

9344+

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ * FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BOLU DAĞI TÜNELİNİN MÜHENDİSLİK JEOLJİSİ VE
JEOTEKNİK ÖZELLİKLERİNİN DESTEK SİSTEMİNE ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Cüneyt H. ŞENTÜRK

Anabilim Dalı : Jeoloji

Danışman: Yard.Doç.Dr.Özkan CORUK

**T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ**

ARALIK 1999

BOLU DAĞI TUNELİNİN MÜHENDİSLİK JEOLJİSİ VE JEOTEKNİK
ÖZELLİKLERİNİN DESTEK SİSTEMİNE ETKİSİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

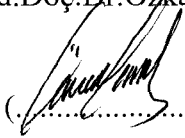
Cüneyt H. ŞENTÜRK

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 8 Haziran 1999

Tezin Savunulduğu Tarih: 28 Ekim 1999

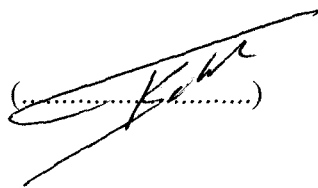
Tez Danışmanı

Yard.Doç.Dr.Özkan CORUK

()

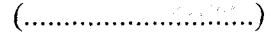
Üye

Prof.Dr.Selçuk TOKEL

()

Üye

Doç.Dr.Turgut ÖZTAŞ

()

ARALIK 1999

**BOLU DAĞI TÜNELİNİN MÜHENDİSLİK JEOLJİSİ VE JEOTEKNİK
ÖZELLİKLERİNİN DESTEK SİSTEMİNE ETKİSİ**
Cüneyt H. ŞENTÜRK

Anahtar Kelimeler: Bolu Tüneli, Fay, Destek sistemleri, Deformasyon

Özet: Bolu Tüneli içinde bulunduğu tektonik rejimden oldukça etkilenmiştir. Bu tektonizmaya bağlı oluşmuş jeolojik şartların getirdiği etkiler, tünelde aşırı deformasyonlar, ayna duraysızlıkları ve su problemleri olarak ortaya çıkmıştır. Özellikle fay zonlarında/fay killeri içinde oluşan şişme basıncının tünel içerisinde ciddi şekilde tarama/tamirat yapılmasına neden olmuştur. Bu durum tünelcilik açısından ek bir maliyet ve zaman gerektirmiştir.

Bolu Tünelleri'nde kazılan kısımlarda 7 farklı litoloji belirlenmiştir.

Sık olarak rastlanan ve sorunlu olarak geçilen/geçilmekte olan Metasedimentler; fay zonu malzemesine ait birimdir (İkizoluk Fm.).

Asarsuyu Girişinde kalınlığı 170-180m. olarak kesilen Breşik Kireçtaşı (Atayla Fm.) içerisinde karşılaşılan su problemi, yapılan drenajlar ile başarılı bir şekilde geçilmiştir. Buna benzer özellikler 100 m.kalınlıkta kesilen Karbonatlı Kumtaşı (Bayramışlar Fm.) için geçerlidir.

Elmalık Girişi için karakteristik olan Fliş ortamı çökeltileri (Fındıcak Fm.) içerisinde oluşan deformasyonlar neticesinde zaman ve maliyet kaybı çok fazla olmuştur.

Kalınlığı az, fakat sık olarak kesilen Volkanik dayklar (Andezit, Trakit, Dolerit ve ultabasic.) genelde fay zonlarında görülmüştür ve stabilite problemlerine neden olmuştur.

Genelde Elmalık Girişinde gözlenen, Asarsuyu Girişinde'de etkili olan fay killeri yüksek plastisite özelliği ile aşırı deformasyonlara neden olmuştur.

Ayna duraysızlıkları, aşırı deformasyonlar ve su gibi sorunların çok sık yaşandığı Bolu Tünelleri'nde alınan önlemler; en son teknolojinin getirdiği jeoteknik aletlerle değerlendirildiğinde, elde edilen sonuçlar mevcut projelerin, zaman zaman başarılı olmadıdır. Bu jeolojik zorluklar içerisinde, farklı metodlar uygulanan tünelde ilerleme; bazı nedenlerden dolayı oldukça yavaş olmaktadır.

Bolu Tünelleri'ndeki bu sorunlara karşı oluşturulan çözümlerin başında; NATM'in öngördüğü kaya sınıfına ilaveten oluşturulan CM kaya sınıfıdır. Bu kaya sınıfının getirdiği teknik özelliklerin deformasyonlu bölgelerde uygulanması ve başarılı olması sorunların bir kısmını çözmüştür. Fakat bu sistem Elmalık Girişinde karşılaşılan fay killeri içinde etkili olamamıştır. Elmalık Girişinde deformasyonlu kısımlarda farklı uygulamalar yapılmıştır. Bernold sistemi Fliş ortamında etkili olurken fay killeri içinde başarılı olmamıştır. Fay killeri içinde (Ana fay zonlarında) başarılı olan sistem donatılı yapılan bench galerilerdir. Buna ilaveten yapılan donatılı taban kazıları ve donatılı iç kaplama betonu başarıyı etkileyen unsurlardandır.

Bu çalışmada görüldüğü gibi çok karmaşık jeolojik yapıya sahip Bolu Tüneli'nde jeolojinin ön plana çıkarılarak, jeolojik etüdlerin yerinde ve zamanında yapılması, uygulanacak destek sisteminin seçilmesinde ve uygulanmasında çok önem kazanmıştır.

THE ENGINEERING GEOLOGY OF BOLU MOUNTAIN TUNNEL AND THE EFFECT OF GEOTECHNICAL PROPERTIES TO THE SUPPORTING SYSTEMS

Cüneyt H. ŞENTÜRK

Keywords: Bolu Tunnel, Fault, Supporting system, Deformation

Abstract : Bolu Tunnel is fairly influenced by the tectonic structure in which it is located. The effects due to geological conditions dependent to this tectonism appear as excessive deformations, face instabilities and ground water problems in the tunnel. Especially the swelling pressure in the fault and fault gouge clay zones causes serious re-profiling /maintenance works. This requires additional cost and time in tunneling.

There have been defined 7 different litology in the excavated partions of the Bolu Tunnel.

The Metasediments which are commonly encountered and have being passed by difficulties are units belonging to fault zone materials (İkizoluk Fm.).

The water problem excavated in 170-180m. thick cut Brecciated Limestone in Asarsuyu Portal have been passed succesfully by the constructed drainage systems. Same properties are valid for the 100m. thick cut Carbonated Sandstone (Bayramışlar fm.).

Due to the deformations formed in Flyschoid Series, which is the main characteris-tics of the Elmalık Portal, the time and cost of the tunnel excessively increased.

The Volcanic dikes (Andesite, Trachyte, Dolerite and ultrabasic.) which are not thick and frequently encountered in fault zones are caused stability problems.

The fault gouge clays which are generally observed in Elmalık Portal but also effective in Asarsuyu Portal have caused excessive deformations by their high plasticity properties.

Which the measurements taken the Bolu Tunnel, in which these kindsof problems, (face instability, excessive deformations and ground water) encountered frequently are evaluated by the latest geotechnical instruments, it is concluded that, occasionally existing designs are not sufficient for the tunnel. In this geological difficulties and by the existing technology, the progress in the tunneling has been fairly slow.

The main solution for the problems faced in Bolu Mountain Tunnel is the CM (C Modified) rock class which is improved additionally to the NATM's existing rock classes. The technical properties applicated in the excessive deformation regions by this class has solved some of the problems succesfully. However, this system has not succeeded in the fault goge clay zones encountered in Elmalık Portal so some other applications have been tried in the deformable regions of the Elmalık Portal. The Bernold system is applied succesfully in Flyschoid Series but failed in clayey faults.

The succesful system applied in clayey faults (Main fault zones) are the reinforced bench galleries. Addihon to this system, the reinforced base excavations and reinforced inner lining concrete are also the measures effecting the success.

As concluded in this study, in the Bolu Mountain Tunnel, which has a very complicated geological conditions, it is seen that the geology of the region which should be certainly defined by appropriate and datailed geological surveys, is excessively important for choosing and applplying the suitable supporting systems.

ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR

Bu araştırma, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Ana Bilim Dalı Uygulamalı Jeoloji Programında yüksek lisans tezi olarak hazırlanmıştır. Çalışmanın kapsamı Anadolu Otoyolu Gümüşova-Gerede Kısmı Bolu Dağı Tüneli'nin mühendislik jeolojisi ile ilgilidir.

Ülkemizin en uzun otoyol tüneli olacak Anadolu otoyolu Bolu Dağı Tüneli, herbiri üç şeritli iki tünelden oluşacaktır. Tünel uzunlukları sağ tünel için 3246.87. m. ve sol tünel için 3323.68 m.dir.

Tünel güzergahı değişik litolojilerden ve Kuzey Anadolu Fayı'nın etkisiyle gelişmiş doğrultu atımlı faylar ile bindirme zonlarından geçmektedir. Anadolu otoyolu Bolu Tüneli'ndeki en yaşlı birim, başlıca amfibolit, gnays, metadiyorit, metakuvars-diyorit'ten oluşan Prekambriyen öncesi, Yedigöller formasyonudur. Bu birimleri Devoniyen yaşlı Kayraktaşı, Metasilttaşı, Metakumtaşı, Metakuvarsit ile Çatak Kristalize kireçtaşı üyesinden oluşan İkizoluk formasyonu tektonik dokanakla üzerlemektedir. Tünel güzergahına yakın alanlarda Üst Kretase kaotik bir topluluk olan Abant karmaşığı ile başlar. Bu topluluk içerisine karmaşıkla yaşıtlı veya daha genç Elmalık granotoidleri sokulum yapmıştır. Breşik Kireçtaşı ve Kayraktaşı'ndan oluşan Atyayla formasyonu Üst Kretase sonunu temsil etmektedir. Bu birimin üzerinde Paleosen-Alt Eosen yaşlı Kumlu kireçtaşı ve Karbonatlı kumtaşı'ndan oluşan Bayramışlar formasyonu ile Kumlu kireçtaşı, karbonatlı kumtaşı, Breşik çakıltası, Kumtaşı, Silttaşı, Kiltası, Marn ve Kireçtaşı'ndan oluşan Fındıcak formasyonu bulunmaktadır. Güzergahın en genç birimleri Kil, Kiltası, Killi kireçtaşı, jips, marn ardalanması ile temsil edilen Orta-Üst Eosen yaşlı Apalar formasyonu ile tutturulmamış ve/veya tane tutturmalı çökellerden oluşan, Pliyosen yaşlı Asarsuyu formasyonudur. Bu birimler Üst Kretase'den başlayarak Üst Miyosen'e kadar K-G yönlü sıkıştırma kuvvetleri ile itilerek üst üste yığılmışlardır. Bu sıkıştırma rejimi Üst

Miyosen'den sonra değişmiş ve tünel güzergahında içine alan bölgede Kuzey Anadolu Fay zone ile ilişkili doğrultu atımlı faylar gelişmiştir.

Bolu Tüneli'nin tasarımı esnasında tahmin edilemeyen jeolojik koşullar ve kazı sırasında karşılaşılan yeni jeolojik koşullar ki; başlıca düşük açılı faylar olup genelde yüksek plastisiteli fay killeri içerirler.Bu fay killerinin tünel açımına olumsuz etkileri görülmüştür. Ayrıca tünelin 10 km. güneyinden geçen Kuzey Anadolu Fayı'nın tünel güzergahı boyunca bulunan litolojik birimler üzerindeki olumsuz etkileri tünel açımını olumsuz kılmıştır.Bu olumsuzluklara rağmen, ülkemiz açısından önemli mühendislik yapılarından biri olacak Bolu Dağı Tüneli'nin inşaaı aşamasında projelendirmede modifikasyonlar, karşılaşılan koşullara göre yapılarak inşaatı devam etmektedir.

Araştırmacı, bu teze büro çalışmalarında bilimsel katkı ve destek sağlayan danışmanı sayın Yrd.Doç.Dr. Özkan CORUK'a teşekkürlerini sunar.

Tezin arazi ve büro çalışmalarının değişik aşamalarında yardımlar ve çok önemli katkılar sağlayan Anadolu Otoyolu Gümüşova-Gerede kısmının ana müteahit firması Astaldı S.p.A & Bayındır Holding A.Ş. Ortak Girişimi elemanlarından Jeoloji Müh. Yalçın YILMAZ'a, Dr.Stefano BAGALA'ya ve topoğraf Bayram ALTUN'a, projeci firma Geoconsult elemanlarından Dr. Orhan ŞİMŞEK'e ve Dr.Johann BRANDL'a, müşavir firma Yüksel & Rendel Ortak Girişimi elemanlarından Jeoloji Müh. Merdan PADAK'a ve Kontrol Müh. Adnan GÜNGÖR'e, İnşaat Yük.Müh.Cüneyt ATACAN'a ve eşi Gülistan ŞENTÜRK'e göstermiş oldukları üstün ilgi ve yardımlarından dolayı teşekkür eder, ayrıca ismini burada yazamadığı, bu tezde emeği olan tüm arkadaşlarına teşekkürü borç bilir.

