tahkimatını nasıl sağladığı ve bu olayın işleyişi çeşitli araştırmacılar tarafından aşağıda sayılan ilkelerin ışığında açıklanmıştır:

- askıya alma (suspension)
- sürtünme yaratma (friction action)
- giriş oluşturma (beam building)
- doğal kemer oluşturma (forming natural arch)

- anahtarlama (keying)
- sıkıştırma (compression)
- "doğal kemer" ve "tavan kemeri" oluşturma (forming ground arch and roof arch)
- iyileştirme (increasing rock-mass quality)

Açıkça görülmektedirki, kaya saplamalarının tavanı nasıl tahkim ettiği konusunda değişik fikirler mevcuttur. Gerçekte, yerinde ve doğru kullanıldıkları takdirde, saplamaların tavanın kalitesini iyileştirdiği oldukça açıktır, örneğin, zayıf bir kaya kütlesi tahkimattan sonra mukavemeti ve elastik modülü daha yüksek olan sağlam bir kaya gibi davranmakta ve tabaka deformasyonu azalmaktadır. Bunun yanısıra, yukarıda sayılan ilkelerin birkaçının aynı anda oluşması olasılığı da oldukça yüksektir. Tavan taşı tabakalı ve eklemli olan bir galerinin üzerinde İki ayrı kemerin oluştuğu değişik araştırmacılar tarafından gösterilmiştir (13, 14, 15). Galerinin üzerindeki tabaka ağırlığının büyük bir kısmı doğal arazi kemerinin oluşmasıyla, galerinin yanlarındaki topuklara transfer olmaktadır. Yazara göre, arazi kemerinin altındaki gevşemiş bölgenin duraylılığı galerinin üzerinde oluşan ikinci tavan kemerinin varlığının devamına bağlıdır. Kaya saplamaların asıl görevi bu devamlılığı sağlamaktır. Anahtarlama nedeniyle süreksizlikler üzerinde blok hareketi önlenecektir; sürtünme yaratıldığı için tabakaların yatay hareketlerine engel olunacaktır, sıkıştırma yapıldığı için (gerdirmeli saplamalarda) tavan kemeri bağımsız hareket edemeyecek tek bir giriş gibi hareket edecektir. Kaya saplamaları yerleştirildikleri delik boyunca kaya kütesine yatay kuvvet etki ettireceklerinden tavanda takviye edilmiş bir giriş oluşturulacaktır. Son olarak da gevşemiş bölgede yaratılan kaya yükünü doğal kemer içinde bulunan sıkıştırılmış (compression) ve duraylı zonlardan askıya alarak tavanın tahkimatını sağlamış olacaktır.

2.4. Ankraj Testleri, Ölçme Sistemleri ve Yeni Gelişmeler

Kaya saplamalarının etkinliğini ve davranışlarını belirlemek için arazi ve laboratuvarında kullanılan en yaygın yöntem "akoraj yük-taşıma" (çekme) testidir. Bu testler ilgili olarak Uluslararası Kaya Mekaniği Derneği tarafından Standard test yöntemi önerilmiştir. Yük-taşıma testlerinin yanısıra "ankraj-verimlilik" (gevşeme) ve "devirli-yükleme" (yükleme-boşaltma) deneyleri de yapılmaktadır. Ayrıca, reçneli veya çimentolu saplamaların etkinliğini belirlemek için saplama ile birlikte karotlar alınarak bu numuneler incelenmektedir. Son birkaç yıl içerisinde İse tahkimatı ve kaya kütesini zedelemeyen uygulanan sonik test yöntemleri geliştirilmiştir. Akustik yayılma (acoustic emission) tekniği son yıllarda kaya saplamalarının etkinliğinin belirlenmesinde kullanılmaktadır.

Kaya saplamalarının ve saplamalı kaya kütlelerinin davranışlarını incelemek için birçok alet ve ölçme sistemleri geliştirilmiştir. Bunlardan en önemlileri: üzerine birim-deformasyon ölçer takılmış kaya saplamaları, konverjans ölçerler, delik içerisinde yerleştirilmiş extensometreler, çeşitli yük ölçerler, akustik gerilme Ölçerle-

ri, ultrasonik bağ-etkinliği ölçerleri ve delik içi gözetleme aletleridir. Bu sistemlerin özellikleri ve çalışma prensipleri literatürde incelenmiştir (16). Ölçme sistemleri konusundaki en son gelişme, veri toplamak için kullanılan bir mikro-bilgi sayan da içeren otomatik arazi ölçüm ve kapsamlı kaya-saplaması kontrol sistemidir. Bu konuda detaylı bilgi "Abisko-1983, Birinci Uluslararası Saplamacılık Konferansı"nin bildiriler kitabında yer almaktadır. Bu bildirimlerin taranması sonucu ortaya konan ve kaya saplamaları ile ilgili diğer yeni gelişmeler ve önemli kavramlar aşağıda sıralanmıştır:

