
ALPAGUT-DODURGA LİNYİT İŞLETMESİNDE GÖZLENEN TABAN KABARMA OLAYINI EN AZA İNDİRMEK İÇİN GELİŞTİRİLEN TAHKİMAT SİSTEMLERİ VE DENEME SONUÇLARI

Cemal BİRÖN (*)
Ergin ARIOĞLU (**)
Nuh BİLGİN (**)
D.Kaya ACAR (***)

ÖZET

Bu çalışma, Alpagut-Dodurga Linyit İşletmesinde çamurtaşları ve marn formasyonu içinde açılan ana hazırlık lağımında (+480/30263 Batı Lağımı) gözlenen taban kabarma hareketlerini en aza indirmek amacıyla projelendirilmiş olan çeşitli tahkimat sistemlerini tanıtmakta ve bu sistemlerin yerinde davranışlarını belirlemek için gerçekleştirilen konverjans ölçme sonuçlarını rapor etmektedir.

ABSTRACT

The research work summarized in this paper provides the highlights of the swelling process experienced in main roadway driven in mudstones-marl formation. It is obvious that the present supporting system of rigid steel arches is not suitable to sustain the section of roadway against floor heave amounting up to 1.2 m. To minimize the floor heave, several types of supporting system were tried in a section of main roadway. According to the results of field investigations, carried out at Alpagut-Dodurga Lignite Mine, rigid steel arches with arched steel floor sets (in form of parabola) demonstrated only 20 cm. of displacement, amounting to 5 % convergence at the end of a period of 4 months.

* Prof. Dr., Emekli öğretim Üyesi.

** Doç. Dr., Maden Fakültesi, İ.T.Ü. İstanbul.

*** Y. Müh., Eski Alpagut-Dodurga Linyit İşletmesi Müdürü, E.L.İ. Müessesesi Müdürü.

1. GİRİŞ

Alpagut-Dodurga Linyit İşletmesinde -480 katı batı panolarının hazırlanması için kıltaşı-marn içeren formasyonda 30263 Batı Lağıcı sürölmektedir. Hazırlık işlerinde, gerek geçilen formasyonun "kabarma potansiyeli"ne sahip olması, gerekse sözkonusu galerinin senkri nal eksenine yakın ve azçok paralel olması nedenleriyle, bir metreyi aşan "taban kabarma" olayı gözlenmektedir. Ocak idaresi, bu durumda çoğu kez arını bırakıp nakliyat-hava sirkölasyonunu sağlamak için, galeriyi taramakta ve tabanı indirmektedir.

Bu çalışma, taban kabarma olayını hazırlayan nedenleri, geçilen formasyonların jeomekanik büyüklüklerini, daha önce işletmede denenmiş tahkimat sistemleri üzerinde yapılan kritikleri, seçilen pilot bölgede taban kabarma olayını en aza indirmek amacıyla projelendirilmiş çeşitli tahkimat sistemlerini ve bunların yerinde davranışlarını belirli bir ayrıntı içinde rapor etmektedir.

2. KABARMA MEKANİZMASI VE GALERİLERDE YOL AÇTIĞI SORUNLAR

"Kabarma"ya yatkın formasyonlar içinde açılacak mühendislik yapılarında (galeri, tünel, vb.) tahkimat sistemi tasarımı için kabarma olayına neden olan mekanizmanın önceden gayet iyi bilinmesi gerekir. Galerilerde "kabarma olayı" nedenlerinden bir tanesi, zamana bağlı hacim' artışıdır. Bu olayı oluşturan ana nedenler şöyle özetlenebilir:

- Bünye suyunun fiziko-kimyasal etkisi,
- Açıklık etrafında gerilme dağılımı ve taban formasyonuna etkileyen basıncın boşalması,
- Formasyon' direncinin azalması.

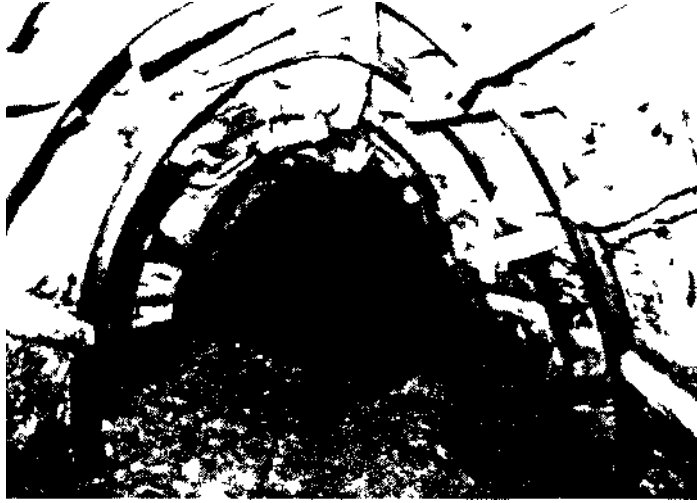
Kabarma olayını büyük ölçüde kontrol eden doğal ve teknik faktörlere il, 2, 3, 41 kaynaklarında etraflıca değinilmiştir.

Yukarıda sıralanan nedenlerden birinin veya bunların üst üste gelen etkileri kabarma olayına yol açar.

Kil, marn gibi kabarmaya yatkın birimler içeren formasyonlarda açılan galerilerde gözlenen en önemli sorun, artan taban hareketleri nedeniyle açıklık kesitinin sürekli biçimde kapanarak tahkimat sistemini düzgün olmayan, büyük boyutlu şekil değiştirmeye zorlamasıdır. Bu zorlama sonucunda tahkimat sisteminde ve galeri kesitinde gözlenecek hasarın büyüklüğü şu faktörlere bağlıdır:

- Etkiyen deformasyonun şiddeti,
- Sistemde kullanılan malzemenin türü (ahşap-çelik),
- Sistemin taşıyıcılık özelliği (izostatik, hiperstatik)
- Galerinin geometrik şekli (dikdörtgen, dairesel, eliptik olması).

Şekil 1 2 ve 3 Alpagut-Dodurga Linyit İşletmesinin çeşitli galerilerinde taban kabarması nedeniyle gözlenen karakteristik hasarları belgelemektedir. Şekil-1 yakından izlendiğinde, rijit-çelik bağların "burkulma" türünde aşırı deformasyon etkisinde kaldıkları anlaşıl-



Şekil 1 — Alpagut-Dodurga Linyit işletmesinde "Taban Kabarması" Nedeniyle Galeri Kesitinin Kapanması ve Rijit-Çelik Bağlarda Gözlenen Deformasyonlar



Şekil 2 — Rijit-Çelik Tahkimat Sisteminde Plan Dışı Yükler Sonucunda Oluşan "Flambaj" (Beyaz oklar burkulmanın yönünü göstermektedir).



