

**ELİ SOMA IŞIKLAR DESANDRESİNDE KARŞILAŞILAN  
SORUNLAR, DENENEN TAHKİMAT ŞEKİLLERİ VE ÇÖZÜM  
ÖNERİLERİ****The Problems Encountered in ELİ Soma Işıklar Inclined Shaft, Applied Support Systems and  
Solution Recommendations****Yılmaz ÖZÇELİK (\*)  
Seyfi KULAKSIZ (\*\*)****Anahtar Sözcükler:** Şişme, şişme mekanizmaları, tahkimat tasarımı**ÖZET**

Tünellerin yapımı sırasında karşılaşılan üçüncül basınçlar çoğu kez fiziksel ve kimyasal tepkimelerle hacmi artan kayaçlar tarafından oluşturulmaktadır. Yüksek oranda şişmeye yatkın kil minerali içeren formasyonlarda açılan galerilerin tahkimatlarında gözlenen en önemli sorun, şişme basıncının neden olduğu ortamdaki aşın basınçlar, deformasyonlar ve bunun sonucu tahkimat çökmeleridir.

Bu çalışmada, ELİ Işıklar Yeraltı Projesi çerçevesinde yüksek oranlarda şişme potansiyeline sahip olan killi bir birimde açılmakta olan başaşağıda karşılaşılan problemler konu edilmiştir. Çevre kayaç olan kiltaşının mekanik özellikleri ayrıntılı bir laboratuvar deney programı ile belirlenmiştir. Başaşağıda bu güne kadar kullanılmış olan tahkimat yöntemleri analiz edilerek, duraylılığın sağlanabilmesi açısından yapılması gerekenler özet halinde sunulmaktadır.

**ABSTRACT**

Tertiary pressures during the construction of tunnel are generated by rocks which increase their volumes with physical and chemical reactions. The main problems in supporting an underground opening where the formations mainly consist of clay minerals with very high rate of swelling properties, are excessive pressures generated by swelling, deformation and thus support failures.

This paper is concerned with the instability problems faced at a mine opened in claystone with high swelling capacity for ELİ Işıklar Underground Project. Mechanical properties of surrounding claystone were determined by a detailed laboratory testing program. Support systems applied upto date were analyzed and necessary precautions that should be taken to maintain stability are briefly presented.

\* Araştırma Görevlisi, H.Ü. Maden Müh. Böl. 06532 Beytepe/ANKARA

\*\* Prof. Dr. H.Ü. Maden Müh. Böl. 06532 Beytepe/ANKARA

Tünellerde şişme basıncının çok etkili olduğu i durumlarda oluşan yüksek basınç koşullarında 'yenilme çok karmaşıktır. Ortamdaki formasyonun yapısının ve kil minerallerinin davranışının uzun süreli yerinde gözlemler ve laboratuvar deneyleriyle belirlenmesi çok önemlidir.

Ege Linyitleri İşletmesi (ELİ) Soma Işıklar Ana Nakliye Desandresi yüksek oranda montmorillonit tipi kil minerali içeren formasyonda açılmaktadır. Şişme potansiyeli çok yüksek olan bu minerali içeren ortam içinde açılan desandrede aşın şişme basıncı nedeniyle deformasyonlar gözlenmekte ve bunun sonucunda tahkimat\*\* çökmeleri oluşmaktadır.

Bu çalışmada, şişme olayına sebep olan faktörler açıklanarak desandrenin açıldığı formasyonların jeomekanik büyüklükleri belirlenmiş, daha önceden denenmiş tahkimat sistemleri analiz edilerek ortamın jeolojik yapısı gözönüne alınmadan açılan bu desandrede yapılması gerekenler öneri şeklinde sunulmuştur.

## 2. KAYAÇLARIN ŞİŞMESİ

### 2.1. Şişme

Sayla kayaç ve kayaç oluşturan bazı kil minerallerinin fiziko-kimyasal reaksiyonu sonucu oluşan zamana bağlı hacim artışıdır (Franklin and Ousseault, 1989). Birçok şişme şekli suyla farklı minerallerin- reaksiyonu veya bunların sonucunda yeni bir mineralin oluşumuyla meydana gelir. Aşağıdaki mineraller şişme olayına neden olabilir:

- a) Simektit (Montmorillonit, Vermikülit, Kaolinit)
- b) Anhidrit
- c) Kireçli şeyllerdeki bazı sülfürlü mineraller (Selmeretal, 1989).

Yapılan çalışmalarda şişen kayaçlarla faylar, damarlar, çatlaklar, kırılmış kayaçlar yada diğer süreksizlik içeren zayıf zonlar arasında ilişki kurulmuş ve kayaç kütlelerinin kabarmasının

süreksizine içeren kaya kütlelerindeki dolgu malzemelerinin kabarması olarak, ana kayanın kabarması veya bunların bir kombinasyonu olarak oluşabileceği belirtilmiştir (Selmer et al., 1989).