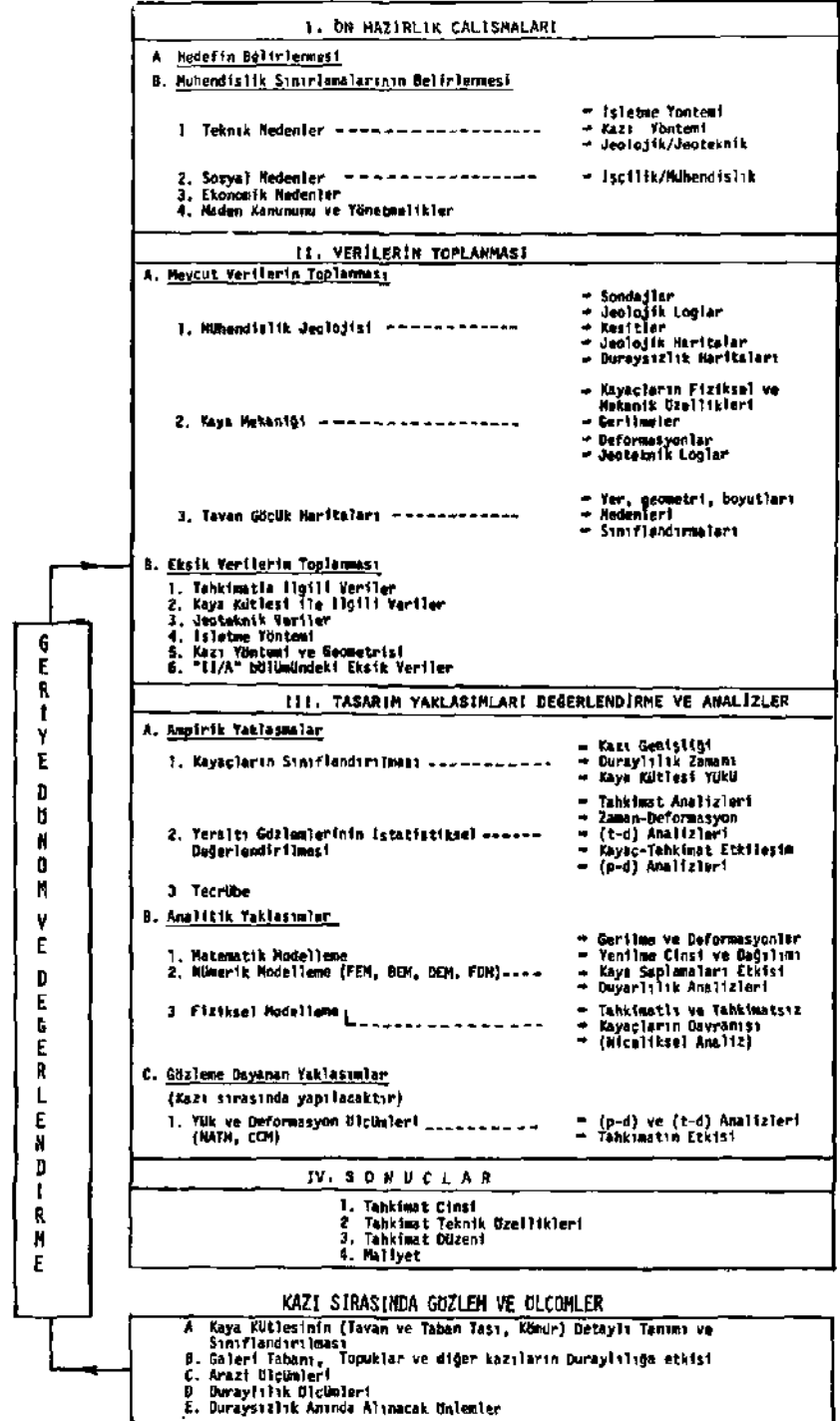
- blok teorisi,
- karışık malzeme teorisi,
- limit konverjans eğrisi hesabı,
- giriş eşitlikleri,
- deformasyon kriteri,
- eklem birim deformasyon kriteri,
- kaya saplamaları için değişik gerilme analizleri,
- nümerik analizlerde değişik "yenilme" kriterleri,
- tahkimatlı ve tahkimatsız kaya kütlelerinin karakteristik eğrileri,
- kaya kütlesi ve saplamanın birbirine göre eğilmezlik dereceleri (rigidity),
- saplama-çimento (veya reçine) ve çimento-kayaç arasındaki kohezyon,
- delme, ankorlama ve çimentolama teknikleri, çimento-reçine özellikleri,
- saplamalarının kısa ve uzun vadeli davranışlarının boyutlandırılması,
- kaya saplamaları ile tahkimat tasarımında kaya kütlesi sınıflandırma sistemlerinin kullanılması
- başlıca modellemeopsiyonları,
- kaya saplamalı kaya kütlesi için "elasto visko-plastik" model,
- kaya saplamalı visko-elastik kaya kütlesi için üç elemanlı geolojik model,
- kaya saplamaları tasarımından pratik kurallar,
- kaya saplamaları ile tahkimat ve ekonomik analizler,
- kaya saplamaları ile ilgili analitik çalışmalarda kullanılan bilgisayar programları (Bemba, Bombolt, Unika, Beams) ile ilgili bilgiler,

Bildirinin bundan sonraki bölümünde kömür madenciliğinde galeri tasarımı ve safhaları anlatılacaktır.