Şekil 3 — Alpagrut-Dodurga Linyit İşletmesinde Ağaç Tahkimat Sisteminde Gözlenen Kırılma Modları.

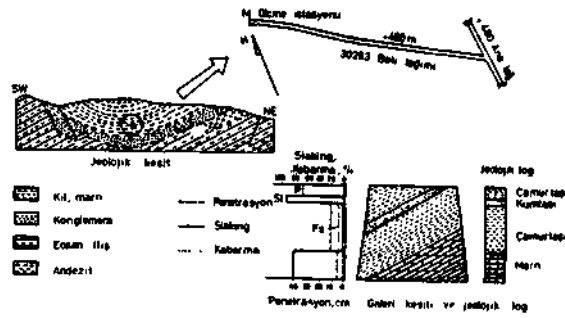
maktadır. Aynı şekilde galeri kesitinin düzgün olmayan bir biçimde kapandığı ve deforme olmuş ray sisteminin demiryolu maliyetini elverişsiz duruma getirdiği açıkça izlenmektedir. Şekil-2 ise tahkimat sistemine etkiyen kaya kütleli yüklerinin rijit çelik sistemin düz kısmında oluşturduğu "flambaj" zorlamasını göstermektedir. Her iki durumda da tahkimat sistemi nominal taşıyıcılık özelliğini büyük ölçüde kaybetmiştir. Şekil 3'de ise orta direklerle takviye edilmiş ahşap tahkimat sistemini etkileyen deformasyonun şiddeti görülmektedir. Gerek üst kiriş gerekse yandirek bu zorlanmaların sonucunda kırılmışlar, diğer bir anlatımla "servis dışı" kalmışlardır.

Özetlenirse, taban kabarması, gerek galeri içinde demiryolu nakliyatının sürekliliği, diğer bir deyişle üretimin devamlılığı, gerekse etkin havalandırmanın temini açısından büyük bir önem kazanmaktadır. Özellikle şiddetli taban kabarması gözlenen yollarda tamir-tarım işleminin galeri servis ömrü boyunca sık sık yapılması, üretim kapasitesinin ciddi bir şekilde düşmesine ve sonuçta üretim maliyetinin hissedilir ölçüde artmasına yol açacaktır. Ayrıca, galeri çevresinde oluşan zayıf stabilize şartları işçi üzerine kuşkusuz olumsuz moral getirecektir.

3. JEOLJİ

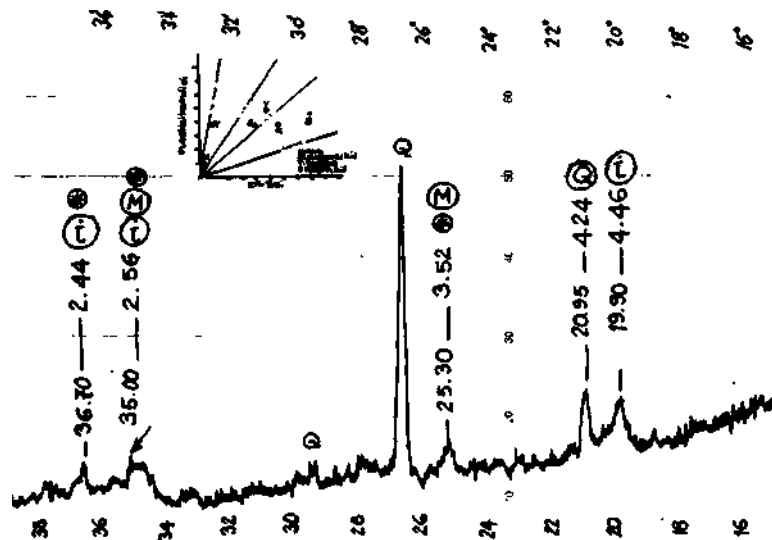
İncelenen 480 Batı ana galerisindeki (30263 Batı Lağımı) ana nakliyat yolunun kestiği ana formasyonlar marn ve çamurtaşlardır (2,4).

Bu formasyonların doğrultu ve eğimi sırasıyla N 50°E ve 30°SE'dir. Sözkonusu galeriler ana ulaşım ve hava giriş yolu olarak kullanılmaktadır. Basitleştirilmiş bir jeolojik kesit Şekil-4'de verilmiştir. Bilindiği üzere, bu tür formasyonlar kabarmaya oldukça yatkındırlar [5,61]. Doğal su içeriğinin %15 civarında belirlenmesi ise, kabarma olayında rol oynayan en önemli faktörün kaya kütlesi içinde yer alan ve mevcut süreksizlikler arasında dolaşan su olduğunu göstermektedir.



Şekil 4 — Jeolojik Kesit ve Deneme Galerisi.

Çamur taşları üzerinde gerçekleştirilen X-ışınları difraksiyonu çalışmaları numuneler içinde bulunan etkin kil minerallerinin "montmorillonit", "illit" ve "kaolinit" olduğunu ortaya çıkarmıştır. Şekil-5'te bu çalışmaya ilişkin bir örnek görülmektedir.



Şekil 5 — Yeşil Çamurtaşına ait X — Işını Difraksiyonu

Bu örnekte belirlenen mineraller kuvars, illit ve montmorillonit'tir. Nitekim aynı şekilde verilen aktivite diyagramına (kil yüzdesi; % - plastisite indisi % değişimi) göre çamurtaşı montmorillonit için tanımlanan bölge içinde yer almaktadır. Diğer numunelerinin de yüksek aktiviteli kil minerali montmorillonit, orta aktiviteli kil mineraleri illit ve kaolinit içerdikleri aynı değişimden anlaşılmaktadır.

4. FORMASYONLARIN JEOTEKNİK ÖZELLİKLERİ

4.1. *Kabarma Parametrelerinin Laboratuvarda Belirlenmesi*

Zemin Mekaniği ve Uygulamalı Kaya Mekaniği disiplinin deformasyonların kabarmaya yatkinliklerini belirlemek amacıyla çeşitli "indeks büyüklükleri" (Atterberg Limitleri, Kabarma Basıncı, Kabarma Deformasyonu) tanımlanmıştır, indeks deneyleri toplu sonuçları Çizelge 1'de verilmiştir. Deneysel çalışmalarla ilgili ayrıntılı bilgi (2,4) kaynaklarından temin edilebilir. Çizelge 1'de açıklanan sayısal göstergeler yakından incelendiğinde aşağıda sıralanan sonuçlar ve değerlendirmeler üretilmektedir:

- İncelenen numunelerdeki Atterberg Limit değerleri (PL, LL, PI) kil yüzdeleri ile artmaktadır. Nitekim, yeşil çamurtaşlarının atterberg limit değerleri (PL hariç) su içeriği ile birlikte artmış ve en büyük değer (%40-89 sınırları) arasında kil içermesi nedeniyle siyah çamurtaşından elde edilmiştir.