### 2.2. Şişmeyi Etkileyen Önemli Faktörler

Şişmeyi etkileyen en önemli faktörler şunlardır (Selmeretal., 1989).;

- a) Şişme özelliğine sahip kil minerallerinin tipleri ve miktarları
- b) Kararsız katyon tipleri ve miktarları
- c) Malzemenin konsolidasyon derecesi
- d) Yeraltı su seviyesi ve suya karşı duyarlılık
- e) Kazı sonrası yük boşalmasının derecesi
- f) Şişen malzemenin tane boyutu
- g) Ortamdaki malzemenin pekişme derecesi

### 2.3. Killi Kayaçlarda Şişme Mekanizmaları

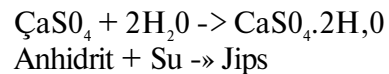
a) Mekanik Şişme: Gerilme rahatlaması aşırı gözenek basıncı sağlar, sonra yeraltı suyu gözenekler içine doğru akar, aşırı gözenek basıncı dengelenir ve basınç artışı olur.

b) Ozmatik ve Taneler Arası Şişme: Bu mekanizmada su, kil parçacıklarının dış yüzeyine soğurulur ve su molekülleri "çift tabaka" da yerini alır. Bu mekanizmalar mineralojiye, dönüşümde uygulanan gerilmeye ve kil mineralleri arasındaki uzaklığa bağlıdır.

c) Taneler Arası Şişme: Bu şişme şekli simektitler gibi, genişleyebilen tabakaya sahip kil minerallerinin bünyesine su soğurması sonucu oluşur (Einstein, 1993).

### 2.4. Diğer Minerallerin Şişme Mekanizmaları

a) Anhidritin Jipse Dönüşümü: Anhidritin şişmesi genişleme özelliği gösteren killerin şişmesine oranla çok daha az sıklıkta rastlanan bir durumdur, Anhidritin şişmesi basit bir hidratasyon mekanizmasıdır.



Burada olay uygun sıcaklıkta tek bir aşamada gerçekleşmez. İlk önce anhidrit suyla temas sonucunda çözünür ve daha sonra jips olarak tekrar çökelir. Böylece eğer anhidrit açık sistemde suyla temas ederse teorik olarak %60 hacim artışıyla jipse dönüşür (Franklin and Ousseault, 1989).

o) **Jips Markazit Reaksiyonu:** Burada genişleme jips kristalinin ve bağlantı minerali olan şeyi içinde piritin demir okside oksidasyonu ile oluşan jarosit kristallerinin gelişmesiyle olur. Oluşan minerallerin hacmi orijinal bileşenlerinkinden biraz büyüktür (Franklin and Ousseault, 1989).

Suyun donması, zamana bağlı hacim artışına önderlik etmesine rağmen önemli bir şişme mekanizması olarak düşünülmez. Özellikle, kayaçlarda bu mekanizmaların önemli bir kısmı buzun erimesi aşamasında çatlak oluşumunun gelişimi veya donma kırılmalarını içermektedir. Bu diajenetik bağların kırılmasını içeren bir mekanizma olarak tanımlanmaktadır (Einstein, 1989).

## 2.5. Şişen Kayaçlarda Tünel Tasarımı ve Analizi

Kazı sonucu açılan tünellerdeki killi veya kil içeren kayaçlardaki şişme olayı (litoloji ve bileşime bağlı olarak) kayaçta oluşan gerilme ve tabandaki gerilme rahatlaması sonucu oluşur. Bazı araştırmacılar ise (Grob, 1972 ve Gysel, 1987) tünellerin kenar zonlarında veya duvarlarındaki tekrar sıkışma alanlarını potansiyel şişme alanları olarak tanımlanmaktadır.

Şişen kayaçlarda tünel açılırken tasarım mühendisleri şişme potansiyelinin neden olduğu belirgin problemlerle karşılaşır. Bunlar taban kabarması, aşırı basınçlar ve tünel kaplamasındaki hasarlardır (Katzir and David, 1968 ; Gysel, 1977). Bu yüzden şişen kayaçlar için bir tasarım modeli geliştirmek çok önemlidir. Tasarım yöntemleri genellikle odometre deneyinden elde edilen tek

eksenli şişme kuralı kullanılarak geliştirilmiştir (Grob, 1972 ; Kovari et al., 1988).

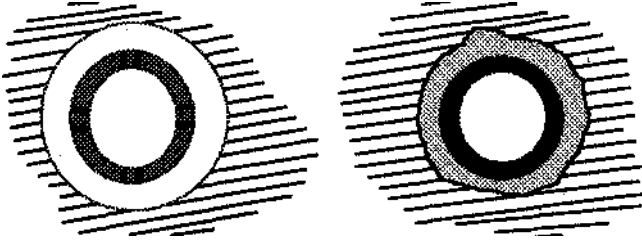
Einstein ve Belward (1987) tünellerde şişme basıncı ve deformasyonun belirlenmesi için aşağıdaki üç özelliğin bilinmesi gerektiğini belirtmişlerdir:

- a) Zeminde ilk gerilme durumu
- b) Şişen killerin drenaj sız davranışı
- c) Şişen killerin drenajlı davranışı

Akma, drenajlı ve drenaj sız durumlardan herhangi biri boyunca oluşabilmektedir. Bu akma çoğunlukla şişen killerin drenajlı davranışına önderlik eder. Bu davranışı anlamak için üç eksenli durumda drenajlı ve drenajsız laboratuvar deneyleri yapmak gerekir (Einstein ve Belward, 1987). Şişen kayaçlarda tasarım şişme ve zamana bağlı deformasyonların engellenebileceği şekilde yapılabilir (Einstein, 1989). Şişen zeminlerde tahkimat tasarımında aktif ve pasif yaklaşım olmak üzere iki tür yaklaşım vardır:

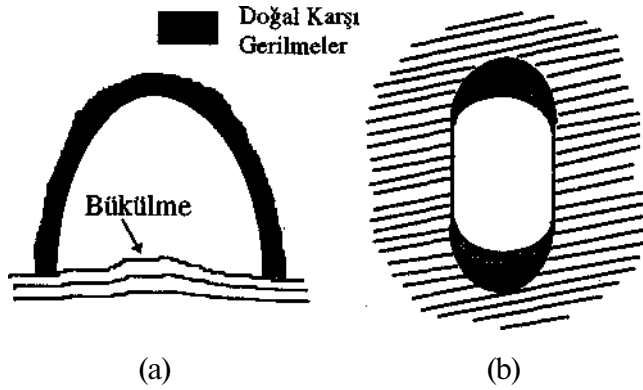
- a) **Pasif Yaklaşım:** Şişen zeminlerde traşlama ve tarama yapılması en basit pasif tasarım yaklaşımıdır. Şişen zeminin kaldırılması karşı gerilmeleri engelleyeceğinden tarama sonucunda meydana gelecek yer değiştirmeler duraylılık açısından sonuçta daha ciddi problemler doğurur. Bu da tabaka kontrolünü olumsuz yönde etkileyeceğinden ters bir yaklaşımdır (Einstein, 1989).

Diğer bir pasif yaklaşım örneği ise tahkimat ve açıklık arasında boşluk bırakılması veya sıkışabilir malzeme yerleştirilmesidir. Burada tahkimata basınç gelmeden önce araya konulan malzeme, kırılabilir ve sıkışabilir olmalıdır. Şekil 1'de gösterilen arka doldurum veya sıkışabilir eklem elemanlarına sahip tahkimat sistemleri, pratikte uygulanmakta olan pasif yaklaşımlara örnek olarak verilebilir.



Şekil 1. Pasif yaklaşıma göre şişen kayaçta galeri tahkimat tasarımı

b) **Aktif Yaklaşım:** Bu tür tahkimat tasarımında deformasyona izin verilmeden hemen tahkimat yapılmaktadır. Açıklığın şekli gerilme durumuna yakın olacak şekilde seçildiğinde bu durum şişme potansiyelim azaltacaktır. Dairesel veya yay şeklindeki tahkimatların düz yüzeyli tahkimatlara oranla daha büyük karşı gerilmeleri sağlamaları nedeniyle açıklık çevresinde daha düzgün yük dağılımı sağlarlar. Dairesel ve yay şeklindeki bu yüzeylerin altındaki zeminin şişmesi, bir yay etkisinin gelişimine bağlı olarak yanal gerilmelerde önemli artış sağlayacaktır (Şekil 2).



Şekil 2. Aktif yaklaşıma göre şişen kayaçta galeri tahkimatı tasarımı

- Düz tabanın bükülmesi aşırı şişme kabarmasına sebep olur.
- Eğilmiş tabanın altında doğal karşı gerilme oluşumu.

Orijinal tasarımda büyük yarıçaplı taban yayı önerilmektedir. Ancak, daha fazla kalınlık ve daha küçük yarıçaplı bir taban yayının daha uygun olduğu ileri sürülmektedir (Einstein, 1989).

Kaya saplamaları ile karşı gerilmelerin uygulanması diğer bir yöntemdir. Burada kaya saplamalarının galeri çevresindeki plastik zondan elastik zona kadar ankraj sağlaması gerekmektedir. Galerilerinin büyük olduğu durumlarda bu yaklaşım teknik olarak uygulanamaz. Bu durumda çok sayıda saplamanın yerleştirilmesi ekonomik olarak mümkün olmayabilir (Santos and Bienawski, 1989).

Şişme yer değiştirmeleri ve özellikle şişme zamanının tahminindeki belirsizlik tünel kazısının yerel şartlar altında uygun olarak yapılmasını gerektirir. Yapısal ve gözlemsel yaklaşımlar kullanılarak farklı olasılıklara sahip tasarımlar geliştirilmelidir (Einstein, 1989);

### 3. ORTAMIN JEOLJİSİ

İncelenen Soma Işıklar Ana Nakliye Desandresi'ni kestiği belirlenen en problemleri formasyonlar killerdir. Bu kayaçların doğrultu ve eğimleri çok değişken olup bazı yerlerde desandreye paralel bazı yerlerde desandreye 20 - 30°'lik açı yapmaktadır. Desandreyi kestiği belirlenen kayaçların genelleştirilmiş sütun kesiti Şekil 3'de verilmiştir. Desandreyi değişik metrelerde beş adet fay kesmektedir. Desandre faylanma olayı ile rahatsız edilmiş bir ortam içinde tabakaların konumu göz önüne alınmadan açılmış ve desandre üzerinde aşırı makaslama kuvvetlerinin etkisi sözkonusu olmuştur.

Desandrenin kestiği killerden alınan dokuz adet numune üzerinde yapılan X-ışını difraksiyonu çalışmaları sonucunda etkin kil mineralinin montmorillonit olduğu bulunmuştur. Çizelge 1'de şişme potansiyeli çok yüksek olan kil minerallerinden üç tanesinin X-ışın difraksiyonu sonucu verilmiştir.

Zaman	Devir	Devre Sıra	Katman (m)	LİTOLOJİ
SENOZOYİK	TERSİYER	PLİOSEN	1-40	Yasak molozu
			150-700	Çakıl-kil İğlit-çarn
			20-25	Linyit horozonu
			100-170	Kil, Silt, Kumtaş
			10-15	İnce tırtıkta kireçtaşı
			40-100	Kireçtaşı
			80-150	Merz
			1-30	Allüvyal horozonu
			0-5	Kil, Silt, Kumtaşı
			0-5	Rakorizante kireçtaşı
PALEOZOİK	TERZİYER	MİOSEN	1m	Grovak
1m			Grovak	

Şekil 3. Soma Işıklar Desandresi yöresi geliştirilmiş sütun kesiti

Çizelge 1. Desandreden alınan kil numunelerinin X-ışını difraksiyonu sonucu.