3. KÖMÜR MADENCİLİĞİNDE GALERİ TAHKİMAT TASARIMI VE SAFHALARI

Galeri tahkimat tasarımının ana hedefi, emniyet gereksinimlerini ekonomik sınırlar içerisinde sağlayacak bir tahkimat düzeninin belirlenmesidir. Eksiksiz bir tasarım yöntemi, Şekil 1 'de gösterildiği gibi, üç ana safhadan oluşur:

- 1) ön tasarım
- 2) kazı sırasında gözlem ve ölçümler
- 3) geriye dönüm ve tekrar değerlendirme



Şekil 1. Galerilerde tahkimat tasarımının safhalarını gösteren basitleştirilmiş bir şema.

3.1. Ön Tasarım Safhası

Dört aşamada gerçekleştirilir. Bunlar "ön hazırlık çalışmaları", "verilerin toplanması", "değerlendirme ve analizleri", ve son olarak da "sonuçlar" yani tasarım çıktılarının hesaplanması aşamalarıdır. Tasarımın sağlıklı olabilmesi, güvenilir veriler toplanması şartına bağlıdır. Analizler sonucunda ortaya uygulamadaki mühendisin istediği somut bilgiler konmalıdır. Bu isteklerin ne olduğu oldukça açıktır, örneğin, galerilerde kaya saplamaları ile tahkimat tasarımı yapılıyorsa uygulamadaki mühendisin istedikleri şunlar olacaktır:

- saplamanın cinsi,
- teknik özellikleri (uzunluk, çap, kapasitesi, çeliğin cinsi),
- düzeni {yerleştirme geometrisi ve sıklığı},
- gerekiyorsa yardımcı tahkimat elemanları (ağaç tahkimat, püskürtme beton, çelik hasır),
- alternatif tahkimat,
- maliyet hesapları,

Bu bilgiler eksikse, tasarımda eksik olacaktır.

3.2. Kazı Sırasında Gözlem ve Ölçümler

Tahkimat tasarımının ikinci safhasını oluşturur. Bu safhada, tasarım yaklaşımları kullanılarak yapılan "tahkimat", "zaman-deformasyon", ve "kaya kütlesi - tahkimat etkileşim" analizleri sırasında yeteri kadar açıklığa kavuşmamış ve anlaşılmamış noktaları aydınlatmak için aşağıdaki belirtilen çalışmaların yapılması gerekir:

- ön tasarım sırasında kullanılan verilerin kazı sırasında elde edilenlerle karşılaştırılması,
- kaya kütlelerinin detaylı tanımı ve yeniden sınıflandırılması,
- galeri civarındaki diğer yapı elemanlarının ve kazıların galeri duraylılığına etkisinin incelenmesi,
- arazi gerilme Ölçümlerinin yapılması,
- tahkimat ve kaya kütlesi duraylılık ölçümlerinin (yük, deformasyon, konverjans) yapılması,
- duraylılık anında alınacak önlemlerin belirtilmesi,

"Kazı sırasında gözlem ve ölçümler" safhasında olaylara ve sonuçlara gerçekçi ve yeterli yorumlar getirmek, tasarımı yapan mühendisin en Önemli görevlerinden biri olmaktadır.

3.3. Geriye Dönüm ve Tekrar Değerlendirme

Tahkimat tasarımının üçüncü ve son safhasıdır. Tasarımla ilgili nihai kararların verilebilmesi için ön tasarım safhasındaki eksik verilerin kazı sırasında gözlem ve

ölçümler safhasında tamamlanması, önceden yapılan varsayımların gerçek değerlerle değiştirilmesi ve ilk iki safhada elde edilen sonuçların tecrübe ve mühendislik kararları ile sağlamaştırılması gerekir. Bu nedenle, tasarım sürecini tamamlayabilmek için daima geriye dönüm safhası devreye sokulmalıdır.