- Ölçülen değerlere göre incelenen killer (kırmızı, siyah, yeşil çamurtaşları) için aktivite değerleri sırasıyla; 4,7 ve 0,94 sınırları arasında hesaplanmış $A > 0,75$ olduğundan (8) sözkonusu çamurtaşları kabarma potansiyeline sahiptir.

- » İncelenen çamurtaşları (Çizelge 1) "yüksek hacim değişim özelliği" taşımaktadır. "Yüksek" (yeşil çamurtaşları) ve "çok yüksek" (siyah çamurtaşı) kabarma potansiyeline sahip killerin olası hacim değişimi literatürde (% 20 - %30) olarak verilmektedir (9).

- Kaya Mekaniği Disiplininde kayaçların kabarma potansiyelleri "Serbest Kabarma Deformasyonu" büyüklüğü ile belirtilmektedir. Elde edilen değerlerin kritik değer olan %7'den büyük olduğu derhal farkedilmektedir. Ayrıca, ince tabakalı marnın kabarma deformasyonunun % 17,74 gibi çok yüksek bir değere ulaşması çok ilginçtir. Şekil 6, su içersinde bırakılan marnın (fd-zaman) değişimini göstermektedir. Dikkat edileceği üzere eğrinin genel analitik şekli, galerilerde gözlenen konverjansın zaman boyutu içersindeki gelişim trendine benzemektedir (12). İlk aşamada marnın kabarma hızı oldukça yüksek, diğer anlatımla "labü", dönüm noktasından sonra ise dağılma noktasına kadar "stabil" özellik göstermektedir. Şekil 7'de ise, numu-

Çizelge 1 — İndeks Deneyleri Toplu Sonuçları

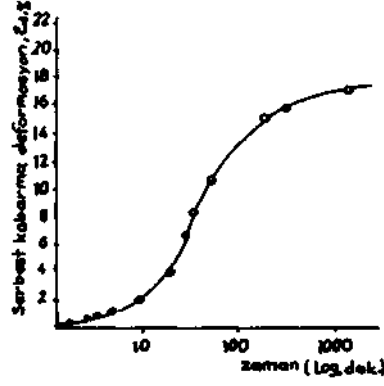
İndeks Özellikleri	Kırmızı Çamurtaşı	Yeşil Çamurtaşı	Siyah Çamurtaşı	Merz
Kıl %	55.0	8.3-49	40-89	2.44
Granulometrik Bileşim	Silt % 76-41 Kum % 24-3	7.87-41 19-10	42-8 18-3	97.56 -
Doğal Birim Hacim Ağırlığı, γ_n , gr/cm ³	1.96	1.94	1.81	-
Tane Birim Hacim Ağırlığı, γ_s , gr/cm ³	2.69	2.66	2.59	-
Doğal Su Muhtevası, w_n %	13.67	19.87	26.70	6.0
Porozite, n , %	36.0	39.0	44.0	-
Plastik Limit, PL, %	32.55	29.36	43.42	28.7
Likit Limit, LL, %	58.5 (*)	68.5	81.2	39.0
Plastisite İndisi, PI	25.95-37	39.14-44 (**)	37.78-45 (**)	90.3
Rıvam İndisi, I_C	1.37	1.24	1.44	-
Likitlik İndisi	0.727	0.242	0.44	-
Aktivite, A	0.067	4.7-0.89	1.43-16.2	0.38-17.7

Çizelge 2 — Numunelerin Jeomekanik Büyüklükleri

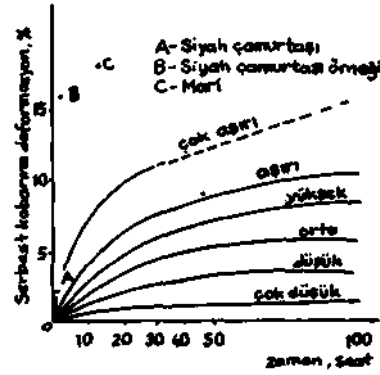
Numune No ve Litolojisi	Siyah Çamurtaşı (1)	Siyah Çamurtaşı (2)	Kumtaşı Kilitaşı (3)	Siyah Çamurtaşı (4)	Kumtaşı Kilitaşı (5)	Tobakalı Merz (6)
Doğal Su Muhtevası, %	10.8	16.2	-	-	-	17.7
Slake Durability İndeksi (% nolan)	6.3 (çok aşırı)	23.2 (çok aşırı)	98.4 (Düşük)	0.3 (çok aşırı)	75.6 (aşırı)	80.7 (yüksek)
Serbest Kabarma Deformasyonu, d , %	10.8	16.2	-	-	-	6.12
Schmidt Okuması	10	12	40	11	38	**
Penetrasyon Miktarı, cm.	12.2	16	2.5	16	5	1.5
Kestirilen Tek Eksenli (1)	200	320	300	220	760	-
(2)	139	130	-	-	-	15
Basınç Dirençleri (3)	116	100	340	400	400	100
(σ_c , kg/cm ²)						

- (1) Schmidt-Basınç Dirençli Korelasyonu
(2) $\sigma_c = 20.86 E_d^{-0.169}$, Mpa formülü ile kestirilmiştir 10
(3) İoni delici büyüklüğü ile hesaplanan basınç direnç değeri
* Değerleri 7 kaynağından alınmıştır.
** Çok İnce Laminasyon Schmidt okuması yapılmıştır.

nelerin deneylerde dağılma süresi ve o süreye kadar ölçülen maksimum kabarma deformasyonları değerlendirilmiştir. İzlendiği üzere numuneler kabarma açısından "çok aşırı" ve "aşırı" bölgesine düşmektedirler (11).



Şekil 6 — İnce Tabakalı Marnın (Serbest Kabarma Deformasyonu-Zaman Değişimi)

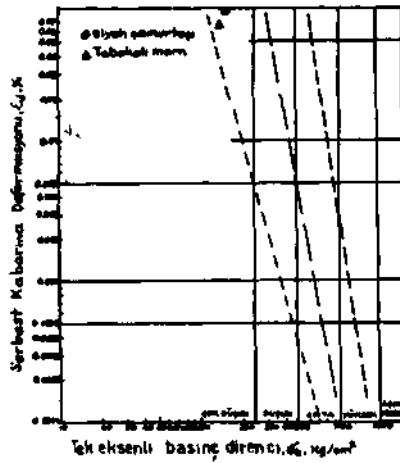


Şekil 7 — Kayaçların Kabarmaya Yatkinlik Dereceleri (Serbest Kabarma Deformasyonu-Zaman Değişimi)

- Suda Dağılma dayanımı deney sonuçları numunelerin diğer indeks büyüklükleri ile birlikte Çizelge 2'de gösterilmiştir. Bu sonuçlara göre, numunelerdeki ağırlık kaybı "yüksek" olmaktadır (11).

