

# ELİ SOMA BÖLGESİ YERALTI OCAKLARINDA TAVAN SAPLAMALARININ UYGULANABİLİRLİĞİ

Mehmet DOKTAN (\*)  
Yavuz Selim İNCİ (\*\*)  
Ömer AYDAN (\*\*\*)  
Andrew SZEKI (\*\*\*\*)  
Toshikazu KAWAMOTO (\*\*\*\*\*)

## ÖZET

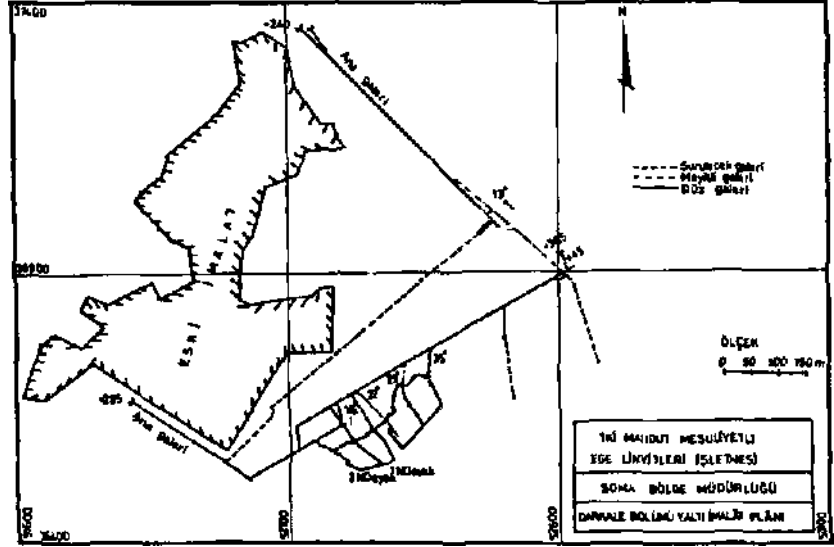
*Bu çalışmada, ELİ Soma Bölgesi yeraltı ocaklarında tavan saplamalarının uygulanabilirliği araştırılmıştır. Çeşitli tip saplamalar incelenmiş, kayacın jeoteknik özellikleri belirlenmiş ve galeri tavanının "Düzlemsel Kemer" olarak kabul edilmesi gerçeğine erişilmiştir. Saplamaların fiziksel ve ekonomik olarak uygulanabilirliği ortaya çıkarılmıştır.*

## ABSTRACT

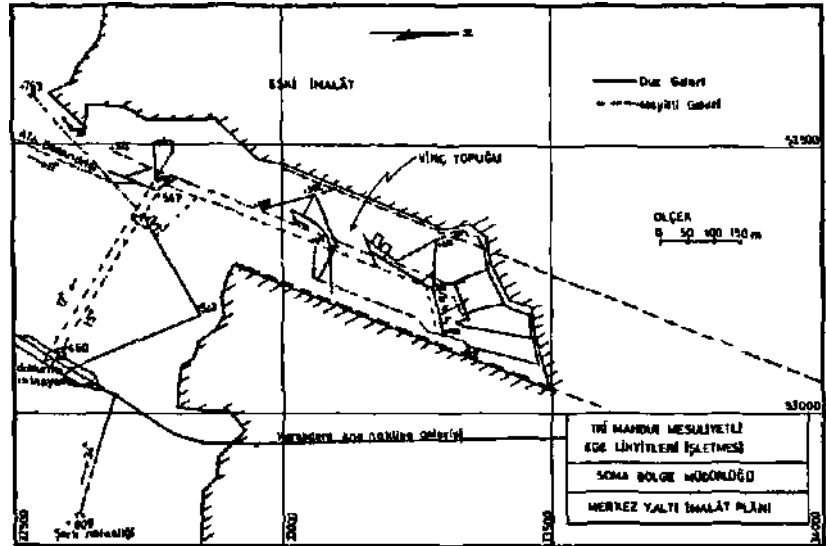
*In this study, the applicability of roof bolts in the underground pits of Soma Region, ELİ has been investigated. Various kinds of roof bolts were elaborated, geotechnical properties of rocks were determined and the behaviour of the roof of gallery could be considered as a linear arch was reached. It has been inferred that the applicability of roof bolts are economically and physically feasible.*

<\*) Dr. Mad. Muh., ELİ Müessesesi, SOMA.  
(\*\*) Mad.Muh., ELİ Soma Bölgesi, SOMA.  
{\*\*\*} Mad.Yük. Muh., Nagoya Univ., JAPONYA.  
(\*\*\*\*) Mad. Müh., Newcastle Upon Tyne Univ., İNGİLTERE.  
(\*\*\*\*\*)<sub>Dr></sub> Prof. Dr. Muh., Nagoya Univ., JAPONYA.





Şekil 2. Darkale bolumu imâlat plânı.



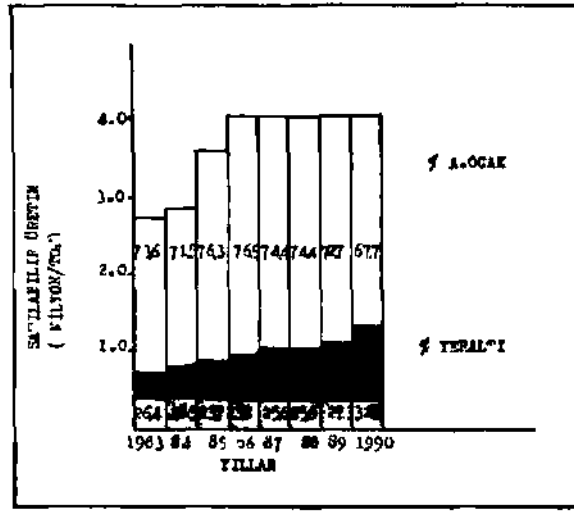
Şekil 3. Merkez ocak imâlat plânı-

## 1.2. İşletme Metodu ve Üretim Programı

Damar tabanını kil-kum-grovak gibi yumuşak formasyonlar oluşturduğundan ocak hazırlıkları dayanımı İyi olan tavan taşı marında oluşturulmaktadır. Üretilen panoya, uygun kotlardan desandre ya da galeriler sürülerek ulaşılmaktadır.