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	ii
ABSTRACT.....	iii
ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR.....	iv
İÇİNDEKİLER.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	ix
TABLolar DİZİNİ.....	xiii
BÖLÜM 1. GİRİŞ.....	1
1.1.Çalışma alanının tanıtımı.....	1
BÖLÜM 2. MATERYAL VE METOD.....	6
2.1.Tünel çalışmaları.....	6
2.2.Laboratuvar çalışmaları.....	9
2.3.Sondaj çalışmaları.....	14
2.4.Büro çalışmaları.....	16
BÖLÜM 3. BULGULAR.....	18
3.1.Stratigrafi.....	18
3.1.1.Yedigöller formasyonu (Pzy).....	18
3.1.2.İkizoluk formasyonu (Di).....	20
3.1.2.1.Çatak üyesi (Diç).....	20
3.1.3.Abant karmaşığı (Kç).....	21
3.1.4.Elmalık granitoyidi (Ke).....	21
3.1.5.Atyayla formasyonu (Kat).....	22
3.1.6.Bayramışlar formasyonu (Kb).....	23
3.1.7.Fındıcak formasyonu (KTf).....	24
3.1.8.Apalar formasyonu (Ta).....	25
3.1.8.1.Açma üyesi (Taa).....	26
3.1.9.Asarsuyu formasyonu (Qa).....	27

3.1.10.Kuvaterner çökelleri.....	27
3. 2.Tünel güzergahının yapısal jeolojisi.....	29
3.2.1.Tünel güzergahının genel jeolojisi ve litolojisi.....	29
3.2.1.1.Metakristalin temel kayaçlar.....	32
3.2.1.2.Metasedimenter kayaçlar.....	33
3.2.1.3.Breşik kireçtaşı.....	35
3.2.1.4.Karbonatlı kumtaşı.....	35
3.2.1.5.Fliş ortamı çökelleri.....	37
3.2.1.6.Vulkanik kayaçlar.....	39
3.2.1.7.Fay killeri.....	39
3. 3. Tünel güzergahının hidrojeolojisi.....	44
3. 4. Tünel açımında karşılaşılan jeolojik sorunlar.....	61
3.4.1.Litolojik sorunlar.....	61
3.4.2.Katman, eklem ve kıvrımların tünel stabilitesine etkisi.....	64
3.4.3.Basınç serbestlemesi ve kaya patlamaları.....	64
3.4.4.Fay zonlarında aynadaki duraylılık problemleri.....	65
3.4.5.Fay zonlarında karşılaşılan su problemleri.....	68
3.4.6.Tünel açımı esnasında sıkışan ve şişen kayalar.....	72
3.4.7.Fay killerinin şişme mekanizması.....	79
3.4.8.Fay killerinin şişme potansiyeli ve şişme basınçları.....	83
3.4.9.Fay zonlarında karşılaşılan kazı problemleri.....	84
3.4.10.Fay zonlarında iksa problemleri.....	88
3.5. Tünellerde meydana gelen deformasyonlar ve tünelciliğe etkisi.....	94
3.5.1. Kökeni fay killerine bağlı olarak gelişen deformasyonlar..	94
3.5.2. Deformasyonların destek sistemine etkisi.....	95
3.5.3. Deformasyonların tünel hızına, iş emniyetine ve maliyete etkisi.....	100
3.5.4. Deformasyonların ölçülmesi.....	103
3.5.4.1.Optik gözlem noktaları.....	103
3.5.4.2.Yakınlaşma (Konverjans) bulonları.....	106
3.5.4.3.Diğer jeoteknik aletler.....	111
3.6.Tünel güzergahındaki birimlerin jeoteknik özellikleri.....	123

3.7.Yeni Avusturya tünel açma yönteminin zellikleri.....	141
3.7.1.Tünel açımı esnasındaki kaya sınıflaması.....	142
3.7.2.Tünel açımı esnasında uygulanan kazı yöntemleri.....	146
3.7.3.Tünel açımı sırasında uygulanan iksa elemanları.....	150
3.7.4.Kullanılan iksa elemanlarının dağılımı ve karşılaşılan jeolojik koşullarla ilişkisi.....	167
 SONUÇ ve ÖNERİLER.....	 170
 KAYNAKLAR.....	 183
 EKLER.....	 185
 ÖZGEÇMİŞ.....	 186



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Transit Avrupa Otoyolu (TEM).....	2
Şekil 1.2. Projede (Gümüşova-Gerede kesimi) inceleme alanının konumu.....	3
Şekil 1.3. Asarsuyu tünel girişi.....	4
Şekil 1.4. Elmalık tünel girişi.....	5
Şekil 2.1. Tünelde kazı aşamaları.....	7
Şekil 2.2. Tünel aynasından günlük alınan jeolojik kesit.....	8
Şekil 2.3. Müteahhit firmaya ait zemin mekaniği laboratuvarı.....	10
Şekil 2.4. Laboratuvarında kullanılan direk kesme aleti.....	11
Şekil 2.5. Laboratuvarında kullanılan üç eksenli basınç test aleti.....	12
Şekil 2.6. Tünellerden alınan blok ve tüp numuneler.....	13
Şekil 2.7. Tünellerde yapılan yatay ve dikine araştırma sondajları.....	15
Şekil 3.1. Tüneller ve dolayına ait stratigrafik sütun kesit.....	19
Şekil 3.2. Tünel ve dolayının tektonik durumuna ilişkin harita.....	30
Şekil 3.3. Kuzey Anadolu fay zonunun çalışma alanındaki yeri.....	31
Şekil 3.4. Fay zonu malzemesine ait metasedimenter birim.....	34
Şekil 3.5. Breşik kireçtaşı içerisindeki süreksizliklere ait kontur diyagram.....	36
Şekil 3.6. Asarsuyu girişinde geçilen karbonatlı kumtaşı birimi.....	38
Şekil 3.7. Elmalık girişinde karşılaşılan kırmızı fay killeri.....	40
Şekil 3.8. Asarsuyu girişinde karşılaşılan metasediment-andezit dokanağı.....	41
Şekil 3.9. Elmalık girişinde aşırı deformasyonlara neden olan fay kili.....	42
Şekil 3.10. Bolu Tüneli ve dolayının hidrojeolojik haritası.....	45
Şekil 3.11. Asarsuyu girişinde karşılaşılan su.....	46
Şekil 3.12. Asarsuyu girişi üstüarı tabanında yapılan drenaj delgisi.....	55
Şekil 3.13. Asarsuyu girişinde suyun drenajı için oluşturulan düzenek.....	57
Şekil 3.14. Tünel ağzında oluşturulan debi ölçer.....	58
Şekil 3.15. Asarsuyu girişinde karşılaşılan su geliri.....	60
Şekil 3.16. Deformasyonlu bölgelerde yapılan tarama işleri.....	63
Şekil 3.17. Elmalık girişinde karşılaşılan katı ve çok plastik fay kili.....	67
Şekil 3.18. Taban kazısı sırasında karşılaşılan su.....	70
Şekil 3.19. Asarsuyu girişinde metasediment-karbonatlı kumtaşı dokanağı.....	71

Şekil 3.20. Karbonatlı kumtaşı içerisinde gelen su.....	73
Şekil 3.21. Elmalık girişindeki şişen ve sıkışan kırmızı fay killeri.....	75
Şekil 3.22. Elmalık-Asarsuyu girişinde oluşan deformasyonlar ve onarımı.....	76
Şekil 3.23. Asarsuyu girişinde deformasyonlar sonucu çelik kuşaklarda meydana gelen kırılma – bükülmeler.....	77
Şekil 3.24. Elmalık girişinde deformasyonlar sonucu çelik kuşak ve püskürtme betonda meydana gelen kırılma-çatlama-burulmalar.....	78
Şekil 3.25. Asarsuyu girişinde tabanda oluşan deformasyonlar neticesinde yapılan Monolitik taban betonu uygulaması.....	80
Şekil 3.26. Asarsuyu girişinde deformasyonlar sonucu yapılan ilave bulonlama ..	81
Şekil 3.27. Elmalık girişinde üstyarıda oluşan çökme.....	82
Şekil 3.28. Elmalık girişinde altyarıda yapılan yan galeriler.....	85
Şekil 3.29. Yan galerilerde donatılı uygulama.....	86
Şekil 3.30. Elmalık girişinde fliş içerisindeki kırmızımsı kahverengi fay killeri...	87
Şekil 3.31. Bolu Tünellerinde duraysızlıklar nedeniyle yarım yarım açılan üstyarı aynası.....	89
Şekil 3.32. Ayna duraysızlıklarında uygulanan ayna bulonlaması.....	90
Şekil 3.33. Deformasyon olabilecek kısımlarda güvenlik açısından uygulanan çelik çelik hasır uygulaması.....	91
Şekil 3.34. Bolu Tünellerinde IBO tipi bulonlama.....	93
Şekil 3.35. Elmalık girişinde 200-300cm.'ye ulaşan deformasyonlar.....	96
Şekil 3.36. Asarsuyu girişinde beklenen ve karşılaşılan deformasyonlar.....	97
Şekil 3.37. Elmalık girişinde beklenen ve karşılaşılan deformasyonlar.....	98
Şekil 3.38. Bolu Tünellerinde pilot tünel uygulaması.....	99
Şekil 3.39. Pilot tünellerde kullanılan iş makineleri.....	101
Şekil 3.40. Deformasyon ölçümünde kullanılan yansıtıcı reflektörler.....	104
Şekil 3.41. Bolu Tünellerinde ölçülen oturma, yan ve boyuna hareketler.....	105
Şekil 3.42. Asarsuyu girişinde 200 m.'lik kısımda boyuna hareketin sönümlenmesi- nin kazı ile olan ilişkisi.....	107
Şekil 3.43. Asarsuyu girişinde 200 m.'lik kısımda oturmanın sönümlenmesinin kazı ile olan ilişkisi.....	108
Şekil 3.44. Bolu tünellerinde deformasyon yönü ve miktarının stereografik yöntemle gösterilmesi.....	109

Şekil 3.45. Bolu Tünellerinde yatay/düşey hareketin beraber gösterilmesi.....	110
Şekil 3.46. Deformasyon ölçümünde kullanılan şerit ekstansometre.....	112
Şekil 3.47. Şerit ekstansometre ile yapılan ölçüm değerleri.....	113
Şekil 3.48. Bolu Tünellerinde iç kaplama beton ile membran arasına yerleştirilen birim deformasyon ölçerler.....	114
Şekil 3.49. Deformasyon ölçmek için kullanılan kuyu ekstansometreleri.....	115
Şekil 3.50. Deformasyon ölçmek için kullanılan basınç hücreleri.....	116
Şekil 3.51. İç kaplama beton ile membran arasına yerleştirilen birim deformasyon ve basınç hücreleri.....	117
Şekil 3.52. Pilot tünel içerisinde sık kullanılan strainmetre ve basınç hücreleri.....	118
Şekil 3.53. Deformasyon ölçümünde kullanılan “ölçüm bulonları”.....	119
Şekil 3.54. İç kaplama betonu içerisine yerleştirilecek jeoteknik aletler için yapılan hazırlık.....	121
Şekil 3.55. Pilot tünelde yerleştirilen jeoteknik ölçüm aletlerinin püskürtme beton öncesi kontrol işlemleri.....	122
Şekil 3.56. Bolu Tünellerinde yerleştirilen jeoteknik aletlerin okuma üniteleri.....	124
Şekil 3.57. Bolu Tünellerinde yerleştirilen jeoteknik aletlerin okuma üniteleri.....	125
Şekil 3.58. Bolu Tünellerinde iç kaplama betonuna yerleştirilen birim deformasyon ölçer aletinden alınan ölçüm sonuçları.....	126
Şekil 3.59. Tekli kuyu ekstansometrelerinden alınan ölçüm değerleri.....	127
Şekil 3.60. Pilot tünelde uygulanan pressiometre testi.....	128
Şekil 3.61. Asarsuyu girişi sağ tünelde km: 52+594.20’den alınan numune üzerinde yapılan direk kesme test sonuçları.....	136
Şekil 3.62. Asarsuyu girişi sağ tünelde km: 52+426.40’dan alınan numune üzerinde yapılan direk kesme test sonuçları.....	137
Şekil 3.63. Asarsuyu girişi sol tünelde km: 62+457.90’dan alınan numune üzerinde yapılan direk kesme test sonuçları.....	138
Şekil 3.64. Elmalık girişinde km: 63+694.90’de yapılan oturma test sonuçları.....	139
Şekil 3.65. Elmalık girişinde km:63+764.30’da yapılan oturma test sonuçları.....	140
Şekil 3.66. Bolu Tünellerinde patlatma ile yapılacak kazı için aynaya patlayıcı madde doldurulması.....	147
Şekil 3.67. Bolu Tünellerinde mekanik kazı yöntemi.....	149
Şekil 3.68. Elmalık Girişinde uygulanan L2 kaya sınıfına ait kazı yöntemi.....	151

Şekil 3.69. Bolu Tünellerinde uygulanan A2 kaya sınıfı aşamaları.....	152
Şekil 3.70. Bolu Tünellerinde uygulanan B1 kaya sınıfı aşamaları.....	153
Şekil 3.71. Bolu Tünellerinde uygulanan B2 kaya sınıfı aşamaları.....	155
Şekil 3.72. Bolu Tünelinde B2 kaya sınıfında taban kazısı.....	156
Şekil 3.73. Bolu Tünellerinde uygulanan C1 kaya sınıfı aşamaları.....	157
Şekil 3.74. Bolu Tünellerinde uygulanan C2 kaya sınıfı aşamaları.....	158
Şekil 3.75. Bolu Tünellerinde uygulanan CM kaya sınıfı aşamaları.....	160
Şekil 3.76. Bolu Tünellerinde donatılı taban kazısı ve kullanılan donatı.....	161
Şekil 3.77. CM kaya sınıfında uygulanan deformasyon slotları.....	162
Şekil 3.78. Bolu Tünellerinde yapılan iç kaplama betonu.....	164
Şekil 3.79. İç kaplama betonu öncesi yerleştirilen membran ve membran yapımında kullanılan çelik borulardan yapılmış iskele.....	165
Şekil 3.80. Bolu Tünellerinde deformasyonlu bölgelerde uygulanan donatılı iç kaplama betonu.....	166
Şekil 3.81. Deformasyon olabilecek bölgelerde uygulanan ilave destek elemanları (çelik hasır,ayna bulonları ve kalınlığı fazla olan püskürtme).....	171
Şekil 3.82. Asarsuyu girişinde deformasyona neden olan, dokanak boyunca gelişmiş fay killeri ve su.....	173
Şekil 3.83. Asarsuyu girişinde karşılaşılan fay kili ve düzlemi.....	174
Şekil 3.84. Asarsuyu girişinde metasediment-karbonatlı kumtaşı dokanağı.....	175
Şekil 3.85. Asarsuyu girişinde iç kaplama beton içerisine yerleştirilmiş jeoteknik aletlerin ölçümü için hazırlanmış özel okuma ünitesi.....	177
Şekil 3.86. Asarsuyu girişinde aynaya atılan fiberli püskürtme beton.....	179
Şekil 3.87. İç kaplama beton sonrası yapılan kontak enjeksiyon.....	180
Şekil 3.88. Jeolojik verilerin toplanması amacıyla açılan pilot tünel.....	181
Şekil 3.89. Bulon çekme test aleti.....	182