Örnek No	Simektit(%)	İllit(%)	Kaolinit(%)
3. Numara	99	1	—
4. istasyon	99	1	—
2. istasyon	100	—	—

#### 4. DESANDREDEKİ FORMASYONLARIN JEOTEKNİK ÖZELLİKLERİ

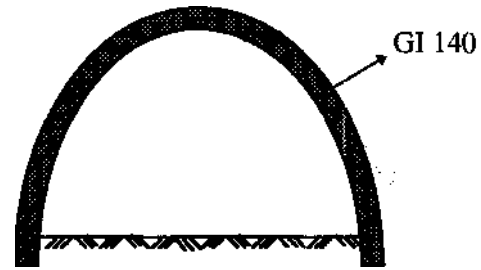
ELİ Soma Işıklar Desandresi'nin değişik metrelerinden alınan kil numuneleri üzerinde zemin mekaniği deneyleri yapılarak kayaçların şişmeye yatkınlığı belirlenmeye çalışılmıştır. Yapılan deneylerin sonuçları Çizelge 2'de verilmiştir.

#### 5. İŞLETMEDE ŞİMDİYE KADAR DENENMİŞ TAHKİMAT SİSTEMLERİ

Aşın yükler altında açılmaya çalışılan Soma Işıklar Nakliye Desandresi'nde bugüne kadar altı değişik tahkimat sistemi denenmiş, daha yuvarlaklaştırılmış yedinci sistem ise henüz daha denenmemiştir. Bu tahkimat sistemlerinin üzerinde yapılan analizler aşağıda verilmiştir.

##### 5.1. Birinci Tahkimat Sistemi

İşletmede denenilen ilk tahkimat sistemi GI 140 rijit bağdan oluşmaktadır.



Şekil 4. İşletmede denenilen ilk tahkimat sistemi

**Taşıyıcılık:** Hiperstatik karekterde olduğu için akma sonrası ek bir taşıyıcılığı vardır. Fakat zayıf formasyon şartlarında galeri deformasyonuna uyum sağlamaz. Tahkimata gelen plan dışı yüklemelere karşı taşıyıcılığı düşüktür.

**Arazi Kontrolü:** Taban stabilite probleminin bulunduğu ve şişmenin olduğu yerlerde uygulanamaz. Uygulanması, batma ve burkulma sorunları yaratır.

**İşçilik ve Maliyet:** İşçiliği kolay ve maliyeti düşüktür.

Desandrenin 300. m'sine kadar sert birimlerde başarıyla uygulanmış ve tektonikçe aşırı deforme olan zonlarda yan duvarlara 1 m'lik beton atılmış fakat bu metreden sonra aşın kil içerikli birimlerde uygulanamamıştır.

Çizelge 2. Desandredeki formasyonların jeoteknik özellikleri.

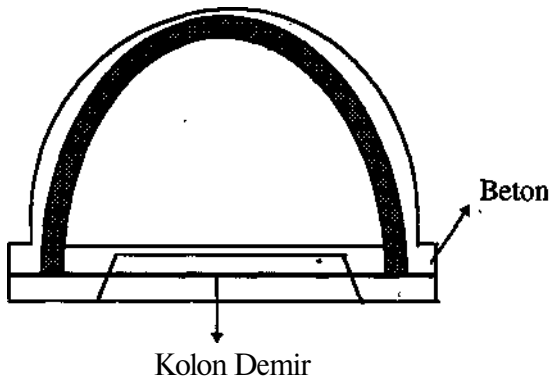
Özellikler	No1 1.ist	No2 2.ist	No3 3.ist	No4 4.ist	No5 A-tb	No6 A-yn	No7 A-tv	No8 2.Nu	No9 3.Nu	
Doğal Birim Hacim Ağırlığı (gr/cm <sup>3</sup> )	2.02	1.90	2.10	1.75	2.05	2.12	2.00	2.10	1.76	
Tane Birim Hacim Ağırlığı (gr/cm <sup>3</sup> ), G <sub>s</sub>	2.38	2.18	2.45	1.96	2.41	2.47	2.30	2.43	2.00	
Doğal Su İçeriği, W <sub>n</sub> , %	29	27	18.5	37	41.5	18.5	13	23	38	
Aktivite, A	2.73	3.51	3.08	4.78	1.73	1.18	---	1.67	5.04	
Plastik Limit, PL, %	42	38	36	56	39	33	27	33	52	
Likit Limit, LL, %	198	273	113	400	98	85	75	103	420	
Plastisite İndeksi, PI, %	156	235	77	344	59	52	48	70	368	
Büzülme Limiti, SL, %	10.4	28.5	32.8	19.2	18.8	23.4	23.8	21.5	35.5	
Büzülme Oranı, Sr	1.62	1.59	1.60	1.63	1.61	1.63	1.62	1.71	1.46	
Kıvamlık İndeksi, I <sub>c</sub> **	1.08	1.05	1.23	1.06	0.96	1.28	1.29	1.0	1.03	
T. Boyu Dağılımı	Kil %	67	77	35	82	44	54	4	70	83
	Silt %	27	7	28	5	32	14	26	24	6
	Kum %	6	16	37	13	24	32	70	4	11
Birleştirilmiş Zemin Sınıfı	CH*	CH	CH	CH	CH	CH	CH	CH	CH	
Üçgen Sınıflama Aşağına Göre	Kil	Kil	Kumlu Kil	Kil	Siltli Kil	Kil	Siltli Kum	Kil	Kil	
İçsel Sürtünme Açısı, $\phi$ (°)	10-14	9-12	11-15	7-10	13-18	11-19	30	11-17	8-10	
Kohezyon, C (MPa x 0.1)	0.20- 0.30	0.16- 0.25	0.30- 0.40	0.12- 0.18	0.60- 0.70	0.70- 0.80	0.80- 1.00	0.19- 0.25	0.17- 0.21	
Kuru Dayanım	Çok yüksek.	Çok yüksek.	Çok yüksek.	Çok yüksek.	Çok yüksek.	Çok yüksek.	Çok yüksek.	Çok yüksek.	Çok yüksek.	
Şişme Potansiyeli	Çok yüksek.	Çok yüksek.	Yüksek.	Çok yüksek.	Yüksek	Yüksek	Düşük	Yüksek	Çok yüksek.	
Şişme İndeksi	0.14	0.10	0.16	0.09	0.42	0.22	0.17	0.22	0.09	