Damar tavanından 40-50 m uzakta ve birde tavantaşı-kömür kontağında damar doğrultusuna paralel galeriler sürülür. Tavandaki galeriden kömür tavanını takiben başyukartlar çıkarılır, bu başyukartlardan 5'er metrelik dilimler oluşturacak şekilde, yatay rekuplar sürülerek ayaklar oluşturulur. Boyları 75 - 100 m arasında değişen ayaklarda 5 m kalınlığındaki dilimin 2 m si aynadan 3 m si de ayak arkasından göçertilerek üretim gerçekleştirilir.

DPT 1984 - Temmuz Enerji raporuna göre, 1989 yılında Türkiye'nin kömür ihtiyacının 63 milyon ton civarında olacağı tahmin edilmiştir. ELİ - Soma Bölgesi üretimi (Şekil 4) ise yaklaşık 4 milyon ton civarında olacaktır.



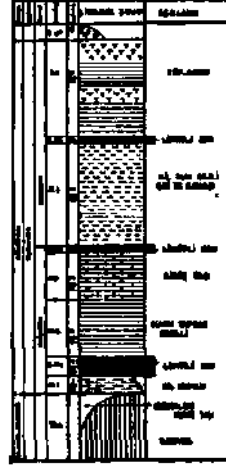
Şekil 4. ELİ Soma Bölgesi üretim durumu.

### 13. Stratigrafi

Havzanın temel kay açlarını Paleozoik yaşlı grovak ve Mezozoik yaşlı kristal İze kireç taşları oluşturur. Bu temel üzerinde Miosen ve Pliosen yaşlı Neojen kömürlü seriler diskordan olarak yayılım göstermektedir. KM<sub>2</sub> olarak bilinen 25 m kalınlığa erişen ana damar Miosen serisinde killi-kumlu seviye üzerinde yer alır. Damar üzerinde ise Marn ve kireçtaşı yer alır (Şekil 5).

#### 1.4. Taşta Sürülen ve Sürülmesi Planlanan Galeriler

Bölge yeraltı ocaklarında halihazırda 8 750 m uzunluğunda galeri ağı mevcuttur. 1985 yılında uygulanmasına başlanılan Eyzet projesinde ve çalışmaları tamamlanmak üzere olan Işıklar projesinde, sırasıyla işletme ömürleri boyunca 13 500 ve 34 000 m uzunluğunda lağım sürülecektir. Bölgede sürülen galeri kesitleri 5-11 m<sup>2</sup> arasında değişmekte olup sürülecek galerilerde de kesit 10 m<sup>2</sup> olacaktır. Haliha-



Şekil 5. Stratigrafik kesit.

zırdaki galerilerde tahkimat G-1 110 profilden demir bağdır ve bağ aralartda, beton kama ve ağaç kamalarla tahkim edilmiştir. Bunun yanısıra, halihazırdaki galeri ağ şebekesinde tahkimat İhtiyacı göstermeyen lokasyonlarda mevcuttur (Şekil 1 ).

1985 yılında ilk 6 aylık verilere göre 410 ihzarat metre maliyeti 126 665 TL'yi bulmaktadır. Bunun, % 43,9'unu işçilik, % 33,4'ünü de tahkimat malzemesi maliyetleri oluşturmaktadır (Çizelge 1). Toplam işçiliğin % 21,2'si tahkimat yerleştirmesi için olduğu gözönüne alınırsa (Çizelge - 2), sadece tahkimat malzemesi, maliyeti ve yerleştirilmesi İçin gereken işçilik maliyetleri toplamı, toplam galeri metre maliyetinin % 43'ünü oluşturmaktadır.

Çizelge 1 — Önen-Eynez, Ana Nakliye Lağımı İlerleme Maliyeti (1,5 m)

GİDER CİNSİ	KULLANILAN MİKTAR	BİRİM FİYAT	TOPLAM FİYAT	%
Rijit Bağ (B-8)	1adet	59.685-	59.685. -	24,5
Maden Direği	0,75 m <sup>3</sup>	29.000-	21.750-	3,9
İşçilik	20 Yevmiye	5.350-	107.000.-	43,9
Enerji	500 KW	40 -	20.000-	8,2
Basıncılı Hava	10.000 m <sup>3</sup>	2 -	20.000-	8,2
GOM-IIA-1	12.500 kg.	860 -	10.750-	4,4
Milisaniyeli Kapsül »	17 adet	280 -	4.760-	1,9
TOPLAM GİDERLER			243.945-	100,0

Çizelge 2 - Zaman Etüdü (Kazı Kesiti 10 m<sup>2</sup>)

(GALERİ KESİTİ: 10 m<sup>2</sup>, İLERLEME: 1,5 m)

	ÇALIŞMA (SAAT)	(%)	YEMEK YEME HAZIRLIK (SAAT)	TOPLAM (SAAT)
Delik delme, patlatma	4,5	27,3	1,0	5,5
Pasa kaldırma	8,5	51,5	2,0	10,5
Rijit bağ tahkimatı	3,5	21,2	0,5	4,0
Bir çevrimlik çalışma toplamı	16,5	100,00	3,5	20,0

## 2. TAVAN SAPLAMALARI

### 2.1. Giriş

Yeraltı madencilik çalışmaları sırasında açılan her türlü boşluk yerel yerkabuğu doğal gerilme dengesini bozarak açılan boşluk civarında gerilim değişmelerine yol açar. Bu gerilme değişimleri sonucu, açılan boşluğun tahkimatsız durabilmesi ya da gereksinim duyulan tahkimat türü; açılan boşluğun şekline, büyüklüğüne, derinliğine, kazının yapıldığı kayacın mekanik özelliklerine, kaya içerisindeki süreksizliklerin, çatlak takımlarının sıklığına, yön doğrultu ve eğimlerine, yeraltı hidrojeolojik konum gibi faktörlere bağlıdır.

Tahkimat sistemleri üzerinde yapılan çalışmalar maliyet ve emniyet açısından tavan saplamalarının madencilik alanında daha geniş kullanım alanı bulacağına işaret etmektedir.