TABLÖLAR DİZİNİ

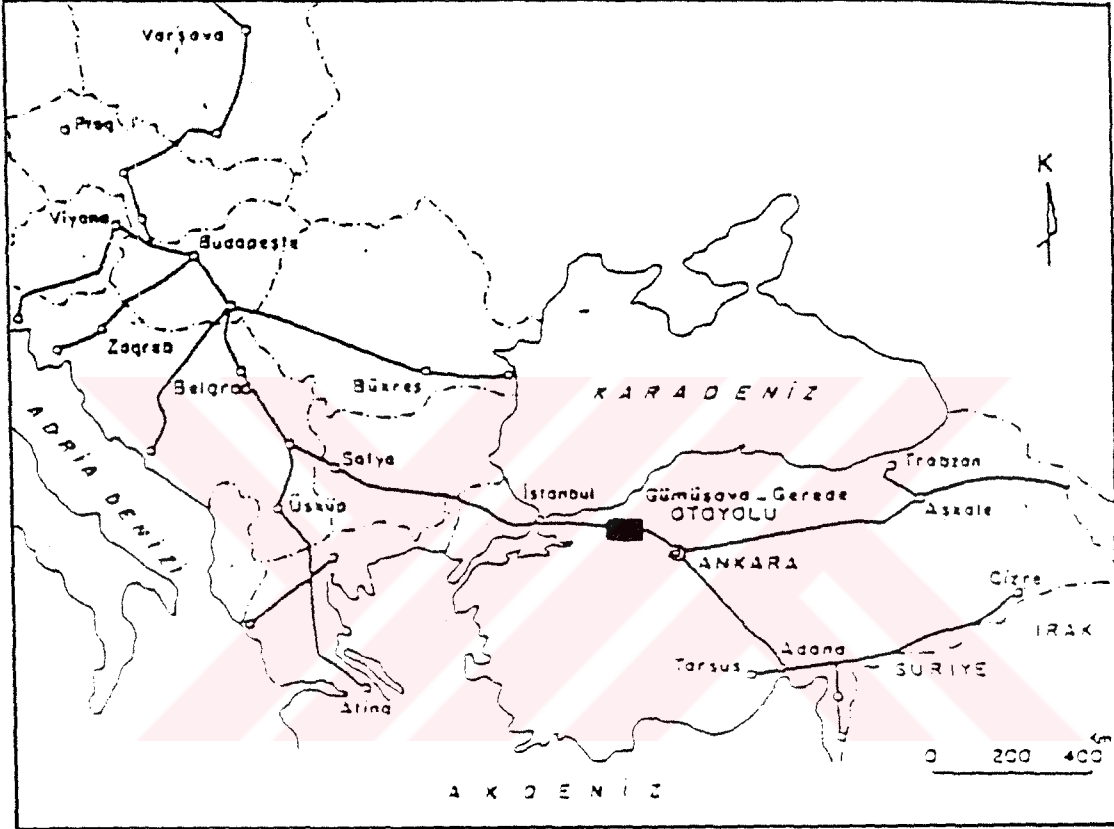
Tablo 3.1. Asarsuyu girişı Km:62+476.00'dan alınan su örneklerine ait trityum analiz sonuçları.....	48
Tablo 3.2. Asarsuyu girişı Km:62+476.00'dan alınan su örneklerine ait kimyasal analiz sonuçları.....	49
Tablo 3.3. Tüneli güzergahındaki B1 sondajından alınan su örneklerine ait kimyasal analiz sonuçları.....	50
Tablo 3.4. Tünel güzergahındaki M-33 sondajı yanındaki nehir suyundan alınan su kimyasal analiz sonuçları.....	51
Tablo 3.5. Asarsuyu girişı Km:62+479.70'den alınan su örneklerine ait kimyasal analiz sonuçları.....	52
Tablo 3.6. Asarsuyu girişinde su ölçme abağı.....	59
Tablo 3.7. Bolu tünellerinde blok,fay kili ve bozuşmamış numuneler üzerinde yapılan laboratuvar test sonuçları.....	129
Tablo 3.8. Bolu tünellerinde kullanılan kaya sınıflandırması.(NATM' a göre).....	143
Tablo 3.9. Asarsuyu tüneline karşılaşılan jeolojik durum ve uygulanan destek sistemi ile olan ilişkisi.....	168

BÖLÜM 1. GİRİŞ

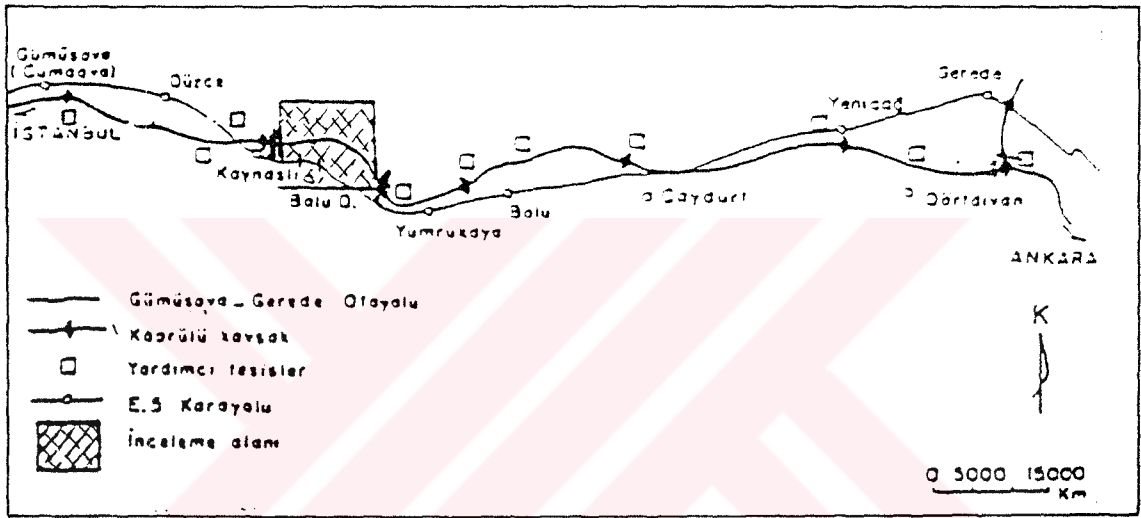
Bolu Dağı Tüneli, Anadolu Otoyolunun Gümüşova-Gerede kesiminde açılan önemli mühendislik yapılarındandır. Tünel iki tüpten oluşmaktadır. Tüneller 3246.87 ve 3323.68 m. uzunluğunda, % 2 eğimli, üç şeritli, iki tüplü, 109 m² net en kesit alanına sahip olarak açılmaktadır. Ortalama kazı kesiti kaya klaslarına göre 160 m²-222.9 m² arasında değişmektedir. Beton kaplama kesiti ise 20.43 m²'dir. Net genişliği 12 m., yüksekliği 8.60 m.'dir. Kazı sırasında genişliği 15 m., yüksekliği ise 10.25 m.'dir. Tünel dünyada yaygın olarak kullanılan Yeni Avusturya Tünel Açma Yöntemine (NATM) göre açılmaktadır. Tünelin yapımını Astaldi S.p.A & Bayındır Holding A.Ş. Ortak girişimi, projesini Geoconsult, müşavirliği'ni Yüksel & Rendel Ortak girişimi üstlenmiştir.

1.1. Çalışma alanının tanıtımı

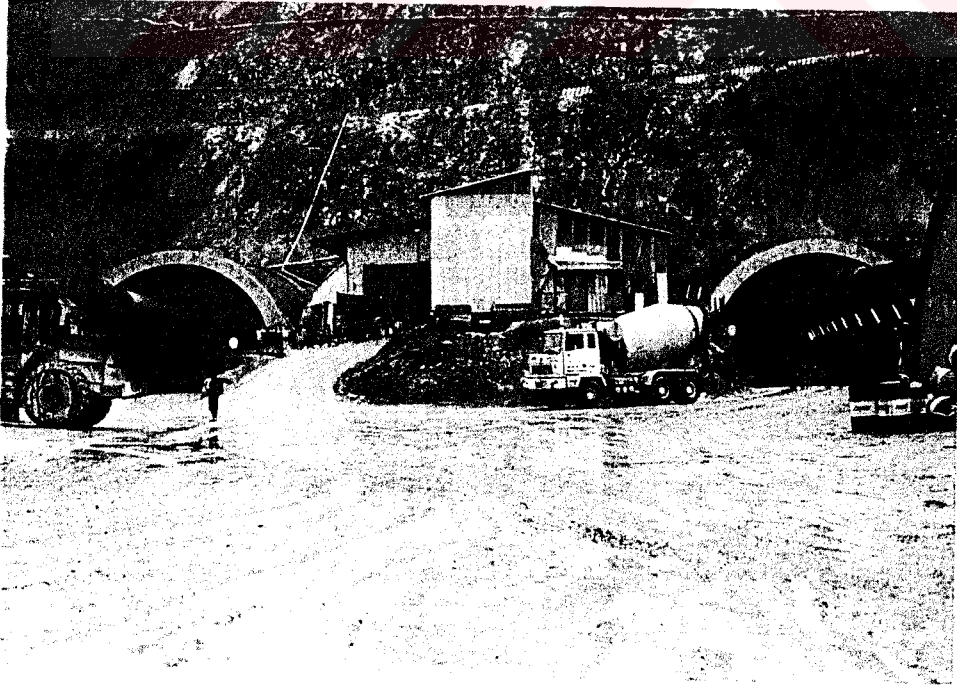
Transit Avrupa otoyolu içerisinde (Şekil 1.1.), Anadolu otoyolu'nun 114 km'lik kısmını oluşturan Gümüşova-Gerede kısmında (Şekil 1.2.) yer alan Bolu Dağı Tüneli Asarsuyu ve Elmalık Girişi olmak üzere iki ağızdan oluşmaktadır. Bu çalışmaya esas olan Asarsuyu Girişi (Şekil 1.3.) E-80 karayolu üzerinde Bolu Dağı mevkiinde, Bolu ilinden yaklaşık 18 km. İstanbul yönünde ve E-80 karayolundan 6 km. Kuzeybatı yönündedir. Elmalık Girişi (Şekil 1.4.), E-80 karayolu üzerinde Elmalık köyü mevkiindedir.



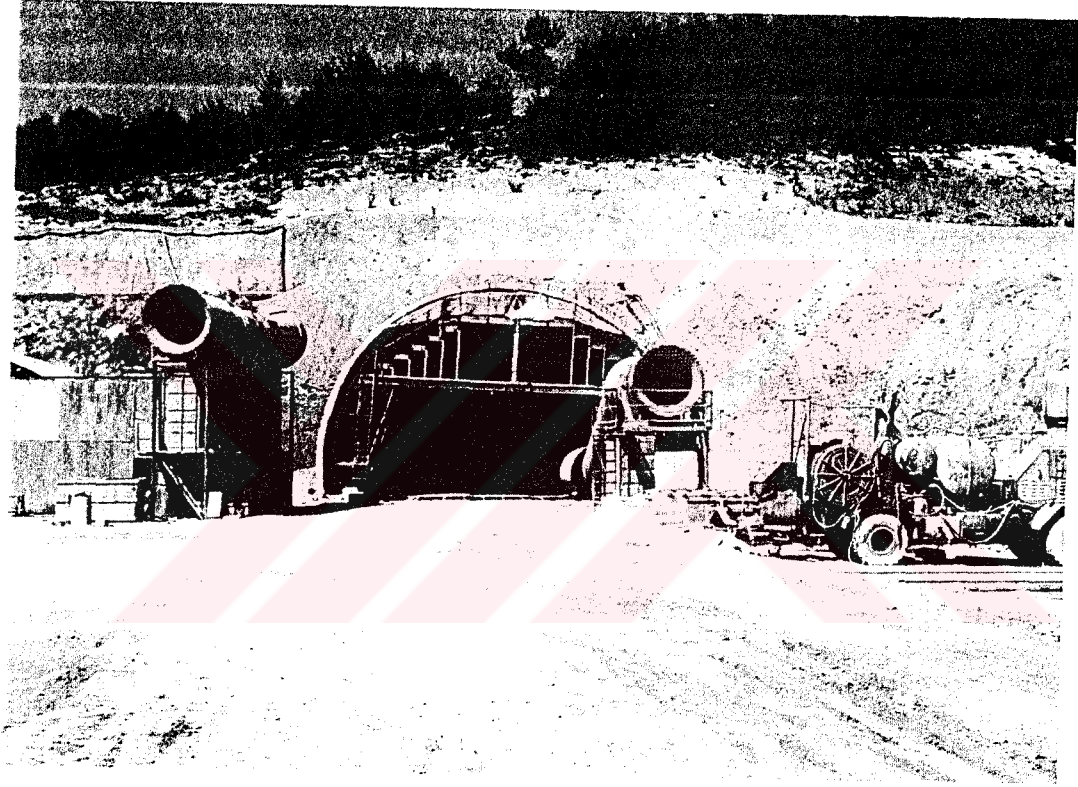
Şekil 1.1. Transit Avrupa Otoyolu (TEM).



Şekil1.2. Projede (Gümüşova-Gerede kesimi) inceleme alanının konumu.



Şekil 1.3. Asarsuyu tünel girişi.



Şekil 1.4. Elmalık tünel girişi.

BÖLÜM 2. MATERYAL ve METOD

Anadolu Otoyolu Bolu Dağı Tüneli'nin mühendislik jeolojisi ve jeoteknik özelliklerinin destek sistemi ile olan ilişkisini ortaya koymak amacıyla hazırlanmış bu tezde, 1993-1998 yılları arasında, tünelin kazısı sırasında karşılaşılan farklı litolojilerin, tünel kazısına paralel olarak davranışını ortaya koymak ve bu davranışa göre, yapılan destek sisteminin nasıl çalıştığı ortaya çıkartılmıştır. Tünel içerisinde günlük alınan jeolojik ayna kesitlerinin ve yerleştirilen jeoteknik aletlerden alınan verilerin büro'da yapılan açılım haritaları ve grafiklerle desteklenmesi ile tünel çalışmaları yönlendirilmiştir. Ayrıca bu haritalama sırasında, jeolojik nedenlerden dolayı oluşmuş aşırı deformasyonlar ve kazı sırasında meydana gelebilen ayna duraysızlıklarının destek sistemi olan ilişkisi ortaya çıkarılmaya çalışılmıştır.

2.1. Tünel çalışmaları

Tünel içerisinde yapılan jeolojik çalışma, arazi ile oldukça farklıdır. Gördüğünüz yapıyı, birimleri veya tektonik yapıyı açıklamak oldukça zordur. Tünel ilerlemesi sırasında bazı zamanlar bir metre önem kazanmaktadır.

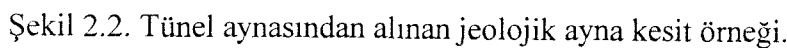
Tünel üst yarı, alt yarı ve taban kazısı şeklinde yapılmaktadır (Şekil 2.1). Bundan dolayı bu üç kazı aşamasında, jeolojik yapıyı görmek, korelesyonunu yapmak ve bunu yorumlamak ve yapım gurubunun önünü açmak gerekmektedir.