4. GALERİLERDE KAYA SAPLAMALARI İLE TAHKİMAT TASARIMI

Bu bölümde, galerilerin tahkimatında kullanılacak mekanik ve reçineli ya da çimentolu kaya saplamalarının seçimi ve tasarımı için geliştirilmiş olan bir yöntem (11) anlatılacaktır. Bu yöntemde ampirik tasarım yaklaşımları kullanılmaktadır. Jeomekanik Sınıflandırma Sistemi'nden (3) faydalanılarak kaya kütlesi yükleri bulunmakta ve yeraltı gözlemlerinin istatistiksel değerlendirilmesi sonucu elde edilen eşitliklerden faydalanılarak tahkimat analizleri yapılmaktadır. Hesaplarda dikkate alınan diğer veriler, kullanılan malzeme Özelliklerinden ve yerinde deney sonuçlarından elde edilmektedir. Bu nedenle, anlatılan tasarım yönteminin herhangi bir ocaktaki galeriye uygulanabilmesi için ön verilerin (girdilerin) bölgesel olarak seçilmesi ve kullanılan standard malzeme özelliklerinin gözönüne alınması gerekir.

Kaya saplamaları ile tahkimat tasarımı yönteminin uygulanması sırasında aşağıda verilen eşitlikler kullanılmaktadır:

Mekanik Kaya Saplamaları İçin

$$\begin{aligned}
 \text{Kaya-Yükü} \quad \text{Yüksekliği} \quad (\quad & : h_t = \left(\frac{100 - \text{RMR}}{100} \right) B & [1] \\
 \text{Saplama Boyu} \quad (\quad \text{m} & : L_b = 0.65 h_t & [2] \\
 \text{Saplama kapasitesi} \quad (\quad \text{t} & : C_b = L_f \text{ ya da } L_y & [3] \\
 & \text{(küçük olanı kullanılacaktır)} \\
 \text{Saplama Aralığı (m)} & : S_b = \sqrt{\frac{C_b}{1.5 \gamma h_t}} & [4]
 \end{aligned}$$

Reçineli ya da Çimentolu Saplamalar İçin

$$\begin{aligned}
 \text{Kaya-Yükü Yüksekliği (m)} & : \text{Eşitlik (1)} \\
 \text{Reçine (Çimento) Uzunluğu (m)} & : L_r = \sqrt{\frac{\gamma B^2}{2\sigma_h}} h_t & [5] \\
 \text{Saplama Uzunluğu (m)} & : L_b = L_r & [6] \\
 \text{Ankraj Yenilme Yüğü (ton)} & : L_f = \frac{L_r}{BF} & [7]
 \end{aligned}$$

Burada;

B : Galeri Geniřlięi (m)

BF: Reęine Bağ Faktörü (cm/ton); bak Ek-1, izelge E-4

Lf : Ankraj Yenilme Yüku (ton); yerinde deneylerden ya da bak Ek-1, izelge E-3

Ly: Saplama elięinin Yenilme Yüku (ton); kullanılan malzeme standartlarından, ya da bak Ek-1, izelge E-1 ve E-2.

RMR: Jeomekanik Sınıflandırma Sisteminde Kaya-Kütlesi Kalitesi Belirteci

7 : Kayanın Birim Hacim Ağırlığı (kN/m³)

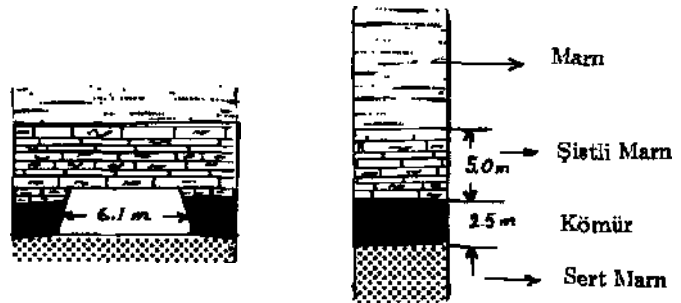
oh: Yatay Arazi Gerilmesi (MPa)

Kaya saptlamalarının ağağ tahkimatla birlikte kullanılması alternatifini yer kısıtlaması nedeniyle bu bildiriye dikkate alınmamıştır. Tahkimat analizleri ve maliyet hesapları sırasında bu husus incelenmelidir. Bildiriye anlatılan tasarım yöntemi kullanılarak, değişik genişlikteki galeriler için tahkimat tabloları hazırlanmıştır. Bu tablolar ve tahkimat yöntemi ile ilgili diğer açıklama örnekleri daha önce yayınlanmıştır (11,17,18).

5. GALERİLERDE KAYA SAPLAMALARI İLE TAHKİMAT TASARIMI-UYGULAMALI ÖRNEK

6.0 metre genişliğinde açılacak olan bir galeri için mekanik ve reçineli kaya saptlamaları ile tahkimat tasarımı yapılacaktır. şekil 1, verilen yapısal kolon tabakalarının durumunu ve galerilerin boyut ve geometrisini göstermektedir.