Tavan saplamalarının kullanımına İngiltere'de 1872 yıllarında başlanıldığı bilinmekle birlikte, bu tekniğin gelişmesi ve tavan saplamalarının tarihçesi ve uygulamaları hakkında bilgi çeşitli kaynaklarda verilmiştir {1,2, 3,4, 5,6}.

Tahkimat amacıyla kullanılan tavan saplamalarının şu ana avantajları vardır:

- Basit, süratli ve ucuzdur,
- Geçici veya devamlı tahkim amacıyla kullanılabilir,
- Kazı kesit alanını azaltmaz,
- Diğer tahkimat sistemleriyle uyumlu kullanılabilir,
- Tamamen mekanize etmek mümkündür,
- Havalandırmaya karşı diğer tahkimat metodlarına göre daha az direnç gösterir,
- Aynada yapılacak patlatmalardan veya nakliyat sistemindeki aksaklıklardan etkilenmez,

- Tahkimat yanıcı değildir,
- Tahkimat malzemesi nakliyesi kolay ve ekonomiktir,
- Galeri açma makinelerinin ilerleyişine kolaylıkla ayak uydurur,
- Aktif tahkimat basıncı uygulayabilir.

Bugün dünyada yılda yaklaşık 250 milyon adet saplamanın kullanıldığı ve bu amaç için 1,5 milyar Amerikan Doları (yaklaşık 750 milyar TL) harcandığı rapor edilmektedir (7).

Ülkemizde de tavan saplamaalarının madencilikte kullanılabilirliği üzerinde çeşitli çalışmalar yapılmış ve metal madenciliğinde pilot çapta uygulamalar başlamıştır. (Etibank, Bigadiç ve Bursa) Kömür madenciliğimizde İse ilk adım bu çalışmada özetlendiği gibi TKİ - ELİ Müessesesinin ce atılmış olacaktır.

## 2.2. Tavan Saplamaaları Tahkim Prensipleri

Tavan saplamaalarının yeraltı açıklıklarında tahkim prensiplerini şu şekilde özetlemek mümkündür.

- Saplama plâkaları veya çelik net aracılığı ile kazı yüzeyine etkin bir baskı uygulayarak tabakaların gevşemesini, gevşek olan blokların ya da tabakaların yerlerinden hareket ederek boşluğa düşmelerini engeller. Bir başka deyişle kazı yüzeyine aktif bir tahkimat basıncı uygular, böylece galeri çevresinde rahatlamış (yield zone) zonun büyümesini engeller.
- Tabakalı formasyonlarda, tabakalar arası kaymayı engelleyerek kayma direncini artırır, bu şekilde "Kiriş Teorisine" göre yekpare kiriş oluşumu ortaya çıkarak tavan deformasyonu minimuma indirilir.
- Saplamaalar, uygulandığı kayaç kütlesi içersinde ortamın Deformasyon Modülü\* -nü (Young's Modulus) artırır. Bu şekilde aynı gerilme koşulları altında formasyonun deformasyonu azalır.
- Açıklık çevresinde meydana gelen doğal kemer yapısını mukavim leştirir ve hemenecik tavan düzlemsel kemer özelliği (linear arch) gösteriyorsa yanal baskı ile ya da kayma gerilmelerinin yüksek olduğu zonlarda kayma direncini artırarak açıklık tavanı duraylılığını artırır.

Herhangi bir uygulamada bu prensiplerden hangisinin daha etken rol oynadığını belirlemek yerel koşulları analiz etmekle mümkündür.

## 2.3. Tavan Saplamaaları Türleri

Saplamaaları, mekanik ankrajlı saplamaalar, dolgulu saplamaalar, sürtünmeli saplamaalar ve karışık tip saplamaalar olmak üzere 4 ana grupta sınıflamak mümkündür.

### 23.1. Mekanik Ankarajlı Saplamlar

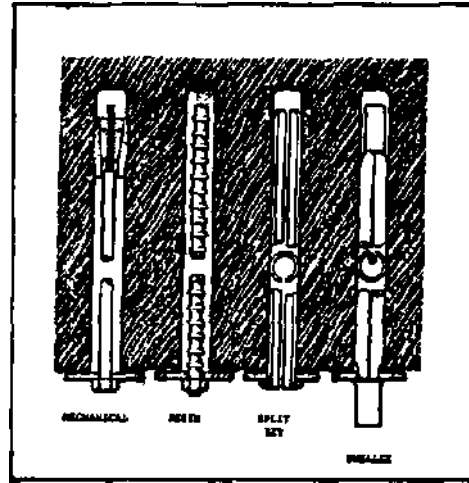
Kamalı (Wedge-slot type) ya da genişleyen kabuklu (Expansion shell type) tip olan saplamalardır (Şekil 6). Saplama başından verilen tork ya da darbe ile yerleştirilirler. 25.4 mm (1") çapında olanlar daha yaygın kullanılıp, verilen tork 19-35 m-k<sub>g</sub> arasında değişmektedir. Yumuşak çelik, sert çelik, yüksek mukavemet çeliğinden (Akma sınırı; 2320-3866-9842 kg/cm<sup>2</sup>, sırası ile) imâl edilirler. Saplamanın, nokta yük tatbik etmesinden dolayı, tek eksenli basınç dayanımı 500 kg/cm<sup>2</sup>'nin üzerinde olan sert kayalarda kullanılırlar. Genişleyen kabuk tip saplamalar halihazırda en yaygın kullanılan saplama türü olup, yılda 60 milyon adet tüketildiği belirtilmektedir (4).

### 2.3.2. Dolgulu Saplamlar

Dolgulu saplamalar, yarı dolgulu, tam dolgulu ve dolgu malzemesi olarak reçineli, çimentolu veya başka ucuz malzeme olabilmektedir. Saplama olarak, mekanik saplamalar kullanılabildiği gibi nervürlü çelik çubuklar ya da çelik halatlar kullanılabilir (Şekil 6). Saplamanın yerleştirilmesi çimento pompası ya da kapsül içersine yerleştirilmiş reçinelerle yapılabilir. Tahkimat basıncı olarak pasif basınç uygular. Dünyada yıllık yaklaşık 27 milyon adet kullanılmaktadır (4).