Tünel içerisinde günlük olarak jeolojik ayna kesitleri çizilir. Bu çizilen kesitler, ileride çizilecek olan açılım haritaları, jeolojik boy ve en kesitleri için referans olacaktır. Bu nedenle ayna haritalarının titiz bir şekilde çizilmesi, tüm jeolojik bilgilerin bu haritada gösterilmesi çok önemlidir (Şekil 2.2.).

Ayrıca, ilerlemeye bağlı olarak yerleştirilen jeoteknik aletlerden, yaklaşma (konverjans) bulonlarından ve topoğrafik ölçüm noktalarından alınan sonuçlara göre, tünel içinde meydana gelen deformasyonlar ile jeolojinin ilişkisi ortaya çıkarılır.



Şekil 2.1. Tünelde kazı aşamaları.



2.2. Laboratuvar alışmaları

Tünel kazısı sırasında veya sondaj çalışmaları sırasında fay zonlarından veya jeoloji mühendisinin uygun gördüğü yerlerden alınan kaya karot örnekleri, zeminden alınan örselenmiş/örselenmemiş blok ve tp numuneleri üzerinde üniversitelerde veya Astaldı S.p.A & Bayındır Holding A.ř. laboratuvarlarında (şekil 2.3.) uluslararası standartlara göre yapılan deneyler proje safhasında veya ileride karşılaşılabilecek aynı zemin veya kaya ortamlarında destek sistemlerinin nasıl uygulanacağı hakkında önemli veriler sunmaktadır.

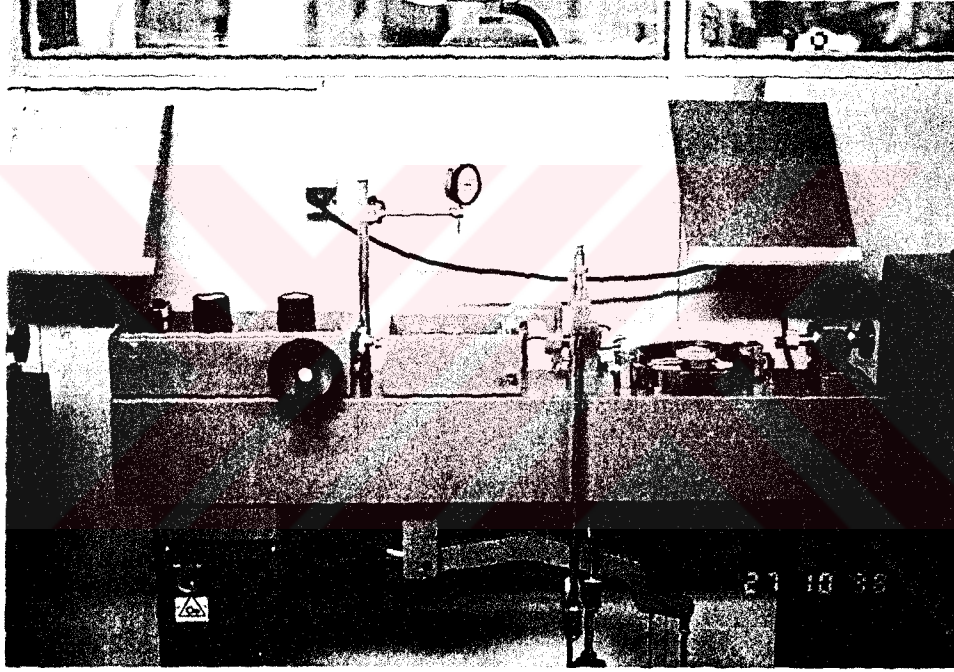
Genelde alınan zemin örnekleri üzerinde; konsolidasyon, tek eksenli sıkışma dayanımı, Young modülü ve Poisson oranı, tane boyu dağılım analizi, Atteberg limitleri, birim hacim ağırlık, doğal nem içeriği ve X ışınları zmlmeleri, rselenmemiş zemin örnekleri üzerinde üç eksenli basınç (CU) deneyi ve rezidüel direk kesme (CD) testleri yapılmaktadır (şekil 2.4).

Kaya rnekleri üzerinde de; petrografik analizler, tek eksenli sıkışma dayanımı, Young modülü ve Poisson oranı, üç eksenli sıkışma dayanımı (şekil 2.5.), çekilme dayanımı, nokta yükleme testi, birim hacim ağırlık testleri yapılmaktadır.

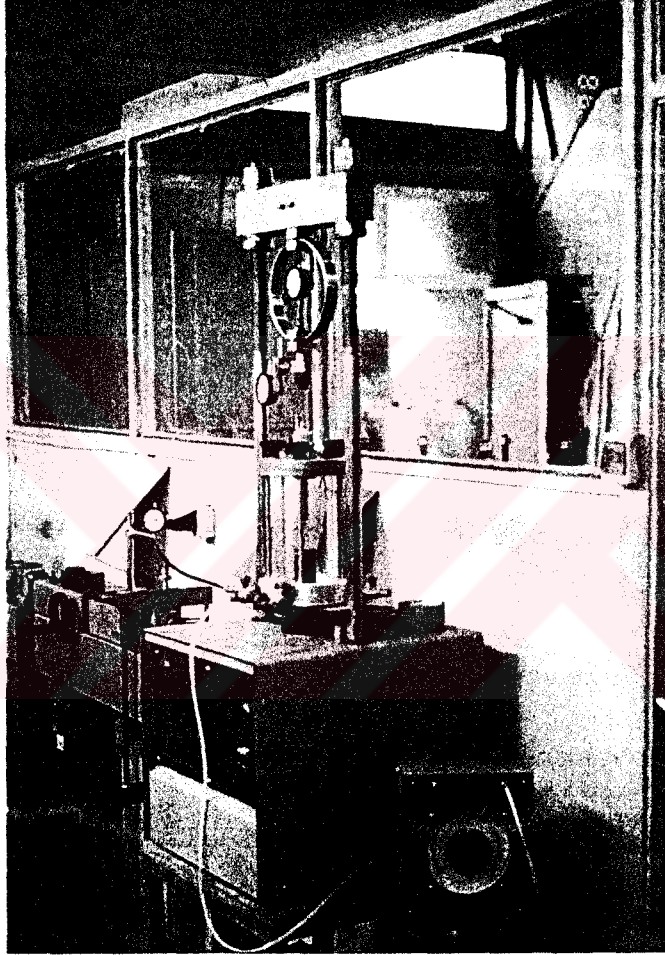
Sondajlardan veya kazı sırasında alınan zemin veya kaya örnekleri en iyi biçimde korunması için örnek alınır alınmaz sarılır, tüm gerekli bilgiler numune kartına yazılır ve laboratuvara veya üniversitelere gönderilir. Shelby tüpü ile alınan örneklerde parafinleme zaman kaybetmeden yapılarak numunenin bozulması önlenir (şekil 2.6.).



Şekil 2.3. Müteahhit firmaya ait zemin mekaniği laboratuvarı.



Şekil 2.4. Laboratuvarda kullanılan direk kesme aleti.



Şekil 2.5. Laboratuvarda kullanılan üç eksenli basınç test aleti.



Şekil 2.6. Tünellerden alınan blok ve tüp numuneler.

2.3. Sondaj alışmaları

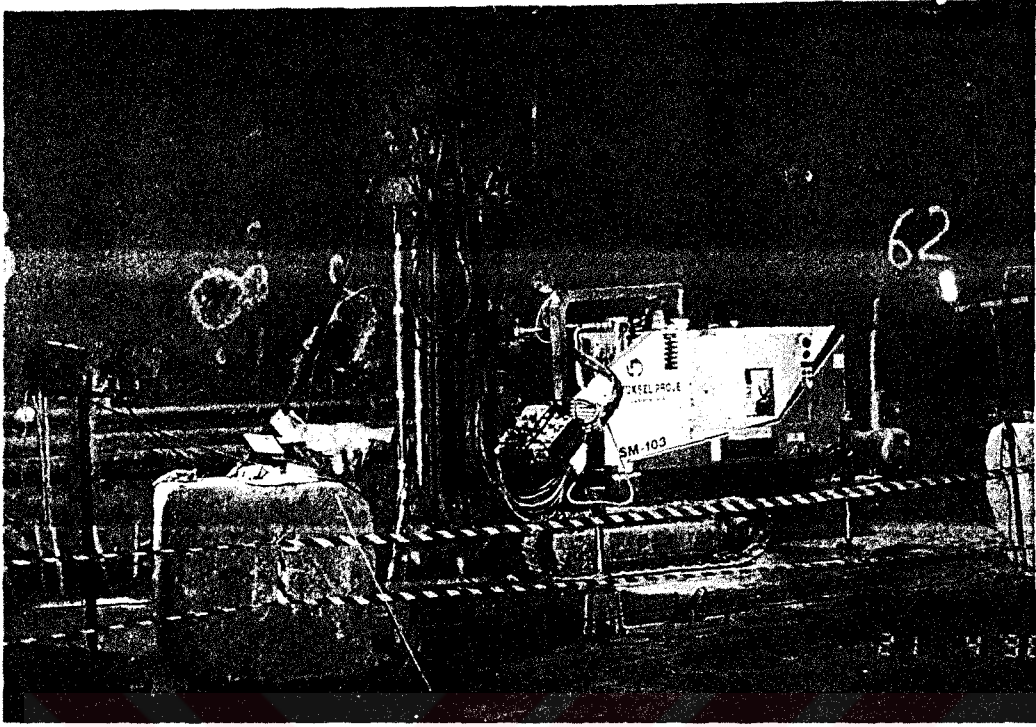
Tünel çalışmalarında sondaj çalışmalarının önemi oldukça fazladır.özellikle fay zonlarında veya dokanaklarda karşılaşılabilecek litoloji ve zemin/kaya parametreleri hakkında fikir sahibi olabilmek, su varlığını saptayabilmek ve en önemlisi bu verileri mevcut verilerle birleştirerek yapım aşamasındaki zorlukları asgariye indirmek amacıyla yapılan sondajlar titiz şekilde yapılmaktadır.Bolu Tünelin’de sondaj çalışmalarına gereken önem verilmiş ve jeoloji mühendisi’nin yorumlarının daha sağlıklı olmasına katkıda bulunulmuştur.

Bolu Tünelin’deki sondaj çalışmaları rutin olarak yapılmaktadır.Bu bindirmeli rutin sondaj çalışmalarının yanısıra, fay zonlarına yakın yerlerde veya dokanak değişim yerlerinde karotlu uzun sondajlar, Jeoloji Mühendisi’nin veya projecinin belirlediği nokta ve pozisyona göre yapılmaktadır (şekil2.7.).

Sondajlar ileride karşılaşılacak zemin hakkında fikir vermekle beraber, olası su durumuna karşıda tedbirli olmamızı sağlamaktadır.Yapılan sondajlar karotlu ise; karot sandıklarının Jeoloji Mühendisi tarafından jeolojik tanımlaması titiz bir şekilde yapılarak, fotoğrafları çekilir ve arşivlenir.Eğer uygun ve gerekli koşullar sağlanırsa zemin veya kaya örnekleri alınarak gerekli testler yapılır.Elde edilen tüm bilgiler Geoconsult firmasının elemanına iletilerek, yapım aşamasında gerekli çalışmaların yapılmasına yardımcı olunur.Ayrıca yapılan sondajlar plan haritasına yerleştirilerek ilerideki kazı çalışmaları için referans olmaktadır.

Eğer karotsuz sondaj ise; belli metrelerde kırıntı örnekleri alınarak tahmini jeolojik birim belirlenir.Bu tür sondajlarda sondajın ilerleme hız grafikleri hazırlanır ve sondaj suyundaki renk değişimleri titiz bir biçimde gözlenerek ileride karşılaşılabilecek zemin hakkında fikir elde edilir.

Genel olarak sondajlar yataya yakın 5^0 - 10^0 eğim açılarıyla tünelin yan duvarlarından, tavandan ve aynadan yapılır.



Şekil 2.7. Tünellerde yapılan yatay ve dikine araştırma sondajları.

2.4. Büro çalışmaları

Tünel içerisindeki jeolojik çalışmaların neticesinde elde edilen verilerin harita çizim çalışmaları büroda yapılmaktadır. Karayolları Genel Müdürlüğü tarafından her 200 m.'de bir istenilen 1:200 ölçekli tünel jeolojik açılım haritası her tünel için ayrı ayrı hazırlanır ve tek haritada gösterilir.

Bu açılım haritası ayrı bir uzmanlık ve dikkat isteyen önemli bir haritadır. Açılım Bolu Dağı Tünellerinde üst yarı taban kotuna göre yapılır. Bu haritada tünelin her 200 m.'lik kısmının detaylı jeolojisi yapılır (Ek-A).

Bu harita dışında tünelin açılan kısmının ve sondajlarla desteklenmiş açılmamış kısmın 1: 500 ve 1:2000 ölçekli jeolojik plan ve boy kesitleri hazırlanır (Ek-B). Bu haritada ise iki tünel arasında korelasyon yapılarak diğer tünelin açılmamış kısmı hakkında bilgi alınabilir. Ayrıca bu haritalar yardımı ile ileride kazılacak taban veya alt yarı kısımları için destek sistemlerinin belirlenmesinde önemli bilgiler sağlanmaktadır.

Tünel ilerlemesi sırasında karşılaşılan veya karşılaşılabilecek su patlamalarının önceden saptanması amacıyla yapılan 1:300 veya 1:500 ölçekli drenaj sisteminin plan ve kesit harita çizimi; iki tünel arasında korelasyon yapılarak diğer tünel hakkında suyun tünelin kaçınıcı metresinden ve nereden geleceği hakkında doğruya yakın tahminler yapılmasında önemli fikirler verir.

Ayrıca kritik bölgelerde yapılan pilot tünel çalışmaları tamamen jeolojik amaçlı olduğu için, pilot tünel açımı sırasında yapılan jeolojik çalışmalar çok önem kazanmaktadır. Bu nedenle pilot tünel kazısı sırasında en küçük ayrıntı haritalanır. Bu günlük ayna kesitleri 1:100'lük açılım haritalarına, en küçük ayrıntısına kadar işlenir. Bu pilot tüneldeki titizlik ana tünel kesitine geçildiğinde çok önemli bilgiler sağlamak ve bu bilgilere göre destek sınıfı elemanları belirlenmektedir.