Arazide yapılan gözlemler, kaya mekaniği laboratuvar deneyleri sonuçları ve toplanan diğer veriler izelge 1 'de verilmektedir.



şekil 1. Yapısal kolon tabakalarının durumu ve galerinin boyut ve geometrisi.

Çizelge 1 — Kaya Mekaniği, Laboratuvar Deney Sonuçları

VERİLER		KÖMÜR	ŞİSTLİ MARN	MARN
Yüzeyden Derinlik (m) (alt kot)	H	185	180	150
Kalınlık (m)	t	2.5	5	30
Birim Hacim Ağırlık (kN/m ³)	γ	12.5	25.1	26.7
Basma Dayanımı (MPa)	σ_c	15	35	65
Young Modülü (GPa)	E	6.2	15.5	24.0
Poisson Oranı	r	0.25	0.30	0.35
Yeraltı suyu durumu	—	Rutubetli	Rutubetli	Rutubetli
Arazi Yatay ve Düşey Gerilme Oranı (K)	σ_V/σ_H	1/3	1/3	—
Ankraj Yenilme Yüğü (ton)	Ly	—	Mekanik = 7.5 Reçineli = ?	—
			● Tabakaların ortalama kalınlığı 180 mm	● Tabakaların ortalama kalınlığı 1,5m
Tavan Tabakalarının Durumu	—	—	● Ayrışma < / mm az aşınmış az pürüzlü yüzeyler dolgu yok	● Ayrışma ve aşınma şistli marn gibi pürüzsüz
			● RQD ≈ % 55	● RQD ≈ % 78

Çözüm

Verilen problemin çözümü yedi aşamada yapılacaktır.

Aşama — 1 : Şekil 1 'de gösterilen tasarım safhalarını izleyerek sorunun genel bir değerlendirmesini yapınız.

I. ÖN HAZIRLIK ÇALIŞMALARI

A. Hedef : 6.1 m genişliğindeki galeri tavanının kaya saplamaları ile tahkimatı

B. Sınırlamalar:

- (i) Kazı Yöntemi: Delme patlatma
- (ii) Galeri Açıklığı: Sabit, değiştirilemez
- (iii) Saplamalar: Mekanik ve reçineli, standard boylarda mevcut.
- (iv) Başka sınırlama yok.

II. VERİLERİN TOPLANMASI

A. Mevcut Veriler:

- (j) jeolojik harita
- (ii) $k = 1/3$ varsayılıyor, mümkünse arazi deneyleri ile belirlenmelidir.
- (iii) ocakta yeraltı şartları izlenebilir.

B. Tamamlanan Veriler

- (i) Tahkimatla İlgili Veriler
Mekanik Saplama: $L_f = 7.5$ ton (arazide ölçülen)
 $L_y = Ek-I$, Çizelge E-1/E-2
Reçineli Saplama: $L_f =$ Arazi ölçümü yok.
Çizelge E 4 kullanılacak. Daha sonra arazi ölçümleriy-le belirlenmesi gerekir.
- (ü) Kaya Kütlesi ile İlgili ve Diğer Veriler
Çizelge I'de veriliyor, (bu bilgiler yoksa sondajlardan, yeraltı gözlemlerinden, yeraltı ölçümlerinden ve laboratuvar deneylerinden elde edilmelidir).

III. TASARIM YAKLAŞIMLARI VE ANALİZLER

A. Kullanılan Tasarım Yaklaşımı: Ampirik

Analizler:

1. Kaya Kütlesinin Sınıflandırılması (Aşama 2)
2. Kaya Yüğü Yüksekliğinin Bulunması (Aşama 3)
3. Tahkimat Analizleri (Aşama 4 ve 5)

Sonuçlar :

1. Tahkimat Cinsi (Aşama 4 ve 5)
2. Tahkimatın Teknik özellikleri (Aşama 4,5)
3. Tahkimat özeti (Aşama 6)
4. Tahkimat Alternatifleri ve Maliyet (Aşama 7)

Aşama — 2 : Tavan tabakasının RMR sistemine göre sınıflandırılmasını yapınız.

Bieniawsiki (1983)'ye göre aşağıdaki şekilde bulunur:

	Sayısal	Değeri
— Şistli Marnın basma dayanımı, 35 MPa		4
— Süreksizlik aralığı (Ortalama tabaka kalınlığı) 180 mm		8
— Kaya niteliği belirteci, RŞD = % 60		13
— Süreksizliklerin durumu (Çizelge 1 değerlendirildiğinde)		25
— Yeraltı suyu durumu, rutubetli		10
— Süreksizlik doğrultusu, (Yatay Tabakalaşma = Orta)		<u>5</u>
	RMR =	55
		251

Aşama - 3 : Kaya-Yükü Yüksekliğini bulunuz.