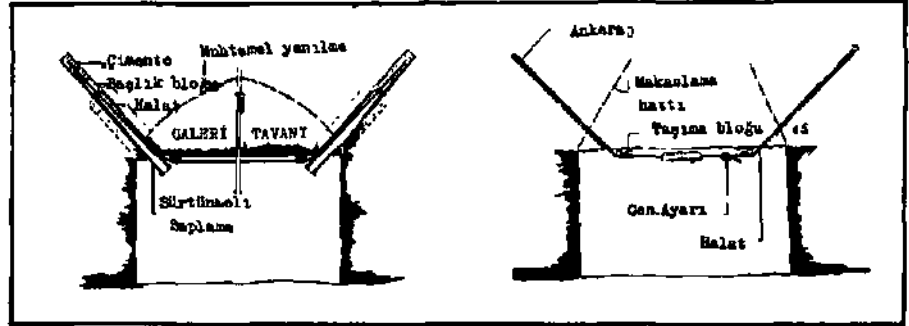
### 23.3. Sürünmeli Tip Saplamlar

Diğer tiplere nazaran nispeten yeni bir saplama türüdür ve split-set, swellex, kamalı yarı tıp olarak bilinirler. Temel çalışma prensibi, delik içersinde şişerek ya da genişlemeye çalışarak delik boyunca radyal kuvvet uygulamasıdır (Şekil 6).

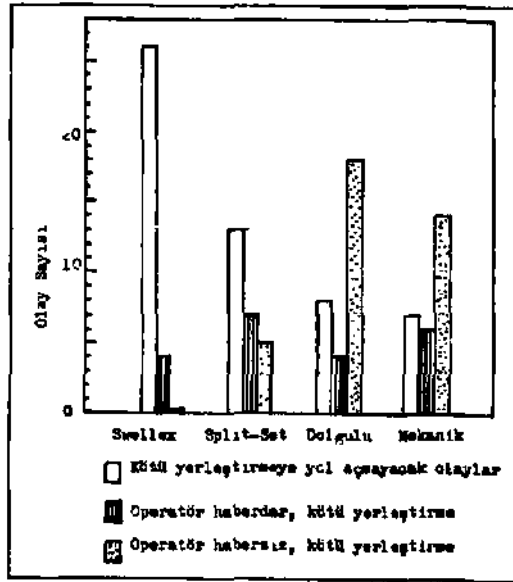


Şekil 6. Saplama çeşitleri.





Şekil 7. Karışık tip saplama ve asma halat.



Şekil 8. Saplama olaylarından etkilenmesi (10).

Split set'ler 0,3 m artışlarla 0,9 m'den 2,44 m'ye kadar uzunlukta ve 35 mm'den 38 mm'ye kadar çapta deliğe sokulan, delik çapından 3,2 mm daha büyük çapta yüksek dayanımlı, boyu boyunca yarı çelik tüptür. Ortalama olarak uygulanan radyal basınç  $3.51 \text{ kg/cm}^2$  olup, 3-10 tonluk bir çekme yükü dayanımı kazanır. Yumuşak ve orta sert ve sert kayalarda kullanıldığı ve yılda yaklaşık 3,5 milyon adet tüketildiği rapor edilmektedir (Şekil 8).

Swellex tip saplama, 41 mm çapında, 2 mm et kalınlığı olan boydan boya 25,5 mm'lik çapa katlanmış her iki ucu tapalanmış çelik tüptür. Tapanın birinden  $300 \text{ kg/cm}^2$  lik basınçlı su, özel bir pompa yardımıyla tüpe verilir ve şişen tüp de-

lik cidarına yapışır. 0,6 m'den 0,3 m'lik büyümelerle 3,6 m uzunluğuna kadar saplamalar mevcuttur. 10-20 ton/m<sup>2</sup>'lik çekme mukavemetinin varlığı ve hemen her tur formasyonda başarı ile kullanıldığı bilinmektedir (9).

#### 2.3.4. Diğer Tip Saplamlar

Yukarıda sözü edilen saplama türlerinden herhangi ikisi ya da üçü aynı anda kullanılabilir. Ayrıca asma halat (Scott cable sling) ve asma kirişler kullanılmaktadır (Şekil 7).

#### 2.4. Saplamaların Güvenilirliği

Saplama malzemesinin nakliyesi, depolanması, operatör ve yerleştirici makine performansları, delici özellikleri ve yerel jeolojik şartlar saplama güvenilirliğini etkileyen faktörler olarak ortaya çıkmaktadır. Çeşitli saplama türlerinin olaylardan ne şekilde etkilendikleri Şekil 8 ve Çizelge 3'de görülmektedir. Saplama kötü yerleştirildiği halde operatörün farkında olamayacağı olayların sayısı, swell ve split set tip saplamalarda diğer tiplere nazaran çok azdır. Dolgulu saplamalar bu açıdan sakıncalıdır.

Çeşitli tip saplamalar üzerinde yapılan çekme deneyleri (Şekil 9) dolgulu saplamaların yüksek tutma kuvveti sağladığını göstermiştir. Öte yandan, reçineli tip ya da mekanik tipler kadar deforme olma özelliği taşımamakta ve daha az miktardaki deformasyonlarda kopmaktadır (Şekil 10).

Saplamaların uzun dönemde güvenilirliğini etkileyen bir faktör de, korozyon ve sudan dolayı çürümedir. Sülfürik asit gibi koroziv ajanlar suda mevcut ise, metal yüzeyindeki Fe'nin oksijenle birleşip FeO—OH oluşturmasına yol açar. Bu da boşlukta 3 kez hacim artmasına yol açar. Bu mekanizma sürtünmeli tip saplamalarda sürtünmeyi artırır ve çekme dayanımı artar. Bununla birlikte, korozyon saplamasının ömrünü azaltır ve bu nedenle mekanik ve sürtünmeli tip saplamalar nemli ve sulu ortamlarda geçici tahkimat olarak kullanılmalıdır.