Büro çalışmalarında, tünel içerisindeki temel jeolojik çalışmalara bağlı olarak aşağıda belirtilen haritalar hazırlanmaktadır ;

- 1:200 ölçekli jeolojik açılım haritası.
- 1:500 ölçekli plan ve boy kesit haritası.
- 1:500 ölçekli drenaj çalışmalarına ait plan ve boy kesit haritası.
- 1:2000 ölçekli jeolojik boy kesit haritası.
- 1:100 ölçekli pilot tünel için hazırlanan plan , kesit ve açılım haritaları.

Ayrıca, tünel içerisinde yapılan jeoteknik gözlem değerlendirmeleri, bilgisayar destekli çalışma ile büroda grafiklenir ve yorumlanır.



BÖLÜM 3. BULGULAR

3.1. Stratigrafi

Anadolu Otoyolu Bolu Dağı Tüneline ait hazırlanmış stratigrafik sütun kesit bulunmamakla beraber, dolayına ait jeolojik istifte (Şekil 3.1.), formasyonlar tünel kazısı sırasında yer yer kesilmiştir. Aşağıda bu bölgede çalışmış araştırmacıların bulguları verilmiştir:

3.1.1. Yedigöller formasyonu (Pyz)

Asarsuyu Girişin’de tünel güzergahının yaklaşık 750 m’lik ilk kısmında Amfibolit, Amfibolgnays, Metadiyorit ve Metagranitten oluşan Yedigöller formasyonu yüzeylenmektedir. Birimde egemen olan litolojiler Amfibolitler ve Metagranitlerdir. Bu birimleri kesen çeşitli kalınlıkta aplit, andezit ve diyabaz daykları ile kuvars damarları bulunmaktadır. Bu litolojilerin bir kısmı, bölgedeki paleotektonik ve neotektonik hareketler ile ileri derecede kataklastik deformasyona uğramışlardır.

İnceleme alanında Yedigöller formasyonunun tabanı gözlenememektedir. Formasyonun üst dokanağı tünel ekseninde Devoniyen yaşlı şeyl, fillit, kayraktaşı ve kristalize kireçtaşları ile (İkizoluk formasyonu) tektonik dokanaklıdır. Bölgede çalışma yapan araştırmacılar (Blumental 1948, Ketin 1967, Canik 1980, Kaya ve Dizer 1984, Aydın vd., 1987, Cerit 1990, Dalgıç 1994) arasında birimin bölgedeki temeli oluşturduğu ve Pre-Kambriyen yaşta olabileceği konusunda görüş birliği bulunmaktadır.

Bölgesel metamorfizma ve daha sonra bunu izleyen genç bir kataklastik ve retrograd metamorfizma Yedigöller formasyonunu etkilemiş görülmektedir. Bölgesel metamorfizmadan etkilenmiş olan Yedigöller formasyonu’nun, fay zonları yakınlarında kataklastik metamorfizmanın etkilerini de taşıdığı görülmektedir. Birimdeki kataklastik kayaların tanınmasında dokusal farklılık, ayrışma derecesi, fay zonları ve ince

PALEOZOYİK		MESOZOYİK				SENOZOYİK			ÜST SİSTEM	
DEVON. ÖNCESİ	DEVONİYEN	KRETASE		ÜST KRETASE - ALT EOSEN			TERSİYER		Kuva.	SİSTEM
YEDİGÖLLER	İKİZOLUK	ABANT KARMAŞIĞI	ELMALIK	ATYAYLA	BAYRAMIŞLAR	FINDIÇAK	APALAR	ORTA - ÜST EOSEN	PLİYOSEN	ASARSUYU
			Çatak							
Pzy	Di	Diç	Ka	Ke	Kat	Kb	KTF	Ta	Qa	Qal / Qym
LİTOLOJİ										
AÇIKLAMALAR										
Alüvyon , yamaç molozu										
Siltli kil , killi silt , çakıllı kum										
Kiltaşı - Killi kireçtaşı - Jips Kiltaşı -Silttaşı - Kil - Silt , Marn										
Çakıltası - Kumtaşı - Silttaşı Kiltaşı - Marn - Kireçtaşı										
Kumlu Kireçtaşı - Karbonatlı Kumtaşı										
Breşik Kalker , Sleyt										
Granit , Granodiyorit Mermer, Kuvarsit , Şeyl , Fillit										
Şeyl , Kiltaşı , Silttaşı Kristalize Kireçtaşı Kuvarsit Fillit - Sleyt - Kalkışit										
Amfibolit - Amfibolgnays Metadiyorit - Metagranit - Metagranodiyorit										

Şekil 3.1. Tüneller ve dolayına ait stratigrafik sütun kesit (DALGIÇ, 1994'den değiştirilerek).

kesitlerdeki kataklastik doku gibi unsurlar yardımcı olmuştur.Higgings (1971), Sibson (1977), Takagi (1986), Schmid ve Handy (1991) gibi araştırmacıların tanımlarına göre, Yedigöller formasyonunda fiziksel özelliklerden dolayı daha çok birincil kohezyonlu milonitik kayalar bulunmaktadır.Kayalarda mekanik ufalanma ve rekristalizasyon yanı sıra epidotlaşma ve kloritleşme yaygındır.Kuzey Anadolu fay zonunda ufalanma- kırıklanma nedeniyle biçim değişim doğal olarak artmıştır.

3.1.2. İkizoluk formasyonu (Di)

İkizoluk formasyonun fillit, kayraktaşı, kalkışit, şeyl, kıltaşı ve silttaşı ile Çatak kireçtaşlarına ait litolojiler tünel kotunda yer almaktadır.İstifin alt kesimlerinde, metamorfizmanın arttığı kesimlerde serizit, kuvars, şist gibi düşük derecede metamorfik kayalar bulunmaktadır.İstif üst kesimlere doğru, metamorfizmanın giderek azalan kesimlerinde şeyl, kıltaşı, silttaşı ve ince taneli kumtaşı araldanması içerir.İstif içerisinde değişik kalınlıklarda andezitik dayklar da yer almaktadır. İkizoluk formasyonunda, bindirme ve doğrultu atımlı fay zonları yakınlarında yaygın olarak kataklastik ve milonitik kayalar bulunmaktadır.Çatak kireçtaşı üyesine ait kayaçlar etkin tektonik hareketlere bağlı olarak yukarıda değinilen birimlerle girik ya da arakatkılı görünümündedir.

3.1.2.1.Çatak kireçtaşı üyesi (Diç)

Tünel güzergahında Taşlıburun tepede, D-B doğrultulu elips şekilli mostraları bulunmaktadır.Başlıca kayaç türleri gri ve siyah, breşik, kalın katmanlı, kristalize kireçtaşları ve dolomitik kireçtaşlarıdır.Kristalize kireçtaşları milonitik dokuludur, kalsit, kavkı parçaları, az miktarda serisit, klorit, yer yer kuvars ve opak mineraller içermektedir.

Tünel güzergahında İkizoluk formasyonunun alt ve üst birimlerle birincil ilişkiler yerini tektonik ilişkilere bırakmıştır.İstif kendi içerisinde ekaylanmıştır.Bu nedenle istifin gerçek birincil kalınlığı belli değildir.Abdüselamoğlu (1959), benzeri istife, rekristalize kireçtaşı ve kayraktaşından derlediği fosillerle Devoniyen yaşını vermiştir.Gözübol (1978), Canik (1980), Yılmaz vd., (1981), Aktimur vd., (1983),

Aydın vd., (1987), Cerit (1990), bu çalışmada Çatak üyesi olarak tanıtılan birimde benzer fosiller bularak Orta Devoniyen yaşını saptamışlardır.

İkizoluk formasyonu litolojik özelliklerine göre sığ denizel bir ortamda çökelmiş olmalıdır. Formasyonun üst seviyelerine doğru birincil dolomitlerin artması ortamın giderek daha sıklaştığını ve kaynak bölgeden kırıntılı malzeme gelişiminin azaldığını göstermektedir (Cerit,1990). İkizoluk formasyonunun çökelimini izleyen dönemden Üst Kretase sonuna kadar çökellerle örtülmesi ise bölgede bu istifin hep pozitif bir alan olarak kaldığını veya istifin çökellerle örtüldüğünü, fakat Üst Kretase'den önce yükselerek hızlı bir aşınmaya uğradığını göstermektedir.

İkizoluk formasyonundaki bölgesel metamorfizma etkisi mineral gelişimi açısından değerlendirildiğinde, yeşilşist fasiyesinin koşullarını aşmadığı anlaşılmaktadır. Tane büyümesi kayraktaşı, fillit, şist geçişi evresini geçmemiş ve mineral uzaması bazı örneklerde tanınabilir boyda ulaşmıştır (Yılmaz vd.,1981). İkizoluk formasyonunda kataklastik deformasyonun etkisi de çok yaygındır.

3.1.3. Abant karmaşığı (Ka)

Paleozoyik istifi ile ilişkili, birbirinden farklı kayaların bünyesinde tektonik bir karışım halinde bulunduran bir karmaşıktır (Gözübol,1978). Abant karmaşığının başlıca kaya birimleri kayraktaşı, fillit, rekristalize kireçtaşı, pelajik kireçtaşları, kalkışist, kuvarsit ve mermer bloklarıdır. Bu karmaşık topluluk tünel güzergahının güneyinde yeralan Elmalık köyü dolaylarında granit sokulumları tarafından kesilmiştir. Abant karmaşığı mostraları ise tünel güzergahı üzerinde bulunmamaktadır.

3.1.4. Elmalık granitoyidi (Ke)

Elmalık granitoyidi tünel ekseninde iki alanda bulunmaktadır. Bu alanlardaki Elmalık granitoyidine ait birimlerin paleotopoğrafyası yaklaşık tünel eksenine yaklaşık paralel konumdadır.

Tünel güzergahının güney batısındaki Elmalık Köyü dolaylarında sarımsı kahverengi, çok fazla ayrılmış, az sağlam, paralanmış granitlerde başlıca kuvars, plajiyoklas, alkali feldspat, hornblend ve biyotit mineralleri egemendir. Minerallerin hemen hepsinde ayrışma ve kataklastik deformasyonun izleri görülmektedir. Granit akma düzlem ve çizgileri içermez. Bu özellikleriyle daha çok intrüzif nitelikler gösterir. Granit yerleşmeleri kısmen de süreksizlik zonları boyunca gelişmiştir.

Granitoidlerin yaşı, Dokurcun-Abant yöresinde Devoniyen'den genç olarak belirlenmiştir (Abdülselemoğlu, 1959). Kuzey Anadolu fay zonunun güneyinde ise Devoniyen'den yaşlı olduğu saptanmıştır (Gözübol, 1978). Kuzey Anadolu Fay zonu'nun kuzeyinde Abant karmaşığını kestiğinden Üst Kretase'den genç olduğu düşünülmektedir (Yılmaz vd., 1981). Canik (1980), Bolu kuzeyinde yeralan granitoidleri Prekambriyen; Aktimur ve Atılgan (1983), Bolu yakın kuzeyinde yeralan granitik kayalar genelinde Paleozoyik ve Cerit (1990), Üst Paleozoyik yaşlarında değerlendirmişlerdir. İnceleme alanı dolayında yeralan granitoidler ise Abant karmaşığı olarak tanımlanan birimi kestiğinden dolayı Üst Kretase veya daha genç yaşta olabileceği kabul edilmiştir (Gözübol, 1978).

3.1.5. Atyayla formasyonu (Kat)

Bu formasyon, başlıca breşik mermer çakıllı dokusu metamorfik olmayan çakıltaşından oluşur. Birimin ilk varlığı Atyayla sırtında D-B doğrultulu, 100-120m. genişliğinde, 1000-1250m. uzunluğunda, İkizoluk formasyonu arasında tektonik dokanakla yer alır.

Birimin tünel güzergahındaki diğer varlığı, Elmalık köyünün kuzeyinde yer almaktadır. Ancak birim bu alanda yüzeylenmez, başka birimlerce tektonik olarak üzerlenmektedir. Alt sınırlarında tektonik dokanaklıdır.

Birimdeki ana kayaç türleri, beyaz-pembe breşik mermer çakıllarından oluşmuş çakıltaşları ile kıltaşları ve bunları kesen birkaç metre kalınlığında andezit daykalarından oluşur. Breşik mermer çakıllarında kalsit, çok az miktarda kuvars ve metamorfik kaya kırıntıları bulunmaktadır.

Atayla formasyonu; İkizoluk formasyonu, Fındıcak formasyonu ve Apalar formasyonu ile tektonik dokanaktır.Bu nedenle stratigrafik olarak bir yaş vermek mümkün değildir.Ayrıca istif içerisinde fosil bulgusu da yoktur.

Birimin çökelme yaşının ise çakıtaşı matriksinin metamorfik olmayışı nedeniyle, Üst Kretasedeki ilk transgresyon ile ilgili olabileceği varsayılabilir.

Diğer araştırmacılara göre Atayla formasyonuna kaynaklık eden birimlerin daha çok Paleozoyik yaşlı olabileceğini göstermektedir.

3.1.6. Bayramışlar formasyonu (Kb)

Bayramışlar formasyonunun kumlu kireçtaşı ve karbonatlı kumtaşı mostraları tünel güzergahı boyunca gözlenirken tünel kotuna kadar sürekliliği yoktur.Bunun nedeni Bayramışlar formasyonun alt dokanağının tünel kotuna yakın yerde bir bindirme fayı ile sınırlandırılmış olmasıdır.

Tünel güzergahındaki Taşlıburun güneyinde, dokanak ilişkileri faylarla sınırlandırılmış ve uzun eksen 1500 m., kısa eksen 10 m. olan bir alanda yüzeylenmektedir.

Birimde egemen olan litoloji sarımsı, kumlu kireçtaşları ardalı karbonatlı kumtaşlarıdır.Kumlu kireçtaşlarında kuvars+feldspat ve intraklast parçaları spartik matriks içerisinde yer alırlar.Karbonatlı kumtaşları da kalsit, kuvars, muskovit ve opak mineraller içermektedir.Çatlaklar ikincil kalsit damarları ile doldurulmuştur.

Bayramışlar formasyonunun alt ve üst dokanak ilişkileri bölgedeki etkin tektonizma neticesinde kaybolmuştur.Birimin kalınlığı, bu nedenle kesin olarak belirlenememiştir.Cerit (1990)'a göre ve birimin egemen kaya türleri gözönünde bulundurulduğunda çökelim ortamının sığ denizel olabileceği anlaşılmaktadır.

3.1.7. Fındıcak formasyonu (KTf)

Fındıcak formasyonuuna ait breşik kireçtaşı, kumtaşı, silttaşı, kıltaşı, marn ve kireçtaşları tünel ekseninde yer almaktadır. Formasyon tünel kotunda, tektonizmadan aşırı etkilenmiş killi silt matriks içerisinde çoğunluğu kireçtaşından oluşan değişik boyutlarda bloklar şeklinde yer almaktadır.