Eşitlik [1]'den:

$$h_t = \left(\frac{100 - \text{RMR}}{100} \right) B = \left(\frac{100 - 55}{100} \right) 6.1 = 2.75 \text{ m}$$

RMR değerinin bilinmediği durumlarda, eğer eldeki kayıtlarda çalışılan bölge civarında meydana gelen tavan göçükleri ile ilgili bilgi varsa, "tavan göçüğü yüksekliği" kaya-yükü yüksekliği olarak kabul edilebilir.

İstenirse, 2.75 m yükseklik için kaya kütlesi basıncı (P) aşağıdaki şekilde bulunabilir:

$$P = 7 h_t = 25.1 \times 2.75 = 69 \text{ kPa}$$

Aşama — 4: Mekanik Kaya Saplamları için Tasarım Parametrelerini hesaplayın.

(a)Saplama Boyu (Eşitlik 2'den)

$$L \sim 0.65 h_t \sim 0.65 \times 2.75 = 1.78 \text{ m} \approx 1.80 \text{ m}$$

(b) Saplama kapasitesi (Eşitlik 3'den)

(i) Ankraj yenilme yükü, (arazi deneylerinden)

$$L_f = 7.5 \text{ ton}$$

(ii) Saplama çeliğinin yenilme yükü L_y (Çizelge E-1 ve E-2'den)

(Ø)	(Ø)	(L_y)	(G)	(L_y)
16 mm	40	5.5 ton	60	8.5 ton
19 mm	40	8.0 ton	60	12.0 ton

$L_f = 7.5$ tona en yakın değer, $L_y = 8.0$ ton'dur.

O halde saplama kapasitesi ($L_f < L_y$ olduğundan):

$$Q = 7.5 \text{ ton'dur.}$$

(c) Saplama aralığı (Eşitlik 4'den)

$$S_b = \sqrt{\frac{(7.5) (9.81)}{(1.5) (25.1) (2.75)}} = 0.85 \text{ m}$$

Bu duruma göre 6 metrelik açıklık için 6 adet saplama gereklidir.

Aşama—5 : Reçineli saplamlar için tasarım parametrelerini hesaplayınız.

(a) Reçine uzunluğu (Eşitlik 5'den)

$$L_r = \sqrt{\frac{\gamma B^2}{2 \sigma_n}} \cdot h_t = \sqrt{\frac{(25.1) (6)^2}{(2) (1500)}} \quad (2.75)$$

$$L_r = 0.91 \text{ m (en az)}$$

Not: $a_n = \{0.025 H/3\}$ olarak alındı.

(b) Saplama uzunluğu (Eşitlik 6'dan)

$$l_b = L_r = 0.91 \text{ m}$$

Not: Ek-1, Çizelge E-4 dip notuna göre, saplama yerleştirme şartları gözönüne alınarak saplama boyu, 2 kat artırılarak seçilmiştir, o halde:

$$L_b = L_r = 2 \times 0.91 = 1.80 \text{ m}$$

(c) Saplama Kapasitesi, C^{\wedge} , (Eşitlik 3'den)

(1) Ankraj yenilme yükü, L_f , (Eşitlik 7'den)

$$L_f = L / BF$$

	L_r (m)	BF(cm/ton)	Lit(ton)	L^{\wedge} (ton)
G-60,0 = 19 mm Çelik için \Rightarrow	0.91	5.25	17.3	12.0
G-60,0 = 25 mm çelik için \Rightarrow	0.91	4.19	21.7	21.5

{BF, Çizelge E-4; L_r , Çizelge E-2'den alınmıştır.}

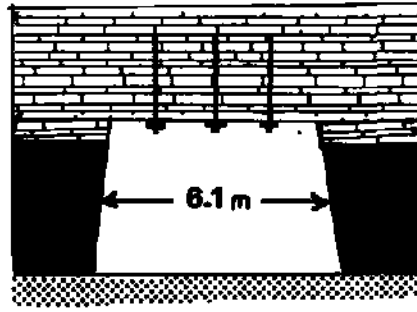
Bu duruma göre $\phi = 25$ mm, G-60 ve $C_p = 21$.S ton seçilmiştir,

(d) Saplama aralığı (Eşitlik 4'den)

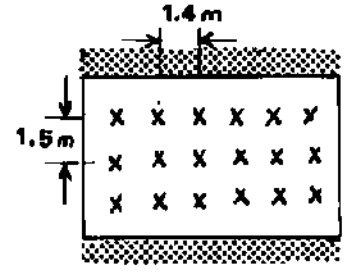
$$S_b = \sqrt{\frac{C_b}{S_p \gamma h_t}} = \sqrt{\frac{21.5 \times 9.81}{1.5 \times 25.1 \times 2.75}} = 1.42 \text{ m}$$

O halde saplama düzeni 1.5 m x 1.4 m olarak seçilebilir.