\* CH: Plastisitesi yüksek inorganik kil, şişen kil

\*\* 1 o i için çok sert ; 1.0 > I<sub>c</sub> > 0.7 için sert

## 5.2. ikinci Tahkimat Sistemi

İşletmede, denenen ikinci tahkimat sistemini rijit bağ+çelik hasır+beton kaplama oluşturmaktadır.



Şekil 5. İşletmede denenen 2. tahkimat sistemi

**Taşıyıcılık:** Düşey yükleme durumunda taşıma gücü yüksektir. Beton kalitesinin düşük olması taşıma gücünü dolayısıyla sistemin taşıyıcılığını olumsuz yönde etkiler.

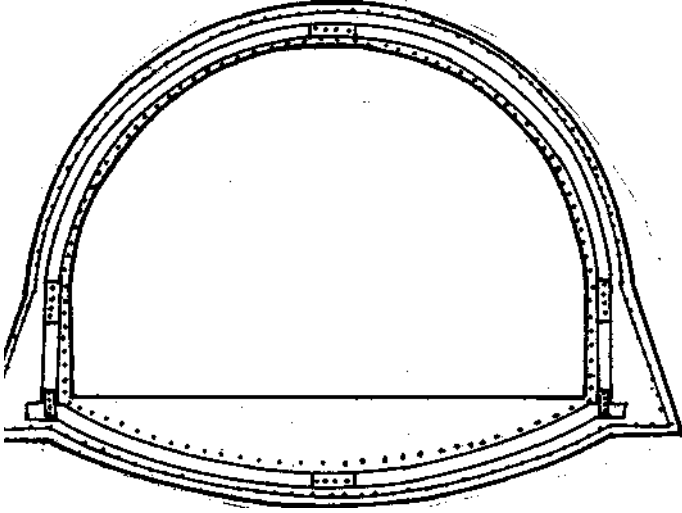
**Arazi Kontrolü:** Sistemde taban kabarma'na karşı tabanda kolon demir ve 50 cm düz beton kullanılmıştır. Fakat tabanın düz oluşu tabanda aşın basınç oluşumuna neden olmaktadır. Bu sistem ayrıca, fayların etkisine ve kilin şişmesine karşı etkin bir tahkimat değildir.

**İşçilik ve Maliyet:** İşçiliği zor ve maliyeti yüksektir.

Desandrenin 300-400 metreleri arasında kil içeren birimlere gelinceye kadar başarıyla kullanılmış fakat kilce zengin birimlerde uygulandığında başarısız olunmuştur.

### 5.3. Üçüncü Tahkimat Sistemi

İşletmede denenen üçüncü tahkimat sistemini püskürtme beton çelik hasır kaplamalı çelik bağ+taban yayı+kaya saplama oluşturmaktadır.



Şekil 6. İşletmede denenen 3. tahkimat sistemi

**Taşıyıcılık:** Düşey yükleme durumunda taşıma gücü yüksektir. Yanal basınç koşullarında taşıyıcılığı yeterli değildir.

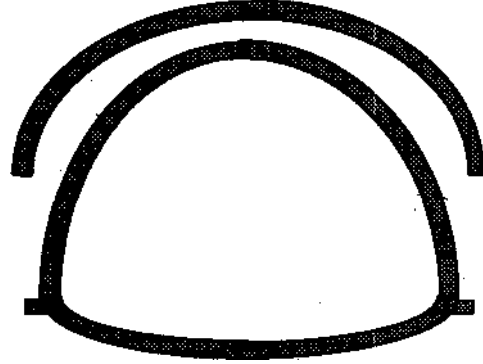
**Arazi Kontrolü:** Sistemde taban kabarmasına karşı taban yayı kullanılmasına karşın betonlama direkt kile yapıldığından killerin kendini yapraklanma şeklinde bırakıp şişmesinden dolayı yetersiz kalmaktadır. Ayrıca, denenen saplama elastik ortama ulaşamadığından uzunluğu yetersizdir.

**İşçilik ve Maliyet:** İşçiliği zor ve maliyeti yüksektir.

Desandrenin 350-400 metrelerinde kilde meydana gelen şişme ve tektonik hareketlerden dolayı taşıyıcılığı yeterli gelmediğinden bu sistemden de vazgeçilmiştir.

### 5.4. Dördüncü Tahkimat Sistemi

İşletmede denenen dördüncü tahkimat sistemini rijit bağ+beton kaplama+taban yayı+kılavuz kasa oluşturmaktadır.