### 3. SOMA BÖLGESİ YERALTI OCAKLARINDA UYGULANABİLİRLİK ARAŞTIRMASI

#### 3.1. Fiziksel Uygulanabilirlik

Tavan taşı marnın dayanımı, RQD değerleri, süreksizliklerin dağılımı, galeriler çevresindeki gerilim alanı, galeri tavanının yapısı ve su gelirmemesi gibi faktörler birlikte değerlendirildiğinde, tavantaşı marn da sürülen galerilerde tahkimat unsuru olarak saplamaların kullanılabilir olduğu ortaya çıkmaktadır.

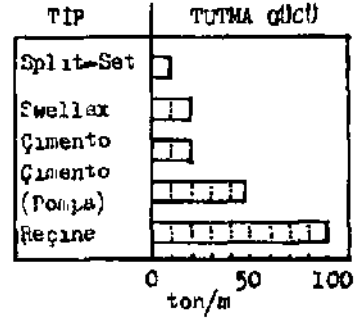
Çizelge 3 — Ana Saplama Türleri ve Etkileyen Negatif Olaylar

OLAY	SX	SS	RZ	MK		SX	SS	R1	MK
Saplama bükülmesi	0	1	2	2	Delik boyu uzun	0	0	2	0
Arızalı saplama kafası	1	1	1	1	Delik çapı çok küçük	0	1	0	1
Üreticiden gelen hatalı saplama	1	2	2	2	Delik çapı çok büyük	0	2	2	2
Paslanmış saplama	0	0	0	2	Delik çevresi çatlaklar	0	0	2	0
Bozulmuş yivler	X	X	X	2	Dar ve basık çalışma ortamı	0	1	2	0
Madende aşın sıcaklık	0	0	2	0	Delici torku aşırı	X	X	2	2
Özel stoklama	0	0	2	2	Delici donu basıncı yetersiz	X	X	2	2
Saplama malzemesi uzun süre stokta	0	0	2	0	Aşırı karıştırılmış reçine	X	X	2	2
Swellex yoğunlaştırıcı arızalı	0	X	X	X	Yetersiz karıştırılmış reçine	X	X	2	X
Basıncılı hava sisteminde kaçak	0	0	2	2	Kısa debk boyu	0	1	1	1
Sıkıştırma başlık contası arızalı	1	X	X	X	Yerleştirirken saplama yırtılması	1	X	X	X
Aşın darbe ve kafayı bozma	X	2	X	X	Operator tetiği erken bırakır	0	X	X	X
Swellex aşın basınç	0	0	0	0	Patlatmadan etkilenme	X	X	2	2
Rezin miktarı az	X	X	0	X	Saplama kafası kırılmış	0	2	0	1
Eğn delik	0	0	0	2	Plaka çevresinde kaya düşmesi	0	0	0	1
Delikte su var	X	X	2	X	Kayma hareketine mukavemet	1	1	0	1
Yorulma	X	X	X	2	Kayma hareketine izm	çok	çok	2	az
Saplama delik yarısında sıkışır	0	1	1	0	Saplama güvenilirliği kontrol	0	2	1	2

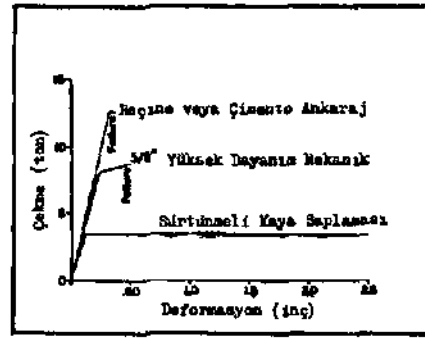
Kötü yerleştirmeye yol açmayacak olay — 0  
Kötü yerleştirme operator haberdar — 1

Kötü yerleştirme operator habersiz — 2  
Bu saplama uygun olmayan olay — X

Puanlar Toplamı:  
SX = Swellex =5  
SS = Splitset = 17  
RZ = Dolgulu = 38  
MK = Mekanik —32



Şekil 9. Saplama tutma gücü



Şekil 10. Çekme deneyleri.

### 3.1.1. Tavan Taşı Mekanik Özellikleri

Tavan taşı marn'da yapılan 634 adet nokta yük ve çeşitli kuruluşlarca (MTA ve Üniversiteler) yapılan çok sayıda tek yönlü basma dayanım testleri marnın kayma dayanım sınıflamasında orta sert-sert sınıfa girdiğini ve ortalama dayanımın  $770 \text{ kgf/cm}^2$  civarında olduğunu göstermektedir.

Daha az sayıda örnek üzerinde yapılan "Brazilian Disk" ve direkçekme dayanım testleri ise ortalama  $50,8 \text{ kgf/cm}^2$  civarında değer vermiş olup, basma/çekme dayanım oranı 15,2'yi bulmaktadır.

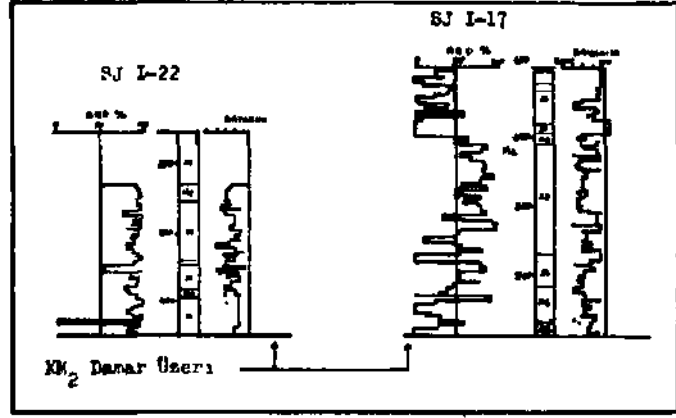
Marnın deformasyon modülü (Young's Modulus), Poisson oranı ve kayma dayanım değerleri hakkında bilgi mevcut değildir. Bununla birlikte, deformasyon modülünün  $24 \text{ GPa}$  ( $238 \text{ 500 kgf/cm}^2$ ) civarında olduğu tahmin edilmektedir (11).