- Serbest kabarma deformasyon değerleri esas alındığında, (10) kaynağında rapor edilen korelasyon ifadesinden hesaplanan tek eksenli basınç dirençleri Çizelge 2'de verilmiştir. Bu değerlendirmeye

göre geçilen formasyonların laboratuvar basınç dirençleri (130-160 kg/cm²) "çok düşük" olarak (Şekil 8) sınıflandırılmaktadır (10). Eğer (Slake-Durability indeks-Basınç direnci) değişimi esas alınır, SDI (20-80) değerleri için kestirilen basınç dirençleri (100-140) kg/cm² mertebelerindedir (13). Her iki yaklaşımın sonuçları belirli bir yakınsaklık içinde üst üste düşmektedir.

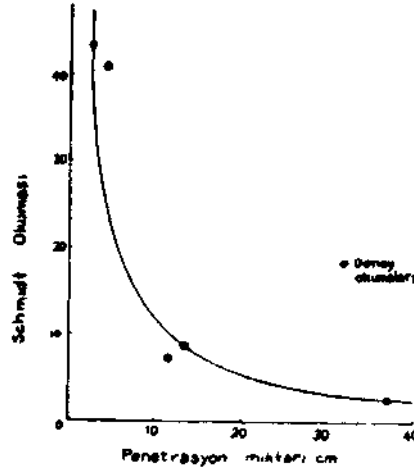


Şekil 8 — Kayaçlarda Tek Eksenli Basınç Direnci Ed Değişimi [10].

4.2. Yerinde Yapılan Deneylerle Mekanik Büyüklüklerin Kestirilmesi

Önceki bölümde kısaca değinildiği üzere incelenen formasyonlar "çok yumuşak" özelliktedir. Bu nedenle, laboratuvara getirilen bloklardan basınç ve çekme deneyleri için muntazam boyutlu numuneler hazırlanamamıştır. Formasyonların mekanik büyüklüklerini belirli bir yakınsaklık içinde belirlemek amacıyla, yerinde kolaylıkla ölçülebilen ve basınç direnci ile korelasyonu kurulmuş, çeşitli indeks değerleri (Schmidt, Penetrometre sayıları) saptanmıştır. -480 Batı Ana galerisinin arınmada gerçekleştirilen Schmidt ve Penetrometre okumalarının ortalamaları Çizelge 2'de sunulmuştur.

Ayrıca, Şekil 9'da penetrometre okumalarının litolojik birimlere göre değişimi log biçiminde gösterilmiştir. Beklenildiği üzere artan penetrometre değerlerinde serbest kabarma deformasyonu artmaktadır.



Şekil 9 — Schmidt Okuması ile Penetrasyon Miktarı Değişimi.

Şekil 9, artan Penetrasyon miktarı ile Schmidt değerlerinin azaldığını açıkça ifade etmektedir. Yaklaşık 12 Schmidt değerinden sonra bu büyüklüğünün penetrasyon değerinden bağımsız olması dikkat çekicidir. Buradan, penetrasyon indeksinin yalnızca sert formasyonlarda olumlu sonuç verebileceği anlaşılmaktadır.

Galen arınında çok ince (5-10 cm) bir bant olarak yer alan kumtaşı birimi değerlendirme dışında bırakılırsa, çamurtaşlarında elde edilen ortalama Schmidt okumasına (SH) göre tek eksenli basınç direnci (6b)

$$6b = 20 \text{ SH} = 20 \times 11 = 220 \text{ kg/cm}^2$$

düzeyinde kestirilebilir (13). Bulunan bu değer gerek kabarma deformasyonu gerekse Slake dayanım indeksinden bulunan basınç direnciyle az çok bir uyum içindedir. Yalnız özellikle yumuşak formasyonlar için Schmidt okumasından kestirilen basınç direnci değerlerinin daha erratic sonuçlar verebileceği daima gözönünde tutulmalıdır (14).

5 İŞLETMEDE ŞİMDİYE DEĞİN DENENMİŞ TAHKİMAT SİSTEMLERİNİN KISA KRİTİĞİ

Ana ıhzaratın (30263 Batı Lağımı) kestiği formasyon basınç direnci yönünden 'çok düşük' ve su ile temas durumunda, önemli ölçüde kabarma potansiyeli bulunan problemleri bir yapıdır.

(15) kaynağında tanımlanan kayaç stabilite katsayısı -480/30263 Batı Galerisinde karşılaşılan ortalama jeoteknik koşullar için uygulanırsa;

$$S = \frac{0.25 H.n}{6b} = \frac{0.25 \times 250 \times 3}{120} = 1.6$$

hesaplanır. $S > 0.45$ bulunduğundan, şiddetli taban kabarması beklenmelidir. Bu şartlara uygun tahkimat sisteminin taşıma kapasitesi ise $15-30 \text{ t/m}^2$ mertebelerinde öngörülmektedir (15) (S, Stabilite katsayısı, H, ortalama derinlik, m, n, çatlaklık sayısı, 8b, tek eksenli laboratuvar basınç direnci, kg/cm^2).

İşletme, büyük ölçüde taban kabarmasından kaynaklanan arazi hareketlerini karşılayabilmek amacıyla çeşitli tahkimat sistemleri denenmiştir. Bu sistemlere ait ayrıntılı bilgi Çizelge 3'de topluca belirtilmiştir (4).

Denenen tahkimat sistemlerinden, monolitik beton kaplamanın dışında kalan sistemlerin kabarmaya karşı başarılı olmadıkları anlaşılmaktadır

6. KABARAN FORMASYONLARDA TAHKİMAT SİSTEMLERİNİN TASARIM FELSEFESİ

Kabarma özelliğine sahip bir formasyonda kullanılacak tahkimat sistemi öncelikle aşağıda sıralanan istekleri yerine getirmelidir:



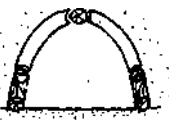
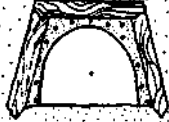

- Sistem üzerine etkiyecek basınçları (tavan, taban, yanal) emniyetle taşıyabilmelidir.
- Sistem tabandan gelebilecek arazi deplasmanlarını öncelikle karşılamalı diğer bir deyişle sistemin genel stabilitesini koruyacak esnekliğe sahip olmalıdır.

Kabarma olayının nedenleri, kontrol felsefesi, uygulanabilecek çeşitli çözüm alternatifleri açıklamaları ile birlikte Çizelge 4'de topluca özetlenmiştir (4).