Elmalık köyü yakınlarında mostraları tektonizmadan aşırı derecede etkilenmiş olmasından dolayı Fındıcak formasyonu bloklu bir yapı kazanmıştır.

Fındıcak formasyonunun alt düzeylerinde bulunan breşik kireçtaşlarında kalsit, kuvars, az miktarda muskovit, klorit mineralleri ince taneli matriks içinde yer alır.

Fındıcak formasyonu yer yer aşmalı sedimantasyonla, Abant karmaşığı ve Elmalık granitoidi üzerine diskordan olarak gelmektedir. İkizoluk formasyonu ve Bayramışlar formasyonu ile dokanağı tektonik olduğundan stratigrafik ilişkisi çalışma alanında izlenemez.

Karbonat oranının artmasıyla marn ve kireçtaşına geçişlerde gözlenmektedir.

Kataklastik metamorfizmanın yoğun olduğu yerlerde, İkizoluk formasyonun fillit ve kayraktaşları ile benzerlik gösterir.

Fındıcak formasyonun egemen litolojisini oluşturan kumtaşlarında, derecelenme, ince tabakalanma ve çapraz tabakalanmaya sık rastlanır. Yalnız, bu tür tortul yapıların, şiddetli tektonizmadan etkilenmiş olması nedeniyle izlenmesi güçtür. Buna karşın, Fındıcak formasyonun teknotortul bir ortamda çökeldiği söylenebilir.

Araştırmacıların saptadıkları yaş Üst Kretase- Paleosen, kısmen Alt Eosen'dir.

3.1.8. Apalar formasyonu (Ta)

Apalar formasyonu kırmızı kil, kıltaşı, silttaşı, kireçtaşı, jips, marn ardalanmasından oluşmaktadır.İstif, CANİK (1980), tarafından Apalar formasyonun Çaşlar üyesi olarak adlandırılmıştır.

Killi kireçtaşı ile jipsli seviyeler DALGIÇ (1994), tarafından Açma üyesi olarak adlandırılmıştır.

Apalar formasyonunun Elmalık köyü dolaylarında mostraları bulunmaktadır.Birim, morfolojik olarak Bolu ovasını kuzeyden sınırlayan yükselimlerin, Fındıcak formasyonu ile birlikte ilk aşamasını oluşturmaktadır.

Tünel kotunda görülebileceği bölüm Taşlıburun tepe'nin güneyindedir.Apalar formasyonu tünel ekseninde yanal ve düşey yönde sık sık fasiyes değişiklikleri sunmaktadır.Bu nedenle istifte düzenli bir ardalanma izlenemez.Bununla birlikte kırmızı kil, kıltaşı, marn ve jips birimin ana bileşenidir.

İstif içerisinde Fındıcak, Bayramışlar ve İkizoluk formasyonlarına ait blok boyutunda çeşitli kütleler bulunmaktadır.Bu litolojileri kesen çok sayıda volkanik sokulumlar gözlenmektedir.

Apalar formasyonun mostraları çalışma alanında çoğunlukla tektonik sınırlarla belirlendiği için birime ait belirgin bir kalınlık verilemez.

Birim tünel güzergahında Fındıcak formasyonu ile tektonik dokanaklıdır.Apalar formasyonu yer yer Pliyosen yaşlı Asarsuyu formasyonu ve güncel çökeller ile örtülüdür.

Birim çalışma alanında Fındıcak formasyonu ile tektonik dokanaklıdır.Fındıcak formasyonu üzerine kuşkulu paralel diskordansla gelmektedir (CANİK.,1980.).

Apalar formasyonunun üst dokanağı ise Asarsuyu formasyonu ve alüvyon çökelleri tarafından diskordans olarak örtülür.

Dalgıç (1994)'e göre Apalar formasyonun yaşı Orta Eosen-Üst Eosen olduğudur.

Çökelme çanağı faylarla sınırlanmış ve çökelme faylanmayla birlikte kontrol edilmiş olmalıdır. Apalar formasyonu Orta Eosen'de derinleşen bir çökelme ortamında oluşmuştur. Üst Eosen'de bu ortam giderek sıkışmış jips ve jipsli seviyelerin çökmesine uygun koşullar yaratmıştır.

3.1.8.1 Açma üyesi (Taa)

Alt seviyelerinde gri killi kireçtaşı, üst seviyelerde beyaz kil arakatkılı jips istifinden oluşur. Açma üyesi, çalışma alanının güney batısında tipik mevkii gözetilerek DALGIÇ (1994) tarafından adlandırılmıştır.

Birim, otoyol güzergahı üzerinde mostra vermez. Elmalık köyü dolaylarında, bazı düzeylerde ara katkılar şeklinde bulunur. Açma üyesinin tipik mostraları Bakacak köyünün güneyinde bulunur ve birim içerisinde çimento sanayi için açılan pek çok taş ocağı bulunmaktadır.

Apalar formasyonunun alt düzeylerini oluşturan Açma üyesinin alt seviyeleri, gri-bej renkli killi kireçtaşları ile başlar istif üste doğru beyaz-bej kil arakatkılı jipse geçer. Jipsler suyun etkisiyle dağılgan ve yumuşayan, düşeye yakın eklemli, eklem-leri kırmızı kil dolgulu, bazı kesimlerde erime boşlukludur.

Taş ocaklarında yapılan gözlemlere ve enine kesitlere göre birim yaklaşık 70-100 m. kalınlığa sahiptir.

Üyenin yaşı CANİK (1980), tarafından tesbit edilen fosillere göre Üst Eosen kabul edilmiştir.

Litofasiyes özellikleri ve fosil kapsamına göre, Açma üyesi sığ-karasal ortamda çökelmiştir.

3.1.9. Asarsuyu formasyonu (Tas)

Killi silt, kumlu silt, bloklu çakıllı kum ardalanmasından oluşan bu birim, Kuvaterner çökellerinden ayırtlanmıştır (Dalgıç,1994).Tünelin Asarsuyu girişinde yüzeylenmektedir.Bu mostralardan bir kısmı şev kazısı sırasında kaldırılmıştır. Asarsuyu formasyonunun alt kesimlerinde, bloklu çakıllı düzeyler bulunur.İstifin bazı kesimlerinde ise daha ince kırıntılı çökeller ile başlamaktadır.

Asarsuyu formasyonun egemen litolojisini çapraz katmanlı kumlu silt, kumlu killi silt, siltli kil gibi düzeyler oluşturur.Asarsuyu tarafından girişte birimin korunmuş kalınlığı 30 m.'dir.Birim, tünelin kuzeyden girişi dolaylarında uyumsuz olarak yer almaktadır.Asarsuyu formasyonu tünelin Elmalık köyü çıkışı dolaylarında Fındıcak ve Apalar formasyonu üzerinde uyumsuz olarak görülür.

Siltli kil matriks içerisindeki organik malzemelerden palinolojik araştırmalar (Astaldi rap.no 2014,1990.) yapılmış ve birimin yaşının en az 20000 yıl olduğu bulunmuştur.Stratigrafik konumu, çalışma alanı çevresinde yaş verilmiş olan benzer fasiyesteki litolojiler ve palinolojik yaş verilerine göre, Asarsuyu formasyonun yaşı Pliyosen olarak kabul edilmiştir.Asarsuyu formasyonu Asarsuyu vadisi yamaçlarının zaman içinde kaymasıyla vadinin kapanması sonucu arkasında oluşan göl sel çökelleridir.Buna benzer örnekler vadinin doğu tarafında mevcuttur.

3.1.10. Kuvaterner çökelleri

Traverten(Qt): Fay ve bindirme zonlarına bağlı olarak kaynaklarla ilgili olarak yerel mostraları görülür.En büyük mostarası Kom deresinin batı yamaçlarındadır.Buradaki mostra boyutları yaklaşık 60-70m.'dir.

Haritalanmayacak boyutlarda görülen diğer traverten mostraları Elmalık ve Karasu derelerinde bulunmaktadır. Traverten oluşumunda, Kom bindirmesi ile yüzeye çıkan yeraltısuları etkili olmuştur.

Yamaç molozu (Qym) : Fay şevlerinde, dike yakın yamaçların eteklerinde kataklastik kayaların taşınması ile yamaç döküntüleri oluşmaktadır. Haritalanacak boyuttur. Kalınlığı yaklaşık 15-20m.'dir.

Alüvyon konisi (Qak): Asarsuyu vadisinin güney yamaçlarında, hızlı bir taşınma ile biriktirilmiş blok ve kum boyu malzemeden oluşan çökellerdir. Kalınlığı alüvyon konisinin büyüklüğüne göre değişmekte, yer yer 10-15m. kalınlığa kadar ulaşmaktadır.

Alüvyon (Qal): Yaygın olarak Asarsuyu vadisinde ve Keçi deresinde, daha az olarak Kom deresinde ve Elmalık deresinin eğiminin azaldığı mansap kesimlerinde, değişik kalınlıkta alüvyon oluşumları görülmektedir.

3.2. Tünel güzergahının yapısal jeolojisi

Tünel karmaşık bölge tektoniğinden etkilenmiştir (Şekil 3.2.).Kuzey Anadolu fay hattı'na yakınlığı (Şekil 3.3.) ve buna bağlı olarak gelişmiş ikincil faylar, düşük açılı faylar, su durumu ve makaslama zonları tünel kazısını güçleştirmiş ve tünelin ÖNORM B2203 kaya sınıfına göre açılmasını zorunlu kılmıştır.

3.2.1. Tünel güzergahının genel jeolojisi ve litolojisi

Bolu tünelini jeolojik, jeoteknik ve hidrojeolojik açıdan iki kısma ayırmak mümkündür.

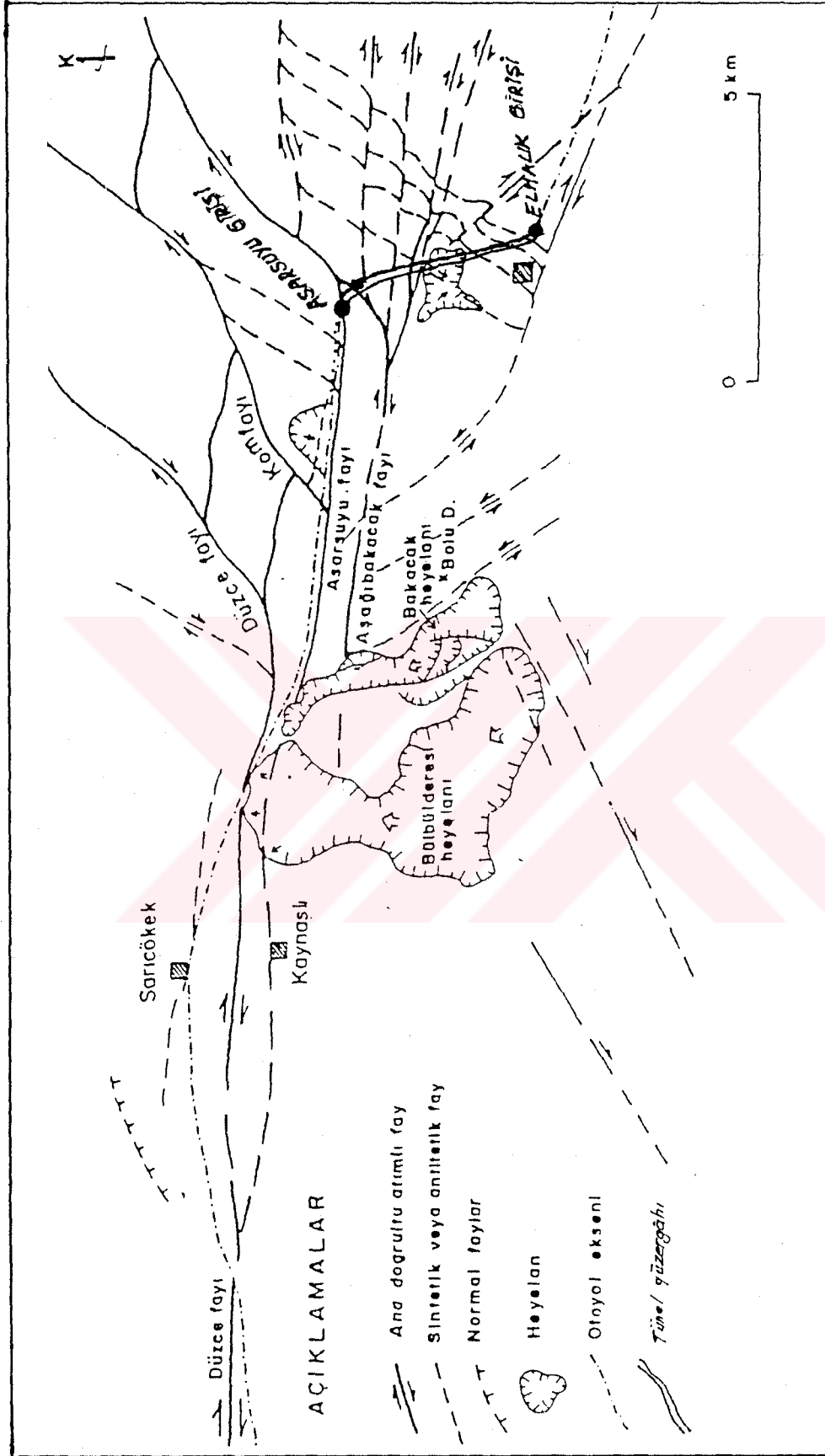
- Asarsuyu bölgesi
- Elmalık bölgesi

Bu iki bölge arasındaki sınır; Asarsuyu girişinden itibaren, tünelin 1893 m.'de yaklaşık Elmalık deresini oluşturan ana fayla sınırlanmıştır.