### 3.1.2. Süreksizlik Takımları ve Dağılımları

Havzada, tavan taşında sürülmüş galerilerde yapılan süreksizlikleri belirleme çalışmaları biri yataklanmaya paralel üç belirgin takımın varlığını ortaya çıkarmış-

tır. Bu üç takımın yatım açıları ve yatım yönleri sırası ile 27° / 214°, 71° / 42° ve 82°/120° dir.

Karotlu açılan sondajlar (Şekil 11) ve galerilerde yerinde yapılan incelemeler, gerçek RQD. (kaya kalite sınıflaması) değerlerinin % 80-95 civarında olduğunu ortaya koymuştur. Bu değerler, kaya kalitesinin çok iyi sınıfına girdiğini işaret etmektedir.



Şekil 11. Tavantaşı jeoteknik özellikleri

önerilen panosu 700 000 ton/yıl kapasiteli proje çerçevesinde açım sürdürülen "Karanlık Dere Ana Nakliye Galeri"sinde çatlak takımların belirleme çalışmaları yapılmış ve aşağıdaki eşitliğe (12) göre teorik RQD, % 99,5 olarak hesaplanmıştır. ( $\lambda$  – Birim metredeki çatlak sayısı)

$$RQD = 100 \cdot e^{-0,1 \cdot \lambda} \cdot (0,1 \lambda + 1)$$

Teorik RQD değerinin bu derece yüksek olması galerinin söz konusu kesimlerde tahkimatsız olarak dahi kendini uzun yıllar tutacağını göstermektedir.

### 3.13. Galeri Çevresindeki Gerilim Dağılımı ve Rahatlamış Zon

Bölgede ana nakliye galerilerinde faylı ezik zonların geçilmesi hariç tavan taşında tahkimatta önemli bir deformasyon görülmemektedir.

Galerilerin hiç bir yerde 200 m den daha delinde olmadığı düşünülürse düşey gerilmenin yaklaşık 50 kgf/cm<sup>2</sup>, yatay gerilmenin yaklaşık 50-100 kgf/cm<sup>2</sup> civarında olacağı tahmin edilebilir. Bu gerilme alanının varlığı kabul edildiğinde dahi marnın tek yönlü basınç dayanımı değerinin % 75'inden çok daha düşüktür. Bu halde kayaçta herhangi bir zamana bağlı yorulma (creep) beklenmemelidir.

Rahatlamış zorun (yield zone) varlığı özellikle kömürlü formasyonlarda derinde ( $\geq 500$  m hidrostatik gerilme şartlarında) açılmış boşlukların duraylılığında çok önemli rol oynar. Bu zonun büyüklüğü ve ortaya çıkacak deformasyonun tahmini için çeşitli karmaşık analizler yapılmıştır (13, 14, 11). Rahatlamış zonun yarıçapı (RY); açıklık yarıçapı (RA), hidrostatik gerilme (q), kaya dayanımı (d), kaya üç yönlü dayanım faktörü (k) tahkimat mukavemeti (p), kırılmış kaya mukavemeti (p') ve kayaç iç sürtünme açısının ( $\phi$ ) bir fonksiyonudur (11).

$$RY = RA \left( \frac{2q-d}{(p+p')(k+1)} \right)^{\frac{1}{k-1}} \quad \text{ve} \quad K = \frac{1 + \sin \phi}{1 - \sin \phi} = 3,5 \sim 4,5$$

Galerinin sınırına kadar elastik gerilme dağılımı söz konusu ise sınırda teğetsel gerilme hidrostatik gerilmenin iki katına eşit olacaktır. Soma Bölgesi ocaklarında söz konusu derinlik için verilen hidrostatik gerilme değerinin iki katı dahil kayaç dayanım değerinin çok altında olmaktadır. Bu nedenle Soma Bölgesi tavan taşı galerilerinde rahatlamış zon yarıçapının, galeri yarıçapından daha büyük olduğu söylenemez. Gözlemsel İncelemeler de bunu doğrulamaktadır.

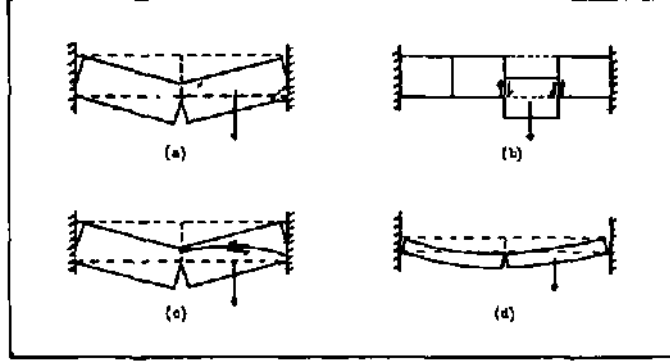
#### 3.1.4. Galeri Tavanının Yapısal Durumu

Tavan taşı marında sürülen galerilerde yapılan incelemeler galerilerde tavan tabakasının kompozit bir kiriş olmadığını süreksizlik takımları ile uyumlu olarak bloklara ayrılmış ve "Düzlemsel Kemer" yapısı görünümü arz ettiğini ortaya çıkarmıştır.

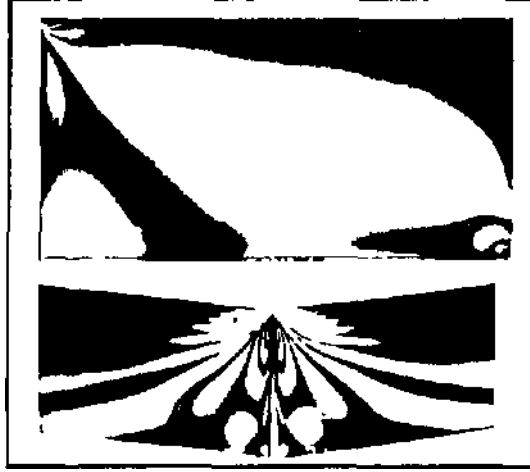
Düzlemsel kemer yapısı ya da "Voussoir Beam", "Linear Arch" olarak isimlendirilen, hemen hemen dikey birbirine paralel çatlak düzlemleri ile bloklara ayrılmış hemencecik tavan kirişinin oluşturduğu galeri tavanlarının, düşük değerdeki yanal yükler ile uzun zaman duraylılığını koruduğu ve aynı düşey yük altında iki ucu sabit kompozit bir tavan kirişinden en az 10 kat daha fazla deformasyona yenilmeden olanak tanıdığı 1940\*1 yıllardan beri yapılan araştırmalarla tespit edilmiştir (16,17,18,19, 20, 21, 22, 23).