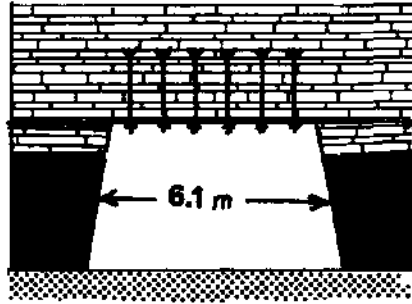
Aşama — 6 : Tahkimat özetini (Şekil 2) çıkarınız.



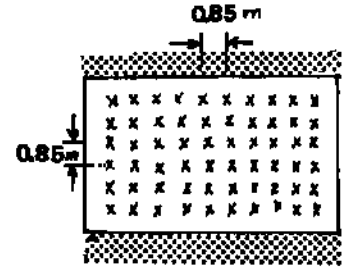
En Kesit



Plan Görünüş



En Kesit



Plan Görünüş

Mekanik Saplamlar

L : 1.80 m.
C_b : 7.5 ton
φ_b : 19 mm
G : 40
S : 0.85 m
 Düzen = 0.85x0.85 m

Reçineli Saplamlar

L : 1.80 m
C_D : 215 ton
φ_D : 25 mm
G : 60
 Düzen = 1.5 x 1.4 m

Şekil 2. Tahkimat özeti.

Aşama — 7 : İrdelenen tahkimat türlerinin ekonomik analizlerini yapınız.

Toplam saplama maliyeti = İlk maliyet + nakliyat + depolama + yerleştirme + enerji + kayıplar + yerleştirme makinası şarjı (\$ 4)

olarak kabul edilmiştir. Ekonomik analizler Aşama - 6'da belirtilen özelliklerdeki kaya saplama için yapılmıştır.

Mekanik Kaya Saplama = 19 \$ x 600 = 11 400 TL/saplama

Reçineli Kaya Saplama = 25 \$ x 600 = 15 000 TL/saplama

Metre Başına Maliyet

Mekanik Kaya Saplama = 80 500 TL/m

Reçineli Kaya Saplama = 32 150 TL/m

Kaya saplama yardımcı tahkimat elemanlarıyla birlikte kullanılması durumu, yer kısıtlaması nedeniyle bu bildiride dikkate alınmamıştır. Mekanik saplama tahkimat, aynı şartlar altında duraytlık sağlayacak reçineli tahkimata oranla 2.5 defa daha pahalıdır. Demir bağlarla tahkimatın metre maliyeti aynı şartlar altında ve iyimser bir tahminle 160 000 TL. olduğu düşünülürse, kaya saplama kullanarak yapılacak tahkimatın ne derece ekonomik olduğu açıkça görülmektedir.

Bölüm 5'de uygulamalı bir örnekle anlatılan ön tasarım safhasından sonra, "kazı sırasında gözlem ve ölçümler" ve "geriye dönüm" safhalarının da dikkate alınması ve tasarım devrinin eksiksiz tamamlanması gerekmektedir.

6. SONUÇ

Bu bildiride kaya saplama, uygulamaları ve bu konudaki gelişmelerin genel bir değerlendirilmesi yapılmış ve galerilerde tahkimat tasarımı ve safhaları ana hatlarıyla anlatılmıştır. Bu ana hatların doğrultusunda kaya saplama için geliştirilmiş olan bir tasarım yöntemi uygulamalı bir örnekle açıklanmıştır. Kaya saplama ve tekniğinin ülkemiz madenciliği için ne derece önemli olduğu konunun değişik yönleriyle ortaya konulmuştur.

KAYNAKLAR

1. PANEK, L.A. and McCORORMIC, J.A., "Roof-Rock Bolting", SME Mining Engineering Handbook, Cilt 1, AIME, New York, pp 13-125: 145, 1973.
2. ———, International Symposium on Rock Bolting, Proceedings, Abisko, Sweden, A.A. Balkema, 1983.