Şekil 7. İşletmede denenen 4. tahkimat sistemi

**Taşıyıcılık:** Düşey yükleme durumunda taşıma gücü yüksektir. Yanal basınç koşullarında ve aksel yükleme koşullarında taşıyıcılığı yeterli değildir. Önden giden kılavuz kasa düşey yükü üzerine aldığından ön taşıyıcılığı vardır.

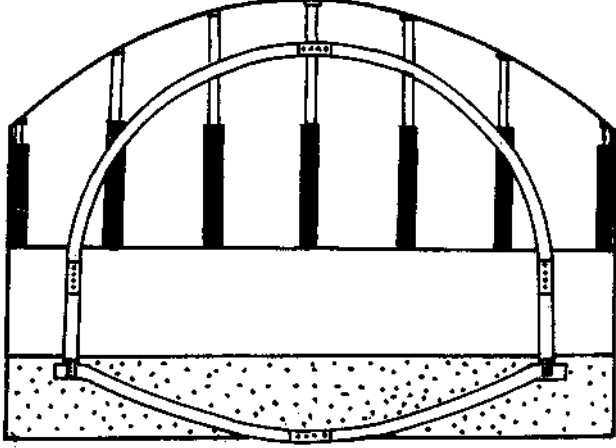
**Arazi Kontrolü:** Üstteki kılavuz kasa 5 metre önde giderken kilin şişmesinden ve tabakaların hareketinden dolayı üst kasa kapanmakta ve tekrar tarama yapmak gerekmektedir. Bu kılavuz sürümü ve tekrar taramalar şişmeyi daha da şiddetli hale getirdiğinden ve de tektonik hareketlerden dolayı arazi kontrolü yeterince sağlanamamaktadır. Ayrıca tahkimat tabanında verilen keskin köşeler tahkimatın daha da fazla basınca maruz kalmasına neden olmaktadır.

**İşçilik ve Maliyet:** İşçiliği zor ve maliyeti yüksektir. .

Desandrenin 400-450 metrelerinde denenmiş fakat aşırı şişme ve tektonik hareketlerden dolayı taşıyıcılığı yeterli gelmemiştir. Beton doğrudan kil üzerine atıldığından, beton priz almadan üzerine aşırı yük gelmiş ve tahkimat yeterli taşıyıcılık gösteremediğinden bu sistem de bırakılmıştır.

### 5.5. Beşinci Tahkimat Sistemi

İşletmede denenen beşinci tahkimat sistemini rijit bağ+beton kaplama+taban yayı+kılavuz hidrolik direkler oluşturmaktadır.



Şekil 8. İşletmede denenen 5. tahkimat sistemi

**Taşıyıcılık:** Düşey yükleme durumunda taşıma gücü yüksektir. Yanal basınç ve eksantrik yükleme koşullarında taşıyıcılığı yeterli değildir. Önde giden hidrolik direkler düşey yükü üzerine aldığından ön taşıyıcılığı vardır.

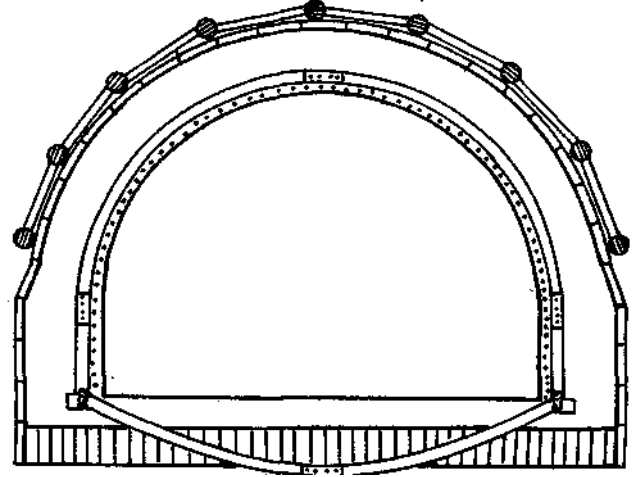
**Arazi Kontrolü:** Asın tektonik hareketlerin ve şişmenin olduğu ortamda yeterince arazi kontrolünü sağlayamamaktadır. Tabandaki keskin köşelerden dolayı tabandan gelen aşın basınçlara maruz kalmaktadır.

**İşçilik ve Maliyet:** İşçiliği çok zor ve maliyeti çok yüksektir.

Desandrenin 400-450 metrelerinde denenmiş fakat şişme ve tektonik hareketlerden dolayı taşıyıcılığı yeterli olmamıştır. Beton kaplama doğrudan kil üzerine yapıldığında beton priz almadan üzerine aşırı yük gelmiş ve tahkimat yeterli taşıyıcılık gösterememiştir. Ayrıca, tabanda yine keskin köşelerden dolayı aşırı basınç tahkimata etkimektedir.

### 5.6. Altıncı Tahkimat Sistemi

İşletmede denenen altıncı tahkimat sistemini rijit bağ+beton kaplama+taban yayı+kılavuz hidrolik direkler+styrofoam (köpük)



Şekil 9. İşletmede denenen 6. tahkimat sistemi

**Taşıyıcılık:** Düşey yükleme, yanal basınç ve eksantrik yükleme koşullarında yeterli taşıyıcılığa sahiptir. Tahkimat ve açıklık arasında sıkışabilir malzeme konulduğundan ve betonun priz almasına izin verildiğinden etkili bir taşıyıcılığı vardır.