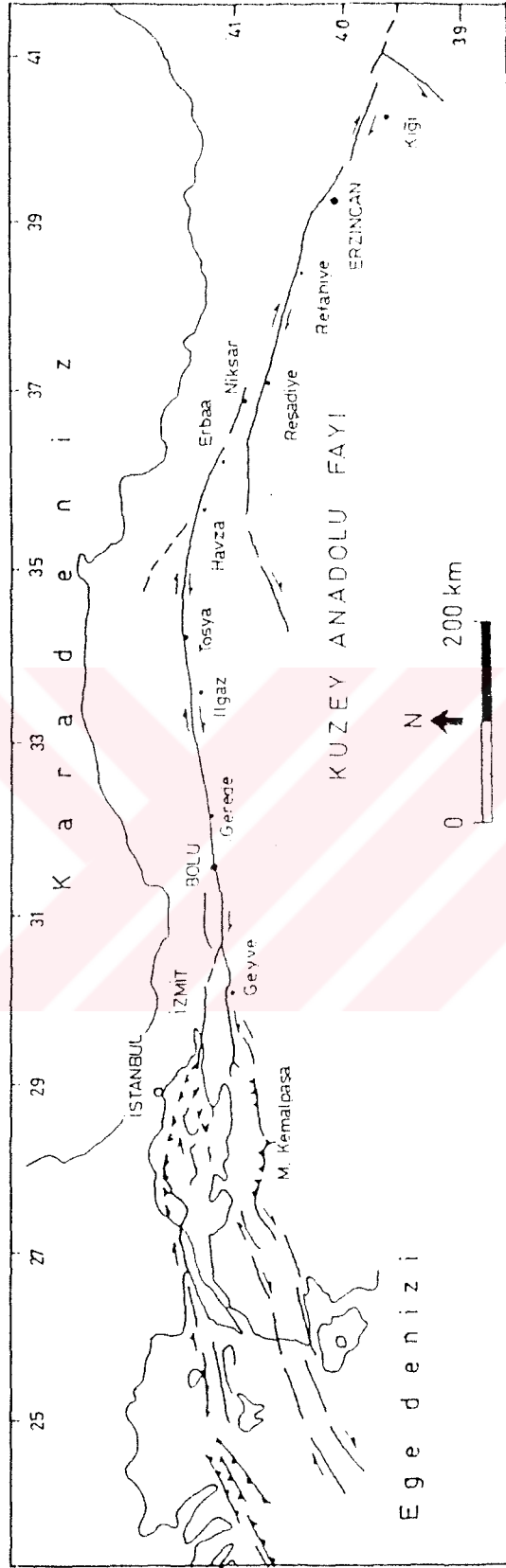
Asarsuyu bölgesinde Paleozoyik yaşlı kristalin temel kayaçlarıyla (Yedigöller fm.) onu tektonik olarak üzerleyen Paleozoyik yaşlı Metasedimenter kayaçlar (İkizoluk fm.) ve Kretase yaşlı karbonatlı kumtaşlarından (Bayramışlar fm.) oluşmaktadır.

Elmalık bölgesinde genelde Kretase yaşlı fliş (Fındıcak fm.) ortamının çökelleri, killi kireçtaşı, marn, kumtaşı, silttaşı ve kiltası aralanmasından oluşur.Killi kireçtaşı ve marn birimleri yüzeye yakın yerlerde mostra verirken tünel kotuna yakın ve tünel kotundaki birimler çoğunlukla kiltası ve kumtaşı kökenlidir.Bu iki düzey arası düşük açılı faylarla sınırlanmıştır.Birim tektonizmayla tamamen bozulmuş ve fay killeri özelliğini almıştır.

Bu birim Metakristalin Temel'le yataya yakın bir açıyla üzerlemektedir.Dolayısıyla Metakristalin Temel yer yer tünel kotuna kadar yükselmiştir.



Şekil 3.2. Tünel ve dolayının tektonik durumuna ilişkin harita.



Şekil 3.3. Kuzey anadolu fay zonunun çalışma alanındaki yeri.

3.2.1.1. Metakristalin temel kayaçları

Başlıca Metagranit, Metadiyorit, Metakuvarsdiyorit, Gnays ve Amfibolitten oluşan birim (Yedigöller fm.) içerisinde, genç evrede magmasal faaliyetlerle yerleşmiş aplit, kuvars, ve diyabaz daykları yaygındır. Gri-yeşilimsi-kırmızımsı kahverengi renklerde görülen birim; taze-yüksek bozuşmaya doğru ayrışma derecesi göstermekte, süreksizlik aralıkları, genişten çok dar'a kadar değişmektedir. Kayanın mukavemeti sağlamdan yumuşağa doğru değişmekte olup, süreksizlik dolguları kil, oksit ve kuvarsttan oluşmaktadır. Süreksizlik dolgusu kalınlıkları 1-3 cm. arasında değişmekte olup bu kalınlıklar faylanmaya bağlı olarak 20 cm.'ye kadar çıkmaktadır. Süreksizlik yüzeyleri, pürüzsüz, kaygan ve ondülasyonludur.

Süreksizliklerin yoğunluğuna ve yönelimine göre yer yer aşırı sökülme gözlenmiştir.

Farklı mineralojik bileşimdeki bu birimdeki kayaların sertlikleri ve dayanımları da farklıdır. Bundan dolayı kazıdan sonra farklı kaya davranışları gözlenmiştir. Bunun sonucunda ise aşırı sökülme ve eksik kazılar meydana gelmiştir.

Yüksek derecede bozuşmuş, faylanmış, ezilmiş, kırıklı, makaslamaya uğramış ve kayma yüzeyli Metakristalin birimin km:62+000-62+62+050 arasında çok yükek deformasyonlara neden olduğu saptanmıştır.

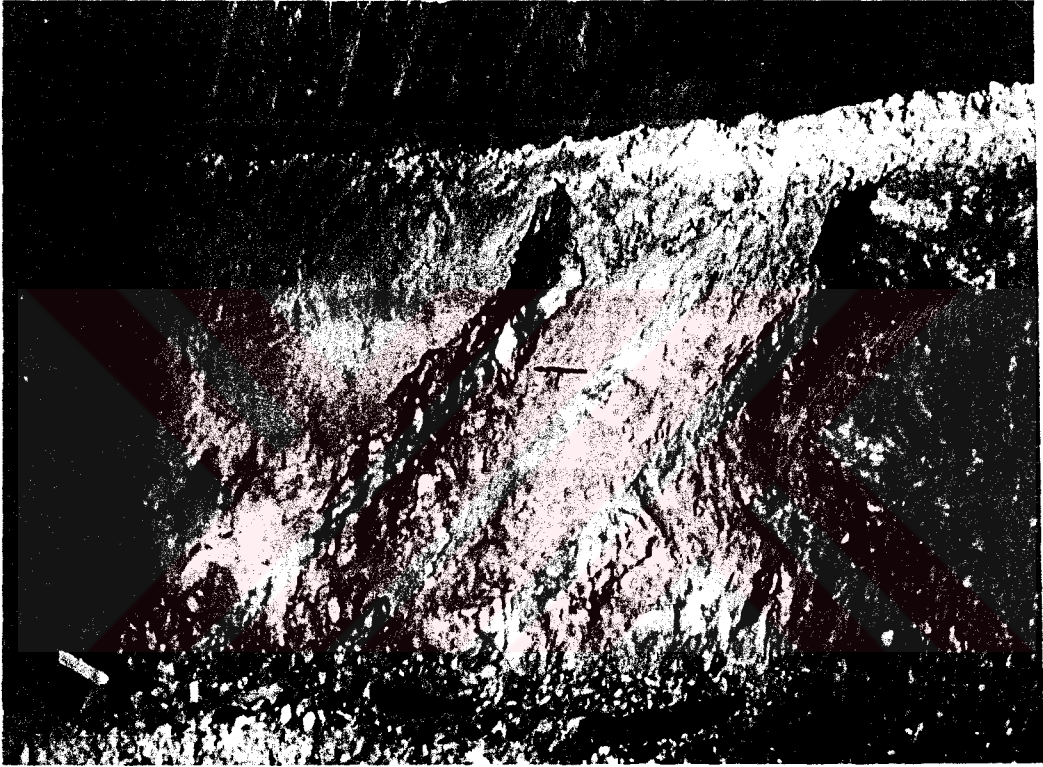
Metakristalin temel kayaçlarına ait birimlerin fay zonları yakınlarında veya faylanma neticesinde kataklastik metamorfizmanın etkilerinin taşıdığı görülmüştür. Birimdeki kataklastik kayaların tanınmasında dokusal farklılık, ayrışma derecesi, akıntı yapılarının gelişmesi etkili olduğu gözlenmiştir. Faylanmaya bağlı olarak birim; tamamen bozuşmuş, aşırı şekilde ezilmiş, kayma yüzeyli, kırıklı, makaslama-ya uğramış, içerisinde makaslama blokları bulunan fay kili malzemesi gibi davranış göstermiş ve buna bağlı olarak da yer yer deformasyonların artmasına neden olmuştur. Özellikle Elmalık tünel girişinde görülen Metakristalin temel kayaçları içinde

gelişen fay zonları, fay kili malzemesi gibi davranış göstermekte ve aşırı deformasyonlara neden olmuştur. Asarsuyu tarafında kayaç yüzeyleri ıslak ve nemli su içeriğine sahip iken Elmalık tarafındaki Metakristalin temel kayaçları genelde kurudur.

3.2.1.2. Metasedimenter kayaçlar

Metasedimenter kayaçlar her iki tünelde de sık karşılaşılan, özellikle Asarsuyu tünel girişinde görülen tamamen fay zonu malzemesine ait bir birimdir (Şekil 3.4.). Koyu yeşil-siyah-koyugri-açıkgri-bej renkte, etkin faylardan dolayı yüksek derecede bozuşmuş-tamamen bozuşmuş, yüksek derecede ezilmiş-tamamen ezilmiş, yer yer tabakalı, laminalı ve foliasyonlu Metasedimenter kayaçlar (İkizoluk fm.) içinde Metasilttaşı, Rekristalize kireçtaşı, Kuvarsitik kireçtaşı, Şeyl, Metakumtaşı, Arkozik kumtaşı ve kuvarsit blokları gözlenmiştir. Bloklar çok sert-orta sert mukavemetinde, süreksizlik aralıkları çok dar'dan orta dar'a doğru, taze-orta derecede bozuşmuş ayrışma derece-sine sahip, kaba- çok ince tanelidir. Çatlak dolguları; kalsit, ikincil kuvars ve kildir (mm-5cm). Fay kili matriksi kumlu kil ve siltli kilden oluşmuştur (USCS zemin sınıflamasına göre SC-CL). Fay kili matriksi düşük plastisite-yüksek plastisite, katı-gevşek özellik göstermektedir. Kayma yüzeyleri; parlak, düzgün, ondülasyonlu-düzlemseldir. Kesme blokları sağlam Kristalize kireçtaşları bloklarından oluşmuştur (Ø 4-50 cm.). Pirit mineralleri ve Molluska filumuna ait Pelecypoda fosilleri (lokal olarak) gözlenmiştir. Bazı yerler etkin faylardan ve Andezit & Keratofir / Sipilit dayklarından dolayı çok zayıf ve duraysızdır.

Metasedimenter kayaçlar için su durumu genel olarak; nemli ve akan su şeklindedir (1 lt/2-10 dak.). Bazı bölgelerde bu durumu ani değişimler göstermiş ve 500 lt/sn. kadar ani su boşalmaları saptanmış, fakat bu boşalım süreklilik göstermemiştir. Yaklaşık on gün içinde su akışı, damlama-sızıntı şekline dönüşmüştür. Su boşalmaları, genellikle ezilmiş metasilttaşı ve metakumtaşı içine gömülmüş kristalize kireçtaşı, kumtaşı ve dayk kesme gövdelerinden oluşmuştur.



Şekil 3.4. Fay zonu malzemesine ait metasedimenter birim.

3.2.1.3. Breşik kireçtaşı

Pembemsi-gri-beyaz renkte, çok sağlam-sağlam, süreksizlik aralıkları geniş'den çok dar'a kadar değişmekte, taze-az bozuşmuş, Breşik kireçtaşı (Atyayla fm.) Asarsuyu girişinde yaklaşık 170-180 m. kalınlığında kesilmiştir. Breşik kireçtaşı kendi içerisinde gelişmiş faylardan ve süreksizliklerden dolayı yer yer şiddetli derecede ezilmiştir (2-20 cm. kalınlığında.). Çatlak dolgusu siltli kil ve kalsittir (mm-30cm.). Çatlakların karakteristik özellikleri (ISRM, 1975 sınıflamasına göre); çatlak yüzeyleri ondülasyonlu, pürüzlü, çatlak aralığı açık-orta, çatlak devamlılığı çok az-ortadır. Yer yer oksitlenme yüzeyleri gözlenmiştir. Mikro ölçekte karstik boşluklar gözlenmiştir.

Kaya nokta yük testi ve tek eksenli basınç dayanım test sonuçlarına göre; Yüksek-orta dayanım (Bieniawski, 1989 sınıflamasına göre), (Brach & Franklin 1972, ISRM 1979 sınıflamasına göre) özelliği göstermiştir.

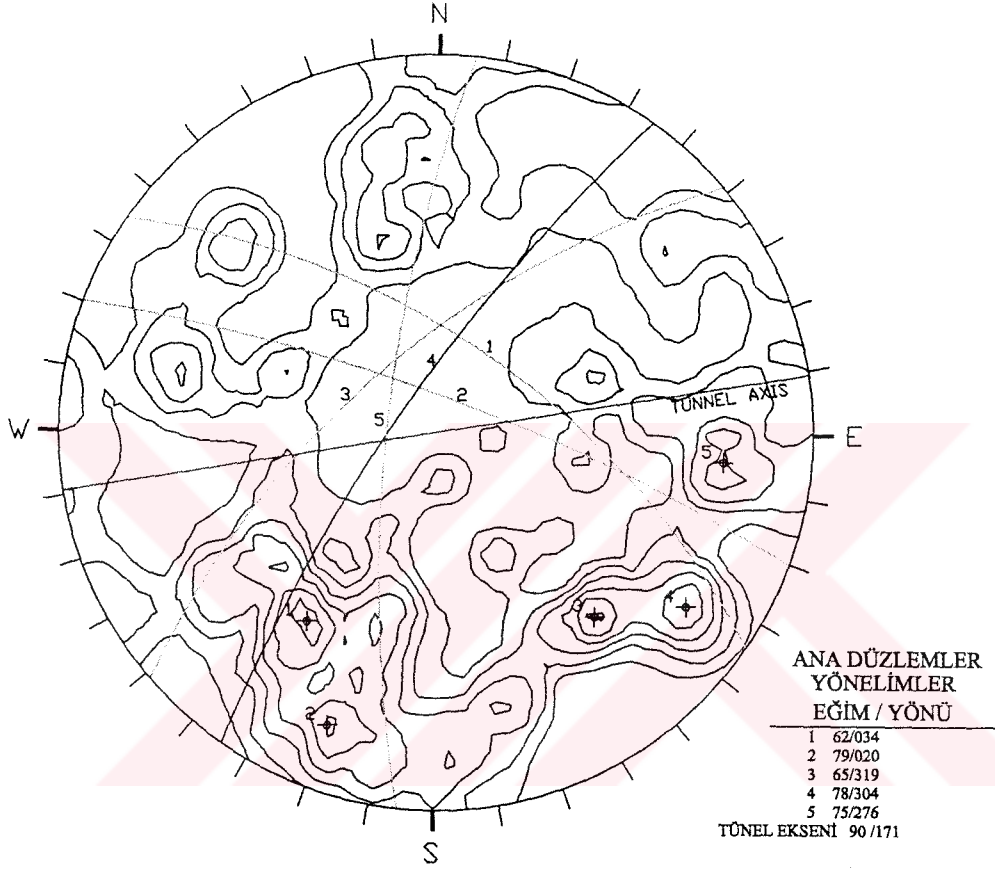
Breşik Kireçtaşı zonunda yapılan çatlak ölçümleri neticesinde, çatlakların kontur diyagramı "Dips bilgisayar programına göre" yapılmış ve eklem takımlarının konumuna göre; tünelcilik açısından "çok elverişli-orta elverişli" yorumu ortaya çıkmıştır (Şekil 3.5.).