3. BIENIAWSKI, Z.T., Design Procedures for Coal Mine Tunnels, Final Report, Grant No-G1115425, to Bureau of Mines, Penn. State. Univ., 47 PP 1983.
4. FAIRHURST, C. and SINGH, B., "Roof Bolting in Horizontally Laminated Rock", Eng. and Min.J., Feb., pp 80-90, 1974.
5. FARMER, I.W., PRICE, A.M. and ATKINS, W.S., "Design of Tunnels in Coal Measure Rocks," Proc. Eurotunnel'80, The Inst. of Min. and Metall., pp, 13-27, 1980.
6. GERDEEN, J.C., SNYDER, V.W. ve Arkadaşları, Design Criteria for Rock Bolting Plans Using Fully Resin-Grouted Non-tensioned Bolts to Reinforce Bedded Mine Roof, Final Report, NTIS, PB80-180069, Vol (I-V), Michigan Tech. Univ., 1977.
7. LANG, T.A., BISCHOFF, J.A. and WAGNER, P.L., "a Program Plan for Determining Optimum Roof Bolt Tension, Theory and Application of Rock Reinforcement Systems in Coal Mines", Final Report, NTIS, PB80-179195, 1979.
8. PENG, S.S. and TANG, D.H.Y., "Roof Bolting in Underground Mining: A State of the Art Review," Int. J. of Mining Engineering, Vol. 2, pp 1-42, 1984.
9. SCOTT, J.J., "Interior Rock Reinforcement-A State of the Art Discussion of Alternative Support Devices," Eng. and Min.J., September pp. 79-91, 1980.
10. SNYDER, W.V., GERDEEN, J.C. and VIEZELHAN, G.L., "Factors Governing the Effectiveness of Roof Bolting Systems Using Fully Resin-Grouted Nontensioned Bolts", Proc, 20th U.S. Symp. on Rock Mech., Austin, Tx, pp 607-614, 1979.
11. ÜNAL, E., "Development of Design Guidelines and Roof Control Standards for Coal-Mine Roofs," Doktora Tezi, The Penn. State Univ., 355 pp, 1983
12. ÜNAL, E., "Symposium Report-International Symposium on Rock Mechanics, Abisko, Sweden, 1983," Journal of Rock Mechanics and Engineering, Vol. 17, No. 2, April -June, pp 121-122, 1984.
13. COX, R.M., "Why Some Bolted Mines Fail," Trans., SME-AIME, Vol. 256, No. 2, June pp 167-171, 1973.
14. LANG, T.A., BISCHOFF, J.A., Research Study of Coal Mine Rock Reinforcement, NTIS, PB82-218041.224 pp, 1981.
15. VOEGELE, M.D., Rational Design of Tunnel Supports: An Interactive Graphics Based Analysis of the Support Requirements of Excavations in Jointed Rock Masses, Technical Report, GL-79-15, 516 pp, 1979.
16. NORRIS, C. and YEARBY, M., "The Choice of Support Available," The Australian IMM, Roof Support Coloquium, September pp 4/1-17, 1980.
17. BIENIAWSKI, Z.T., "Tunneling in Coal Mines-Designing Development Entries for Stability" 2nd International Conference on Stability in Underground Mining, August, Lexington, KT, pp3-22, 1984.
18. BIENIAWSKI, Z.T., "Rock Mechanics Design in Mining and Tunneling," A.A. Balkema Publishers, Netherlands, 268 pp, 1984.

E K - 1

KAYA SAPLAMALARI İLE TAHKİMAT TASARIMI VERİLERİNİN
HESAPLANMASINDA KULLANILAN MALZEME ÖZELLİKLERİ İLE İLGİLİ
ÇİZELGELER

Çizelge E.1 - G-40 Çeliğinin Teknik Özellikleri

Çap </> (mm)	Yenilme Yuku Ly (ton)	Kopma Yüğü L^ (ton)
16	5.6	9.9
19	8.0	14.0
22	10.9	19.0
25	14.4	25.1
29	18.2	33.8
35	28.4	49.6

Çizelge E2 - G-60 Çeliğinin Teknik Özellikleri

Çap 0 (mm)	Yenilme Yüğü Ly (ton)	Kopma Yüğü L^ (ton)
16	8.5	12.7
19	12.0	18.0
22	16.4	24.5
25	21.5	32.3
29	27.3	40.9
35	47.5	63.6

Not G - 40 Çeliği Yenilme Mukavemeti $\hat{=}$ 276 MPa
G - 60 Çeliği Yenilme Mukavemeti £ 414 MPa

Çizelge E-3 — Mekanik Kaya Saplamaları İçin Önerilen Ankraj Yenilme Yükları

RMR	Ankraj Yenilme Yüklü (ton)
100	12.7
90	10.9
80	10.0
70	9.1
60	8.2
50	7.3
40	6.4
30	5.5
20	4.6

Çizelge E4 — Reçineli Kaya Saplamaları İçin Önerilen Bağ Faktörleri(*) (3 mm et kalınlığı ve pürüzlü delikler için)

Kayanın Basma Dayanımı σ_c (MPa)	Bağ Faktörü BF (cm/ton)	Gerekli Cap	
		Saplama ϕ_b (mm)	Delik ϕ_d (mm)
3.0 - 10.0	10.48	19	25
Çamurtaşı	8.38	25	32
(Silttaşı)	6.99	32	38
10.0 - 25.0	6.99	19	25
kömür	5.59	25	32
(Yumuşak Şeyi)	4.67	32	38
25.0 - 70.0	5.25	19	25
Sert şeyi	4.19	25	32
(Kireçtaşı)	3.49	32	38
Kumtaşı			

(*) Pürüzsüz delikler için bağ faktöründe emniyet katsayısının 2 olarak alınması, diğler bir anlatımla daha uzun saplamalar kullanılması önerilir.