Düzlemsel kemer yapısı gösteren galeri tavanları; blok kenarlarının kırılması ve onu İzleyen rotasyon (Şekil 12a), bloklar arası sürtünmenin az olması nedeniyle blok kayması (Şekil 12b), yüksek kayma gerilmesi oluşması ve kirişin diyagonal kırılması (Şekil 13c) ve kirişlerin elastik, plastik deformasyonu (Şekil 12d) sonucu yenilmektedir.

Mekanizmalardan hangisinin etkin olacağını kestirmek için galeri tavan açıklığı/kiriş kalınlığı (S/D) oranının, kırık düzlemi sayısı ve özelliklerinin, kiriş üzerine gelen düşey ve yatay yüklerin ve kayacın mekanik Özelliklerinin bilinmesine bağlıdır.



Şekil 12. Düzlemsel kiriş yenilme şekilleri.



Şekil 13. Düzlemsel kirişde fotoelastik gerilme dağılımı.

Benzer şartlarda ve kayalarda, üç kıklı ve dört kıklı düzlemsel kemer yapısı üzerinde yapılan deneysel model ve fotoelastik çalışmalarda,  $S/D$  oranı 6,6'dan büyük olduğu zaman yüksek gerilme zonlarında kirişlerin kırılması ve onu izleyen rotasyon (Şekil 12a) tesbit edilmiştir (22, 23).  $(S/D)$  oranı 3.5-6.6 arasında olduğunda ise diyagonal kayma ile yenilme (Şekil 12c) gözlemlenmiştir (Şekil 13).

Marmara'da sürülen lağımlarda yapılan incelemeler  $(S/D)$  oranının lokal olarak değişiklik gösterdiğini fakat genel olarak 3-9 arasında kabul edilebileceğini ortaya çıkarmıştır. Marmara formasyonu kalınlığının açıklık çapından çok fazla olması ve blok bir yapıda olması formasyon yükünün galeri tavanındaki düzlemsel kiriş aktarılması ile sonuçlanmaktadır. Bu nedenle, tavadaki kiriş yalnızca kendi

ağırlığı ile yüklendiği kabul edilmelidir. Eu durumunda, tespit edilen (S/D) oranları içerisinde tavan kirişinde yenilme ya da farkedilir oranda deformasyon gözlenmemektedir.

### 3.2. Ekonomik Değerlendirme

Reçineli çelik saplama, Swellex, Split-set ve mekanik ankarajlı saplama olmak üzere 4 tür saplamanın yaklaşık yerleştirme maliyetleri Çizelge 4'de verilmiştir (9).

Saplama ile ilgili toplam maliyet beş ana kısımda incelenebilir.

- Saplamanın kendisi, reçinesi, taşıma plakası ve diğer aksesuarların oluşturduğu saplama malzemesi maliyeti olup yerleştirilmiş saplama toplam maliyetinin % 30-40'ını teşkil etmektedir.
- İmalatçı firmadan nakliye, depolama ve kullanım yerine nakliye masraflarından oluşan maliyet olup, değişken olmakla birlikte toplam maliyetin % 20-30'unu teşkil eder.

Çizelge 4 - 1 3/8" Saplama Maliyetleri (US \$)

	VARDİYA ADAM BAŞI SAPLAMA (*)			
	4 RR (30)	SX (36)	S-S (34)	MK (32)
Saplama maliyeti 6'	2,37	5,75	4,38 (5/8 <sup>1</sup> )	3,02
Reçine + kayıp + anza	3,10	—	—	—
Kafa + kayıp + anza	—	—	—	1,25
Kafa yiv bozulması	—	—	—	0,30
Taşıma plakası	0,5	0,5	0,5	0,5
Toplam malzeme maliyeti	5,97	6,25	4,88	5,07
Toplam nakliye ve stok maliyeti	4,63	2,22	2,22	3,39
Muhtelif teçhizat ve yerleştirme				
İşçilik maliyeti	0,6	0,25	0,73	0,57
Delik maliyeti	4,96	4,96	5,70	4,96
Servis ve tekrar tork	—	—	—	1,43
Dinlenme ve belirsiz zaman	3,52	2,94	3,11	3,31
Başarısız yerleştirme	(% 3) 0,6	(%1) 0,17	(% 5) 0,83	(%3)0,56
<b>Toplam maliyet</b>	<b>20,46</b>	<b>16,79</b>	<b>17,47</b>	<b>19,29</b>

(\*) Atlas Copco, Mining and Construction Equipment



- c) Saplama İçin kullanılacak delik makinesi, pompa, tork aleti gibi ekipmanların amortismanlarını, saplama delik maliyetini, işçilik maliyetini içine alan yerleştirme maliyeti olup, tipik olarak toplam maliyetin % 20-30'unu teşkil etmektedir.
- d) Operatörün iş yerine gidiş-geliş zamanları, yemek ve istirahat molaları, makineleri hareket ettirme, enerjiyi bağlama, yer tesbiti gibi tam belirlenmemiş aktiviteleri temsil eden maliyet olup toplam maliyetin % 15-20's in i oluşturur.
- e) Saplama tamiri, çelik net çekimini kapsayan maliyetler gerçek saplama maliyetleri içersine girmemekle birlikte gerçek maliyeti % 30-50 oranında artırabilmektedir.

Görüldüğü gibi saplama yerleştirme maliyeti 8 400 TL'den, 10 300 TL'ye değişmektedir. 1,5 m'ye bir yerleştirilen B8 Rijit bağ yerine 3 adet kullanıldığı düşünüldüğünde toplam yerleştirme maliyeti, rijit bağ yerleştirme maliyetinin yaklaşık % 30'u olmakta, bir başka deyişle metre tahkimat maliyetinde % 70 tasarruf yapılmaktadır.