**Arazi Kontrolü:** Aşırı tektonik hareketlerin ve şişmenin olduğu ortamda eğer bir de kaliteli beton kullanılmamış ise yeterince arazi kontrolünü sağlayamamaktadır. Tabanda keskin köşeler olmasından dolayı, aşırı basınç yığılması oluşmakta ve tahkimat zarar görmektedir.

**İşçilik ve Maliyet:** İşçiliği çok zor ve maliyeti çok yüksektir.

Desandrenin 450-485 metrelerinde denenmiş fakat tabandan gelen şişme basınçlarının doğrudan taban betonuna gelmesi nedeniyle yeterli bir tahkimat olmamış ve bu 485 metreden sonra tabana da köpük konulmuştur. İşletmede daha yuvarlaklaştırılmış yedinci sistem deneme aşamasındadır.



## 6. DESANDREDE KARŞILAŞILAN SORUNLAR VE ÇÖZÜM ÖNERİLERİ

Desandrede karşılaşılan sorunlar ve çözüm önerileri; desandrede 1 yıl boyunca yapılan ölçümler, gözlemler ve incelemeler sonucunda aşağıda sıralanmıştır:

i) Faylanma olayı ile ezilmiş zonlar ile altère olmuş bir ortam içinde ve de şişme potansiyeli çok yüksek olan killi kayalarda galeri açılması sebebiyle ortamda aşın tektonik hareketler ve şişme basıncı mevcuttur. Bu durum daha önceden yeterli sayıda sondajla belirlenmediğinden karşılaşılabilecek sorunlar önceden tahmin edilememiştir.

ii) Desandrenin tabakaların konumuna uygun olarak açılmaması ve yapısal konumdan dolayı aşırı yükün tahkimat ünitesi üzerine gelmesine neden olmaktadır.

iii) Desandrenin üzerinde bulunan dekapaj malzemesi fayları aktif hale getirmekte ve desandre üzerindeki örtü yükünün tamamen tahkimat üzerine etkimesine neden olmaktadır.

iv) Desandrede bugüne kadar denenen tahkimatlarda tabanda esnek bir tahkimat ünitesi yerine sert tahkimat (kolon demir+beton) kullanılması tabandan aşın şişme basıncının galeri tahkimatı üzerine gelmesine ve tahkimatta deformasyonlara neden olmaktadır. Tabandaki köşelerin keskin oluşu bunu daha da arttırmaktadır.

v) Ann kazılır kazılmaz tahkimatın kurulmaması doğal nem içeriği çok yüksek olan kilin havanın nemi ile temas ederek şişmesini başlatmaktadır. Başlayan bu mekanizma üzerine de tahkimat kurulduğundan yanlardan ve tabandan gelen şişme basıncını tahkimatlar karşılayamamaktadır.

vi) Taramalar ve ann ilerlemesi sırasında betonun doğrudan olarak açık yüzeye atılması sulu harç içerisindeki suyla kilin etkileşmesine neden

olmakta ve yüksek şişme kapasitesi olan kilin şişmesine ve dolayısıyla aşırı şişme basıncını oluşturmaktadır. Yapılan öneriler doğrultusunda 6. tahkimat sisteminde görüldüğü gibi araya köpük konularak hem beton direk kil üzerine atılmamış hem de belli ölçülerde şişmeye izin verilmiştir, fakat bu yetersizdir.

vii) Desandrede 50 metrede bir açılan cepler tahkimat kurulduktan sonra açıldığından bu yük dağılımını olumsuz yönde etkilemekte ve de tahkimata aşırı yük gelmesine neden olmaktadır. Yapılan öneriler doğrultusunda bundan vazgeçilerek ayna ilerlemesiyle aynı anda cep açımına gidilmiştir.

viii) Ayna ilerlemesi sırasında arında gelişigüzel oluşturulan yapay su havuzu şartları daha da kötüleştirerek tabandaki kilin aşırı şekilde şişmesine neden olmaktadır.

ix) Betonlamanın gelişigüzel çok parçalı tahta kalıpla yapılması, beton malzemesindeki kum oranının az, çakıl oranının fazla olması, beton dökümünün kürekle homojen olmayan şekilde yapılıp bol su katılması ve de priz hızlandırıcıdan dolayı betonun ıslanması ortamı nemlendirmekte, betonun dayanımını düşürmekte, kalıbın eklem yerlerinde zayıflık düzlemleri oluşturmaktadır. Tahkimat üzerine gelen aşırı makaslama, şişme ve arazi yükü nedeniyle tahkimatlar buralardan deformasyona uğramaktadır.

Yukardaki olumsuz şartlar ve işletmecilik eksiklikleri göz önüne alındığında ortam için şu öneriler sunulmuştur:

i) Tahkimat tasanmında tahkimat yükleri, kaya mekaniğinden çok zemin mekaniği prensiplerine göre hesap edilmelidir. Özellikle tabanda ve yanlarda meydana gelen şişmeden dolayı galeri kesitinin geniş açılarak şişmeye belli bir seviyeye kadar izin verilmesi, taban genişliğinin kısa tutularak yüksekliğin artırılması, tabanda keskin ve dik köşelerden kaçınılarak esnek olan

yuvarlatılmış yay şekilli tahkimatlar kullanılması gerekmektedir.