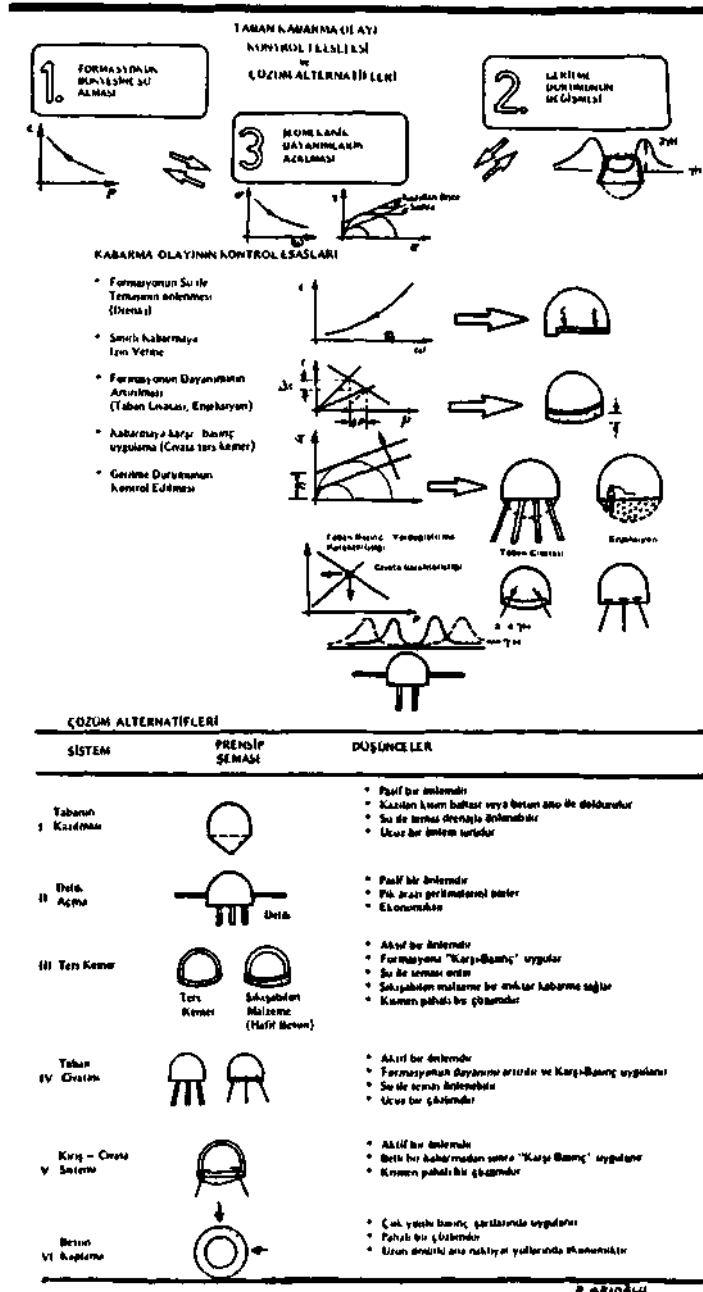
Taban kabarmasına yatkın formasyon içinde kullanılacak galeri tahkimat sisteminin tasarımı iki şekilde gerçekleştirilebilir (16):

- Birinci tasarım şekline göre, sistem, erken taşıma gücüne sahip olmalıdır. Söz konusu tasarıma örnek olarak püskürtme beton kaplaması içinde bırakılan rijit çelik bağ-taban civata sistemi verilebilir.
- Diğer tasarım ilkesine göre, sistem özellikle tabandan gelebilecek deformasyonları karşılayabilecek esneklikte yapılabilir. Diğer bir deyişle, sistemin genelinde deformasyon kabiliyeti yüksektir. Buna karşın, taşıma kapasitesi limitlidir. Bu sisteme ait karakteristik örnek olarak "geçme bağ" gösterilebilir.

Çizelge 3 — İşletmede Şimdiye Değın Denenmiş Tahkimat Sistemleri [4]

SİSTEM	PRENSİP SEMASI	TAŞIYICILIK	ARAZİ KONTROLÜ
DAİRESEL BETON KAPLAMA		<ul style="list-style-type: none"> • Hidrostatik yük-leme şartlarında taşıma gücü yüksek olmalıdır. • Çekme gerilmesi-ne karşı dayanımı donatı veya profil ile arttırılabil-mektedir. • Aşırı déformas -yonlar dışında dü-şey yöndeki arazi yüklerini taşıması ile trapez bağa göre daha başarılı olmuştur. 	<ul style="list-style-type: none"> • Taban kabarmasına karşı monolitik ters kemer ile önlem alın-mıştır. • Aşırı kabarma ba-sınçlarında donatı olmadığından alt kap-lama kırılabilmekte-dir.
BETON AYAKLI POLİGON BAS		<ul style="list-style-type: none"> • Aşırı déformas -yonlar dışında dü-şey yöndeki arazi yüklerini taşıması ile trapez bağa göre daha başarılı olmuştur. 	<ul style="list-style-type: none"> • Özellikle yumuşak zeminlerde beton ayakla batması, sis-temi olumsuz yönde etkilemiştir.
MOLL BAĞ		<ul style="list-style-type: none"> • Yönlü yüklemeler dışında sistem sta-bilité ve taşıyıcı-lığını klasik ahşap tahkimata oranla daha büyük ölçüde koruyabilmektedir. 	<ul style="list-style-type: none"> • Taban kabarmasına karşı önlem alınma-dığından sistemin başarısızlığı kaçı-nılmazdır.
TRAPEZ BAĞ → BETON KAPLAMA		<ul style="list-style-type: none"> • Taşıma gücü klasik ahşap tahkimata göre daha yüksektir. • Donatı eksikliği nedeniyle, yönlü yüklemelerde çekme gerilmeleri-ne karşı dayanım azalmaktadır. 	<ul style="list-style-type: none"> • Taban kabarmasına karşı önlem alınma-dığından, etkin bir sistem değildir.
RİJİT BAS * BETON KAPLAMA		<ul style="list-style-type: none"> • Düşey yüklemelerde taşıma kapasitesi yüksek-tir. • Beton kalitesinin düşük olması siste-min genel taşıma kapasitesini olum-suz yönde etkile -mistir. 	<ul style="list-style-type: none"> • Taban kabarmasına karşı önlem alındı-ğında dayanım per -formasyonu yüksek olabilir.

Çizelge 4 – Taban Kabarma Olayı Kontrol Listesi ve Çözüm Alternatifleri



6.1. Tahkimat Tasarım Basıncının Kestirimi

• Verilen jeolojik ve işletme şartlarında tahkimat sistemine etkiyecek basınçların belirlenmesi için beş farklı yaklaşımdan yararlanılmıştır. Ulaşılan sonuçlar Çizelge 5'de özetlenmiştir.

Çizelge 5 yakından incelendiğinde, şu pratik sonuçlar çıkarılabilir: (3).

• Barton ve arkadaşlarının geliştirdiği ve büyük ölçüde jeolojik verileri içeren yöntem ile hesaplanan tahkimat basıncı beton kaplamanın kayma kırılmasına dayandırılan RABCEWICZ formülünün sonucu ile hemen hemen aynıdır.