Ayrıca saplama galeri kesit alanını daraltmaması nedeniyle BS'lık bir galeride (kazı kesiti 10,2 m<sup>3</sup>) ilerleme maliyetinde direk olarak % 20'lik bir tasarruf ortaya çıkmaktadır. Bunun yanı sıra havalandırma açısından daha az direnç gösteren galeri elde edilmekte, dolayısıyla endirek olarak enerji tasarrufu yapılmaktadır. Sadece tahkimat yerleştirme maliyeti ile kazılması gereken alanın küçülmesi gözönüne alındığında metre galeri maliyetinde toplam % 42 oranında tasarruf elde edilmektedir.

#### 4. SONUÇ

ELİ Soma Bölgesinde, İçinde ana hazırlıkların yapıldığı marn, tek yönlü basınç ve çekme dayanım testleri sonuçlarına göre orta sert-sert sınıfa girmekte, gerçek ve teorik RQD değerleri bu kayacın Uluslararası Kaya Kalite Sınıflama Standartlarına göre "çok iyi" sınıfa sokmaktadır.

Açılan galerilerde su geliri olmayıp, tespit edilen, biri yataklanmaya paralel olan 3 süreksizlik takımı ile uyumlu olarak, galeri tavanı kompozit bir kiriş değil, "Düzlemsel Kemer Yapısı" özelliği göstermektedir. Düzlemsel kemer yapısı özelliği, kayacın dayanımı, yer baskısı değerleri ve diğer jeoteknik özellikler birlikte değerlendirildiğinde galeri tavanı duraylılığının tavan saplama ile sağlanabileceği ortaya çıkmaktadır.

Fiziksel ve ekonomik olarak İncelenen tüm saplama çeşitlerini uygulamak mümkün olmakla birlikte, uzun dönem (5 yıldan fazla) kullanımı planlanan açıklıklarda çelik netler ile birlikte reçine ya da çimento dolgulu saplama; kısa dönem kullanımı planlanan açıklıklar için şişebilen sürtünmeli saplama tercih edilebilir.

Saplamaların tahkimat amacıyla kullanılması ile tahkimat maliyetinde % 70, metre galeri ilerleme maliyetinde ise en az % 42 tasarruf sağlanabilir. Ayrıca, saplamaların müessese atelyelerinde imal edilmesi halinde bu oran artacaktır.

Üniversiteler ile yapılabilecek işbirliği ile tavan-taban yer değişim ölçümleri, yerinde gerilme dağılımı ölçümleri ve pilot çapta bir deneme konuya daha fazla ışık tutacaktır.

#### KAYNAKLAR

1. BİRÖN, C. ve ARIOĞLU, E., Madenlerde Tahkimat İşleri ve Tasarımı, Birsen Kitabevi, İstanbul, 1980.
2. ATAMAN, T., Yeraltında Tahkimat Esasları, Ankara, 1978.
3. ÜNVER, Ö., Tavan Cıvataları Teonsi ve Pratiği, Madencilik, Cilt 9, Sayı 4, Ankara, 1970, s. 50-58.
4. SCOTT, J.J., Interior Rock Reinforcement Fixtures, Reprint From 21'st U.S. Symposium on Rock Mechanics, Missouri-Rolla, 1980.
5. YAZICI, S., Sürünmeli Tavan Saptamalı, Madencilik, Cilt 22, sayı 3, Ankara, 1983, s.21-25.
6. WOODRUFF, S.D., Methods of Working Coal and Metal Mines, Pergamon Press, 1966.
7. WYLLIE, B., Recent Advances in Rock Bolting, Int. Mining Magazine, July, 1985, 13-26 pp.
8. ———, Split Set Friction Rock Stabilizers for Underground Roof and Rib Support, Ingersoll-Rand.
9. ———, Swellex Product Book, Atlas Copco Roctec Mining and Construction Equipment.
10. MATILLA, G. ve BDOY, R., New Methods Allows for Anchorage Check for Rock Bolts, Mining Engineering, April, 1985, pp 320-322.
11. WILSON, A.H., The Stabihty of Underground Workings in The Soft Rocks of The Coal Measures, Ph D Thesis, Univ. of Nottingham, England, 1980.
12. PRIEST, S.D. ve HUDSON, J.A., Discontinuity Spacings in Rock, IntJ. Rock Mech. Min. Sei. and Geomech. Abs. Vo. 13, 1976, pp. 135-148.
13. FENNER, R., Study of Ground Pressures, Tech. Trans. Gluckauf, VoL 74, 1938, pp 691-96; 705-15.
14. HOBBS, D.W., The Behaviour of Broken Rock Under Triaxial Compression, Int. J. Rock. Mech. Min. Sei. VoL 1,1979, pp 125-18.
15. LADANYI, B., Use of The Long-Term Strength Concept in Determination of Ground Pressure on Tunnel Linings, Advances in Rock Mechanics, Vol. II, Denver, 1974.
16. EVANS, W.H., The Strength of Undermined Strata, Time, Vol. 50, 1941, pp 475-500.
17. MOHR, F., Rock Pressure and Support, Mine and Quarry Eng., June, 1956, pp 227-30.
18. HAYCOCKS, C., Mechanics of the Vaussoir Arch as Applied to Block Ph.D Thesis. Miss. Sch. Mines, USA 1962.
19. TROLLOPE, D.H., The Stability of Trapezoidal Openings in Rock Masses, Rock Mechanics, VoL 34, 1965, pp 23241.
20. WRIGHT, F.D. ve MİRZA, M.B., Stress Distribution Around a Vertical Crack in a Mine Roof Beam, Min. and Metall. Vol. 226, 1963, pp 174-79.
21. WRIGHT, F.D., Arching Action in Cracked Roof Beams, 5 th. Int. Conf. Strata Control, London, 1972.
22. WATSON, S.H., The Characteristics of Linear Arch Structure and Its Application, Ph.D Thesis, Univ. Newcastle, 1979.
23. DOKTAN, M., The Long Term Stabihty of Room and Pillar Workings in a Gypsum Mine, PhD Thesis, Univ. Newcastle upon Tyne, 1983.