ii) Ayna ilerlemesi ve tahkimat kurulması arasındaki zamanın kısa tutularak kazımın hızlandırılması ve de kılavuz sürümünden vazgeçilmesi gerekmektedir. Özellikle kilde ayna ilerlemesi sırasında kazımın hızlandırılması için kollu bir kazıcının kullanılmasıyla kazma hızı artırılıp tahkimatın da kısa zamanda yapılmasıyla kilin şişmesi engelleneceğinden aşın şişme basıncının oluşumu da böylece engellenecektir.

iii) Tahkimatla kil yüzeyi araşma konulan köpük kalınlığı betonun priz alması için gerekli süre ve kilin günlük şişme miktarı göz önüne alındığında 1, 2, 4. istasyondaki killer için en az 30 cm diğerleride ise en az 15 cm olması gerekmektedir (Bu değerler yerinde yapılan kapanma ve laboratuvarında yapılan deneylere göre verilmiştir).

iv) Makaslama kuvvetlerinin etkin olduğu özellikle faylı bölgelerde kaya saplamalarının kullanılması hem makaslama kuvvetinin etkisini azaltacak hem de plastik zondan elastik zona geçmek kaydıyla killerin yapı klanma şeklinde kendisini bırakmasına engel olacaktır.

v) Aynada gelişigüzel kurulan yapay su havuzunun formasyonla ilişkisiz bir şekilde ya aynada bir yerde veya arın gerisinde bir yerde oluşturulması gerekmektedir.

vi) Tabanda ve yanlarda şişen kil minerallerinin üzerine kireç stabilizasyonu yapılması bu kayaların dayanımı arttıracak ve kilin şişmesini engelleyecektir.

vi) Ortamda yapılan delme ve patlatmadan uzaklaşarak sert kısımlarda martaperfaratör ile kazım yapılması gerekmektedir.

Çizelge 2'den de görüldüğü üzere düşük iç sürtünme açılı, düşük kohezyonlu, çok yüksek şişme potansiyeline, yüksek aktiviteye sahip bir ortamda tasarımın, yapısal jeoloji verileri ile

birlikte değerlendirilerek yapılması daha emniyetli olacaktır.

Devam eden bu araştırmanın ikinci aşamasında, tahkimat modellemesine uygun tahkimat tipi seçimi çalışması, yerinde deformasyon ölçümleri verilerine göre yapılmaktadır.

## KAYNAKLAR

EINSTEIN, H. H., 1989, Design and Analysis of Underground Structures in Swelling and Squeezing Rocks, Underground Structures Design and Instrumentation Developments in Geotechnical Engineering, 202-262

EINSTEIN, H. H., 1993, Swelling Rock, Int. Sc. of Rock Mechanics, Vol. 1, No.1, 57-60

EINSTEIN, H. H., BELWARD, P., 1987, Elastoplastic constitutive model, Proc. 6th Int. Cong. on Rock Mech. Montreal, 3, 1487-1492

FRANKLIN, J. A., OUSSEULT, M. B., 1989, Rock Engineering, 307-338,

GROB, H., 1972, Schwelldruck im Belchentunnel. Proc. Int. Symp. on Underground Openings, Lucerne, 99-119.

GYSEL, M., 1977, A Contribution to Design of a Tunnel Lining in Swelling Rock. Rock. Mech. Vol. 10, 55-71

GYSEL, M., 1987, Design Methods, for Structures in Swelling Rock, Proc. 6th Int. Congress on Rock Mechanics, Vol. 1.


GYSEL, M., BELWARD, P., 1987, Design of Tunnels in Swelling Rock, Rock Mechanics and Rock Engineering, Vol. 20, No 4.

KATZIR, M.; DAVID, P., 1968, Foundations on Expensive Marls, Proc. 2nd Int. Research and Eng. Conf. on Expensive Clay Soils, Texas.

KOVARI ET AL. 1988, Design and Construction Methods-Tunnelling in Swelling Rocks, Proc 29th U.S. Symposium. Balkema, Rotterdam, 17-32

SANTOS, C. F., BIENIAWSKI, Z. T., 1989, Floor Design in Underground Coal Mines. Rock Mechanics and Rock Engineering, Vol. 22, 249-271,

SELMER ET AL. 1989, Tunnel Collapses in Swelling Clay Zones, Tunnel & Tunnelling November, 49-51.



**Aydın Linyit**  
**Limited Şirketi**

**SAĞIRLI LİNYİT**

*Kömür üretimi (Yeraltı, Yerüstü)*

---

Aydın -Muğla karayolu 3. km Atay Tesisleri	AYDIN
Adnan Menderes Bulvarı No : 3 Kat : 1	09010 AYDIN
TEL (Büro) : 0 (256) 225 63 10 - 225 11 38	FAX : 0 (256) 225 80 74
TEL (İşletme) : 0 (256) 225 27 13	
TEL : 0 (232) 484 26 52 -483 09 06 -483 09 07	
FAX : 0 (232) 425 89'36	

**BİRLİK**  
**İNŞAAT VE MADENCİLİK**  
**SANAYİ VE TİCARET AŞ.**

*Madencilik  
Sektörünün  
Hizmetinde*

Büyükdere Cad. Nilüfer Han No : 103/9  
Gayrettepe -İSTANBUL  
Tel : 0 (212) 275 19 60 (5 Hat)  
Fax : 0 (212) 275 19 69

**AKPAŞ MADEN PAZARLAMA VE TİCARET AŞ.**

*Madencilik  
Sektörünün  
Hizmetinde*

Büyükdere Cad. Nilüfer Han No : 103/9  
80300 Gayrettepe -İSTANBUL  
Tel : 0 (212) 275 19 60 (5 Hat)  
Fax : 0 (212) 275 19 69  
Telex : 27281 krmt tr