Çizelge 5 — Tahkimat Basıncının Kestirimi.

Yaklaşım	Kestirilen Basıncı	D ü ş ü n c e l e r
BARTON ve Arkadaşları [17]	$P = 24$ t/m^2	• Ortamın jeomekanik parametrelerini içeren bir "Q" parametresi ile tahkimat basıncı belirlenmektedir,
RABCEWICZ [18]	$P = 25$ t/m^2	• Kaplama malzemesinin (beton) dayanımı tahribatsız deneylerle belirtilmiştir-
SIKORA-KIDYIBINSKI (191)	$P = 15-30$ t/m^2	• Tahkimat türü ve taşıma kapasitesi stabilite indeksine bağlıdır,
WILSON, [20]	$P = 27-15$ t/m^2	• izin verilebilen bir çapsal kapanma değeri için tahkimat basıncı belirlenebilir,
ARIOĞLU, (21)	$P = 20$ t/m^2	• Tahkimat sisteminin ve malzemesinin yük altındaki yapısal davranışı esas alınmaktadır»

• Yumuşak ve zayıf formasyonlar için kullanılan WILSON formülü büyük ölçüde çapsal kapanmaya bağlıdır. Diğer bir deyişle, artan çapsal kapanma ile tahkimat basıncı azalmaktadır. Gözlenen düşey kapanma değerleri (0,75-1,0m) için bulunan tahkimat basınç ile Sıkora-Kıdyibinski'e göre belirlenen tahkimat basınç değeri az-çok uyum içindedir.

• Tahkimat sisteminin göçme durumundaki yapısal davranışına dayandırılan ARIOĞLU yöntemi oldukça iyi sonuçlar vermiştir.

7. TEKLİF EDİLEN TAHKİMAT SİSTEMLERİ

7.1. Püskürtme Beton İçersinde Bırakılmış Rifit Çelik Bağların ve Çimento Harçlı Taban Cıvatalarının Tasarımı (3)

Bu tasarımda benimsenen ana ilke, taşıyıcı sisteme etki edecek yüklerin (tavan, yanal duvar, taban) galeri açılır açılmaz taşınmasıdır. Sisteme ait proje büyüklükleri Çizelge 6'da sunulmuştur. Tasarımda kabul edilen esaslar (3,2) referanslarında rapor edildiğinden burada tekrar bu konuya değinilmeyecektir.

7.1.1. Tahkimat Sisteminin Yerinde Davranışı

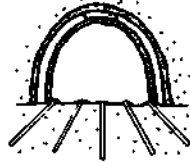
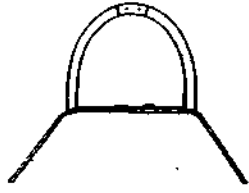
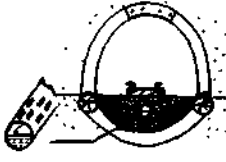
Sistemin yerinde davranışını belirlemek için konverjans ölçümleri yapılmış ve Şekil 10 a'da zamanın fonksiyonu cinsinden değerlendirilmiştir. İzlendiği üzere, kümülatif düşey hareket 0,95 m. mertebesinde olup, yaklaşık 7 haftalık süre içinde 5 kere olmak üzere, 0,70 m.'ye ulaşan "taban indirme" işlemi yapılmıştır. Suyun, düşey hareket üzerindeki belirgin etkisi ilginçtir (Şekil 10). Sistem üzerinde ana tasarım ilkelerini önemli ölçüde zedeleyebilecek bazı "yapısal değişiklikler" yapılmıştır (4). Örneğin, formasyonun suya karşı aşırı duyarlılığı nedeniyle deliklerin "kuru delme" işlemiyle açılması gerekirken, delikler sulu olarak delinmiş, dolayısıyla taban cıvataları yerlerinden sıyrılıp yukarıya doğru çıkmışlardır. Böylelikle su gerek tabanın basınç direncini gerekse civata ile zemin arasındaki aderans köprüsünü sağlayacak harcın kayma dayanımını olumsuz yönde etkilemiştir. Diğer bir deyişle, su taban cıvatalarının taşıyıcılık performansını ortadan kaldırmıştır.

7.2. Çelik Halatlı Taban Çerçevesi Tasarımı

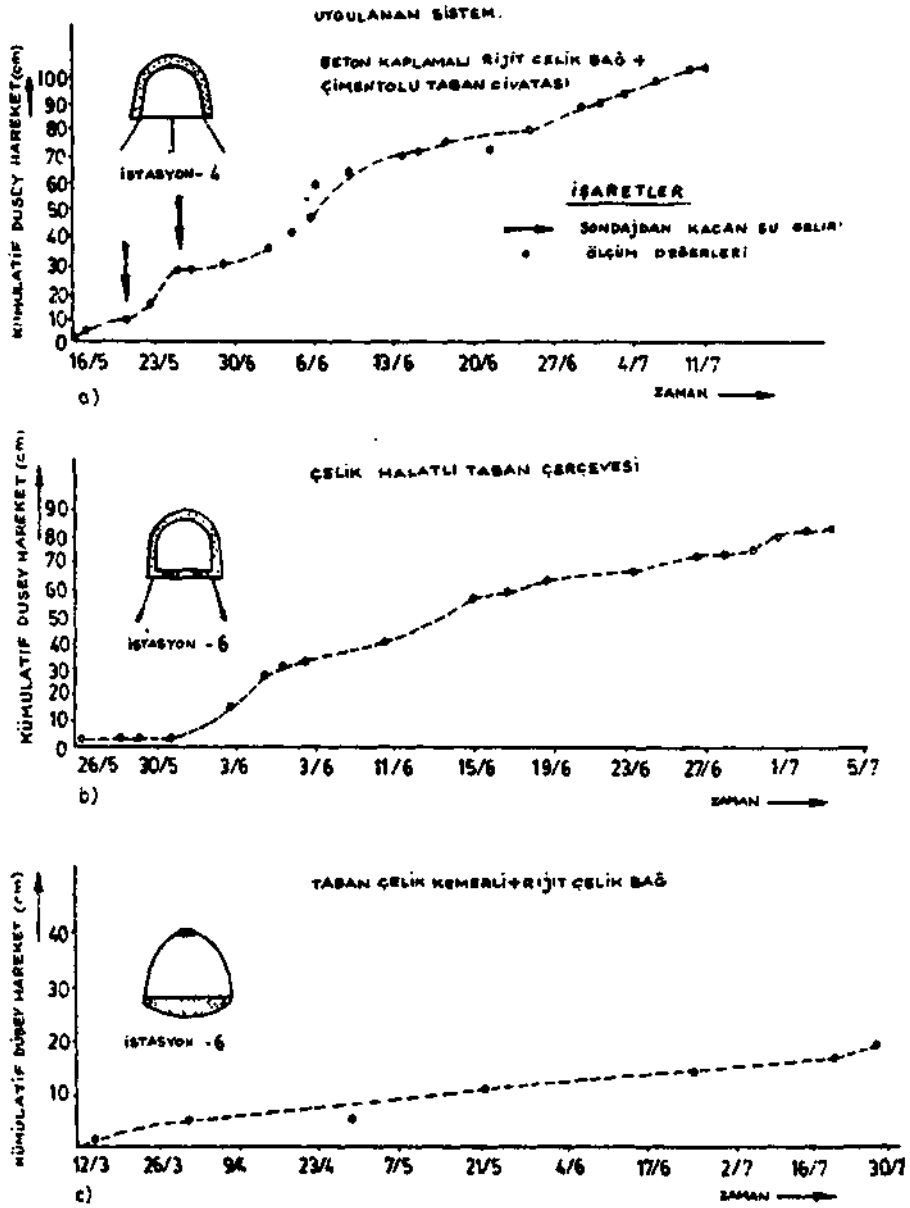
Bu sistem ise Çizelge 6.b'de yapısal ayrıntıları ile birlikte gösterilmiştir. Bu tasarımda tavan ve yanal yükler ($P = 20 \text{ t/m}^2$) püskürtme beton kaplamalı rijit çelik bağlar tarafından taşınmaktadır.

7.2.1. Tahkimat Sisteminin Yerinde Davranışı

Bu sistemle tahkim edilen pilot bölgede gerçekleştirilen konverjans ölçmelerinin sonuçları Şekil 5.b'de belirtilmiştir. Buna göre, kümülatif düşey hareket 0,80 m. gözlenmiş olup, 5 haftalık süre içinde 4 kere olmak üzere 0,80 m.'ye varan "taban indirme" işlemi uygulanmıştır. Anılan sistemin ankraj deliklerinin delinmesi keza su ile yapıldığından, gerek delinen deliklerden gerek sondaj dolaşım suyunun bir kısmı galeri tabanına kaçmış ve bu su uygulama alanını etkilediği gibi, birinci sistemin bulunduğu alanı da geniş çapta etkilemiştir. Su kaçağının devam etmesi ve üst kaplama yapımının çok geç

Sistem	Şekli	Sistemin Özelliği	Sistemin Boyutları
(a) PÜSKÜRTME BETON KAPLAMALI RİJİT ÇELİK BAĞ ÇİMENTO HARÇLI TABAN CİVATASI		<ul style="list-style-type: none"> • Taşıma gücü yüksek, deformasyon kabiliyeti sınırlıdır. • Yükler (tavan-yanal) rijit çelik bağ ile, taban basıncı harçlı taban civataları ile sağlanmaktadır ($P=20 \text{ t/m}^2$) • Yumuşak formasyonlarda 0.20 m.kalınlığında beton uygulanmaktadır (Su ve hava girişine karşı) • Sistemin bireysel taşıyıcılığı ihmal edilerek emniyetli taşıma kapasitesi arttırılmıştır. 	<ul style="list-style-type: none"> • Profil:GI140 $W=227 \text{ cm}^3$ $F=53 \text{ cm}^2$ dir. • Bağ aralığı: $a = 0.50 \text{ m.}$ • Civatalar arası mesafe $a = 1.0 \text{ m.}$ • Civata çapı, $d = 3.4 \text{ cm.}$ • Civata uzunluğu $L : 2.75 \text{ m.}$ • Delik çapı $D : 4.6 \text{ cm.}$ • Galeri yüksekliği $h : 3.25 \text{ m.}$ • Galeri açıklığı $l : 4.00 \text{ m.}$
(b) ÇELİK HALATLI TABAN ÇERÇEVESİ		<ul style="list-style-type: none"> • Yükler (tavan-yanal) beton kaplamalı rijit çelik bağlarla taşınmaktadır ($P = 20 \text{ t/m}^2$) • Sistem düzgün yayılı yüke çalışan "basit-kiriş" gibi modellenmiştir. 	<ul style="list-style-type: none"> • Çerçeveler arası $a = 0.5 \text{ m.}$ • Eğilme açıklığı $l = 2.0 \text{ m.}$ • Halat kesik alanı $F = 2.3 \text{ cm}^2$ • Halat çapı $d = 2.5 \text{ cm.}$ • Ankraj uzunluğu $L = 3.70 \text{ m.}$
(c) TABAN ÇELİK KEMERLİ-RİJİT ÇELİK SİSTEM		<ul style="list-style-type: none"> • Kabarmaya eğilimli kısmın galeri ilerlemesi ile birlikte alınması tasarlanmaktadır. • Taban Ünitesinin "parabol" formunda (normal gerilmeye çalışması) büyük tavan basıncını karşılayabilme özelliğine sahiptir. • Kabarma olayını aktive eden suyun etki drenaj sistemiyle uzaklaştırılabilmektedir. • "Oturtma Sarmaları" ile sisteme, esneklik ve direnç sağlanabilmektedir. 	<ul style="list-style-type: none"> • Profil : GI 140 $W=227 \text{ cm}^3$ $F= 53 \text{ cm}^2$ • Bağ aralığı $a = 0.5 \text{ m.}$ • Galeri yüksekliği $h = 3.35 \text{ m.}$

Çizelge 6 — Projelendirilen Tahkimat Sistemleri [41].



Şekil 10 — Denenen Tahkimat Sistemlerinde Gözlenen Düşey Hareketlerin Zamanla Değişimleri

oluşması sistemin genel başarısını azaltmıştır. Buna karşın, birinci sisteme oranla galerinin genel stabilitesini sağlamada daha iyi bir "performans" gösterdiği anlaşılmaktadır. Elde edilen bu sonuç ankraj uzunluğunun birinci sisteme kıyasla %35 daha uzun olması ile açıklanabilir (22).

7.3. Taban Çelik Kemerli-Rijit Çelik Tahkimat Sisteminin Tasarımı

Bu tasarımda temel değişiklik, taban kabarmasına yatkın zonun galeri açılımı ile birlikte alınması ve bu kısmın eksen eğrisi az-çok parabol olan kemer ile tahkimlidir. Alt taban ünitesinin parabol seçilmesinin başlıca amacı, taban basıncından oluşacak eğilme gerilmelerini elimine etmek dolayısıyla ünitenin sadece normal gerilmeye çalışmasını temin etmektedir (23). Sistemin teknik özellikleri ve geometrik boyutları ile ilgili bilgi ayrıntılı şekilde Çizelge 6.c'de belirtilmiştir.

7.3.1. Tahkimat Sisteminin Yerinde Davranışı

Bu sistemle tahkim edilen deneme galerisinde (30263 batı lağım) düşey hareketin gelişimi Şekil 5.c'de gösterilmiştir. Değişim yakından incelendiğinde, toplam düşey hareketin 20 hafta sonunda 0,15* m. dolayında olduğu anlaşılmaktadır. Diğer denenen sistemlerle karşılaştırıldığında bu sistemin 4-5 ay gibi oldukça uzun bir dönem boyunca taban kabarmasına karşı çok başarılı bir performans gösterdiği açıktır. Elde edilen bu sonuç;

- Kabarmaya eğilimli, labil kısmın galeri ilerlemesiyle birlikte alınması,
 - Taban ünitesinin "parabol" formunda tasarlanması, dolayısıyla bu elemanın sadece normal gerilmeye çalışmasını temin edilerek daha büyük taban basıncını karşılayabilme olanağına sahip olması,
 - Kabarma olayını aktive eden suyu, etkin bir drenaj düzeni (Çizelge 6.c) ile uzaklaştırılması.
 - Oturma sarmaları ile sisteme sağlanan esneklik,
 - Geçilen formasyonun bir ölçüde göreceli olarak daha dirençli olması ile
- açıklanabilir (4).

8. SONUÇLAR

Bu çalışmada ulaşılan bellibaşlı sonuçlar şunlardır:

- Suyun kıltaşı-marn formasyonu üzerindeki fiziko-kimyasal etkileri ve açıklık etrafındaki gerilme dağılımı kabarma olayında "ana belirleyici" faktörlerdir. Nitekim, sczkonusu formasyonun kabarma potansiyeli çeşitli ölçütlere (Şekil 7) göre "çok yüksek" bulunmuştur.
- Taban kabarmasını en aza indirmek için denenen çeşitli tahkimat sistemleri (Çizelge 6.c) arasında, balast döşemeli parabolik taban çelik kemerli-rijit çelik bağ sistemi %6'lık bir konverjans (Şekil 10.c) ile en iyi performansı göstermiştir. Elde edilen bu sonuç, sistemin (7.3.1.) bölümünde belirtilen özellikleri ile açıklanabilir.

KAYNAKLAR

1. ARIOĞLU, E., YÜKSEL, A., OKTAY, M., "Alpagut-Dodurga Linyitleri Killerinin Teknolojik özellikleri," 1. Ulusal Kil Sempozyumu, Çukurova Üniversitesi, Adana, S. 187-197, 1983.
2. BIRON, C, ARIOĞLU, E., BİLGİN, N., ACAR, D.K, "Alpagut-Dodurga Linyit İşletmesi Galerisi Kabarma Etüdü ve Tahkimat Tasarımı", Maden İşletme Sempozyumu, 9 Eylül Üniversitesi, İzmir, 1985.
3. ARIOĞLU, E., YÜKSEL, A., Design Considerations of Supports of Development Roadways For High Rock Pressure Conditions, 9 th. Plenary Scientific Session of International Bureau of Strate Mechanics, Varna, 1985, A.A. Balkema, Rotterdam, S. 135-143, 1986.
4. ANON., Alpagut-Dodurga Linyit İşletmesi, Galerisi Taban Kabarma Etüdü ve Tahkimat Etüdü, İ.T.Ü. Maden Fakültesi UY-GAR Proje No. 15/1986, Yayınlanmamış.
5. CHEN, F.G., Foundations On Expansive Soils, Elsevier Scientific Publishing Company, New York, 1975.
6. EINSTEIN, H.H., "Design and Construction of Tunnels In Swelling Rock, Rock" Mechanics Effects of Moisture on Ground Control in Mining and Tunnelling, Society of Mining Engineers of AIME, Littleton, S. 1-14, 1981.
7. YÜCEKENT, U., "ADL İşletmesi — Çorum'da Maden Galerilerinde Görülen Taban Kabarması," 2. Kömür Kongresi, Maden Mühendisleri Odası, Zonguldak, S. 511-533, 1980.
8. SOWERS, G.F., Introductory Soil Mechanics Foundations Geotechnical Engineering, MacMillan Publishing Co., Inc., New York, 1979.
9. HOLTZ, W.G, GIBBS, J.J. "Engineering Properties of Expansive Clays," ASCE Transactions Paper No. 2814, Vol. 121, 1956
10. OLIVER, H.J., A New Engineering Geological Rock Durability Classification, Engineering Geology, 14, Elsevier Publishing Company, Amsterdam, S. 255-279, 1979.

11. SEEGMILLER, B.L., "Geotechnical And Stability Requirements For Future Coal Mines," 1 st. International Conference on Stability in Underground Mining, Vancouver, Canada S. 223-243, 1982.
12. BİRÖN, C, ARIOĞLU, E., Madenlerde Tahkimat İşleri ve Tasarımı, Birsen Kitabevi, İstanbul, 1980.
13. SINGH, R.N., HASSANI, F.P., ELKINGTON, P.A.J., "The Application of Strength and Deformation Index Testing to The Stability Assessment of Coal Measures Excavations," 24.th U.S. Symposium on Rock Mechanics June 1983, p. 599-609.
14. KIDYBINSKI, A., Rebound Number and the Quality of Mine Roof Strata, Int. J., Rock Mech. Min. Sei., 5, S. 283-292, 1968.
15. ZASLAVSKIY, Y.Z., "Some Aspects of the Support of Deep Permanent Workings," 5. International Strata Control Conference, London, S. 1-6, 1972.
16. KOVARI, K., MADSEN, F.I., AMSTAD, Ch., "Tunnelling With Yielding Support In Swelling Rocks," Proceedings of the International Symposium on Weak Rock, Tokyo, S." 1019-1026, 1981.
17. BALTON, N., "Engineering Classification of Rock Masses for Designing of Tunnel Supports," Rock Mechanics, Vol. 6, No. 4, Springer Verlag Wien, 1974.
18. RABCEWICZ, L., "Stability of Tunnel Under Rock Loads," Water-Power, 21, 6, 1969.
19. SIKORA, W., KIDYBINSKI, A., Rock Stability For Proper Choice of Roadway Supports, Mining Technology Research Centre, Central Mining, Institut, Katowice.
20. WILSON, A.H., Stability of Underground Working in the soft Rock of Coal Measures, Ph.D. Thesis, University of Nottingham, 1980.
21. ARIOĞLU, E., Factors Affecting the Design of Support System For use In Roadways Associated with Longwall Faces in Coal Measure Strata, Ph.D. Thesis, New Castle Upon Tyne University, 1976.
22. OLDENGOTT, M., "Maßnahmen Zur Verringerung der Sohlenhebung," Gluckauf-Betriebsbücher Band 26, Verlag Gluckauf GmbH, Essen, 1981.
23. ARIOĞLU, E., "Tünel Tasarımında Tahkimat Basınçlarının Belirlenmesi," Tünellerin Projelendirilmesi ve İnşası Semineri, D.S.İ., Teknik Araştırma ve Kalite Kontrol Dairesi, Adana, 6-9 Mayıs, cilt 4, S. 16. 1-16. 22, 1986.