Breşik Kireçtaşı içerisinde fay ve süreksizlik zonlarından dolayı zayıf olan bölgeler dışında aşırı sökülmeler görülmemiştir. Bu aşırı sökülmeler kazı anında meydana gelmiştir. Destek elemanlarının uygulanmasından sonra bu tür jeolojik sökülmeler meydana gelmemiştir.

3.2.1.4. Karbonatlı kumtaşı

Sarımsı-sarımsı kahverenkte, az-orta derecede bozuşmuş, sağlam-orta sağlam dayanımı, çatlak aralığı orta kapalı-çok kapalı, çatlak devamlılığı çok az-az olan

BREŞİK KALKER ZONUNDAKİ ÇATLAKLARIN KONTUR DİYAGRAMI



Breşik Mermer Zonu içerisindeki süreksizliklerin Eğim / Eğim yönleri'ne göre; 3,4 ve 5 no'lu eklem takımları tünellilik açısından " çok elverişli ", 1 ve 2 no'lu eklem takımları ise tünellilik açısından " orta "dır.(Bieniawski Z.T.,1989)

Şekil 3.5. Breşik kireçtaşı içerisindeki süreksizliklere ait kontur diyagramı.

Karbonatlı kumtaşı (Bayramışlar fm.) orta ince-kaba dokuludur.Genel olarak fay kili matriksi ve ezilmiş zonlar % 15- 25 dolayındadır.

Çatlak dolgusu; orta katı-yumuşak, az plastik-plastik olmayan ince matriks, kalsit ve limonit dolgusudur.Dolgu kalınlığı yaklaşık birkaç mm'den 5cm.'ye kadardır.

Çatlakların yüzey özellikleri; ondülasyonlu, pürüzlü, yer yer kaygandır. Süreksizlikler orta-çok dar aralıkta olup, devamlılıkları fazla değildir (1-3m.).Gözlenen maksimum blok boyutu 0.3 m³'dür.

Ezik zonlardaki fay killeri davranışı gösteren malzeme ise; az plastik-orta plastik, orta katı-yumuşak siltli killidir.

Bu birim içerisinde yukarıda bahsedilen süreksizlik özelliklerinden dolayı kazı esnasında büyük bloklar görülmemiştir.Dolayısıyla aşırı sökümler beklenen limitler içinde kalmıştır.

Yapılan drenajlar neticesinde bu birim içerisinde de su varlığı saptanmıştır. Drenajlardan gelen ilk su geliri 48.16 lt/sn.dir.Yapılan drenaj çalışmaları ve tünel ilerlemesine bağlı kalarak su gelirinde düşmeler saptanmış, tezin yazıldığı tarih itibariyle su geliri yaklaşık 4 lt /sn. olarak belirlenmiştir.

Asarsuyu girişinde gözlenen bu birim tünel içerisinde 100m. kalınlıkta kesilmiştir (Şekil 3.6.).

3.2.1.5. Fliş ortamları çökelleri

Bu birim Elmalık bölgesi için karakteristiktir.Birim kumtaşı- silttaşı-kireçtaşı-killi kireçtaşı aralanmasından oluşmaktadır (Fındıcak fm.).Özellikle tünel üzerindeki dağın üst kotlarında killi kireçtaşı-kireçtaşı düzeyleri vardır, altlarda breşik kumtaşları-kilttaşları mevcuttur.Bu iki düzey tektonizma ile ayrılmış ve ezilmiştir.İki düzey arası bindirme fayı zonundan oluşmuştur.



Şekil 3.6. Asarsuyu girişinde geçilen karbonatlı kumtaşı birimi.

Tünel içerisinde aşırı sağlam- sağlam, taze-az bozuşmuş kumtaşı-kiltaşları-silttaşları -kristalize kireçtaşları blokları (0 10-150 cm.) aşırı derecede bozulmuş, çok katı- katı, orta plastik-yüksek plastik, aşırı derecede kayma yüzeyleri ve kesme blokları bulunan fay kili matriksi içerisinde bulunmaktadır (Şekil 3.7.). Kırmızımsı-kırmızımsı kahve renkteki kayma yüzeyleri; düzlemsel-ondülasyonlu ve kaygan yüzeylidir

Bu bölgedeki düşük açılı faylar ondülasyon göstermekte olup kuzey'e ve güney'e eğimlidir (5-15⁰).Düşük açılı faylar yüksek açılı faylarla atılmıştır (45-80⁰).

3.2.1.6. Volkanik kayalar

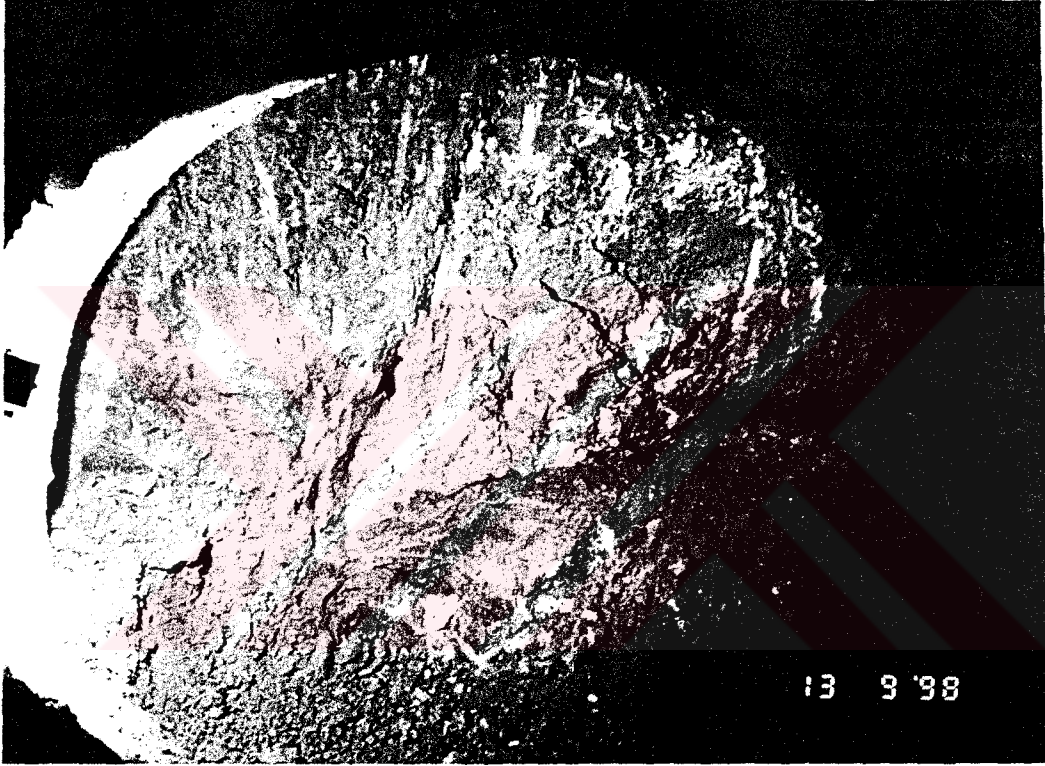
Genelde birimler içerisinde sokulum şeklinde bulunan volkanik kayalar, tünel güzergahı boyunca sık, fakat kalınlığı az olarak kesilmiştir.

Açık gri-yeşilimsi-bej renkteki volkanik sokulumlar (Andezit & Keratofir, Diyabaz, Sipilit) az bozuşmuş-yüksek derecede bozuşmuş, az çatlaklı-aşırı çatlaklı, yüksek derecede ezilmiş, az plastik-yüksek plastik özelliğinde, orta sağlam-yumuşaktır (Şekil 3.8.).Çatlak dolguları; kalsit ve kil olup kalınlıkları 3-10 cm.'dir.

Genelde fay zonları ile beraber gelişen dayklar, aşırı zayıf olup kalınlıkları fazla değildir (maksimum 8 m.). Bu tür zayıflık zonlarında stabilite problemleri ile beraber faylarla beraber geliştiğinden su problemleri de yaşanmıştır.Daykların yapısı kuvvetli ve parçalı kayalardan oluştuğundan, su akışı dayklarla ilgili olabilir.Dayklar, faylanmış Metasedimenter kaya birimlerinde su alan bölge olarak davranmış olabilir.

3.2.1.7. Fay killeri

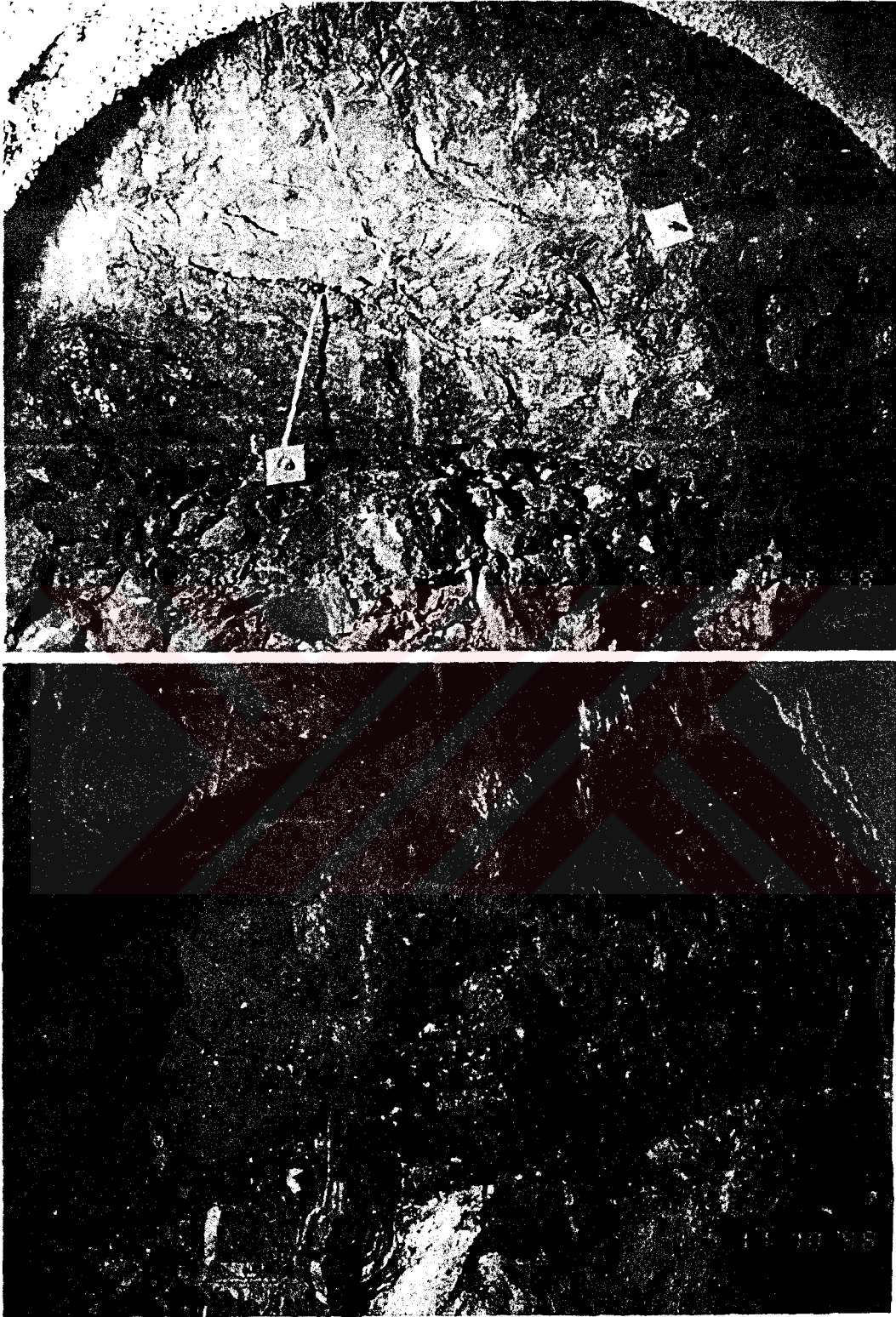
Aynı birim içerisinde gözlenmesine rağmen, genelde dokanak faylarının bulunduğu yerlerde gözlenen fay killeri, tünel içerisinde stabilite, ayna-tavan-yan duvarlarının duraysızlığına ve aşırı deformasyonlara neden olmuştur.Bununla beraber kazı hızına ve maliyete etkisi oldukça fazladır (Şekil 3.9.).



Şekil 3.7. Elmalık girişinde karşılaşılan kırmızı fay killeri.



Şekil 3.8. Asarsuyu girişinde karşılaşılan metasediment-andezit dokanağı.



Şekil 3.9. Elmalık girişinde aşırı deformasyonlara neden olan fay kili.

Koyu kahverengi-kırmızımsı kahverengi-gri-yeşil renkte, tamamen bozulmuş, aşırı derecede ezilmiş, yumuşak-katı, az plastik-aşırı plastik özellik gösteren, makaslama bloklu ve fay breşli, şişme ve sıkışma potansiyeline sahip, aşırı derecede kayma yüzeyli, siltli killi fay kili matriksinin kalınlıkları, genel olarak 20 cm. ile 25 m. arasında değişmektedir.

Elmalık tünel girişinde fliş içerisinde gelişmiş fay killeri gözlenmiştir. Çok katı, aşırı kayma yüzeyli, birbirine paralellik gösteren 1-3 m. kalınlıklara sahip, orta plastik- yüksek plastik özelliği gösteren, fay killerinde aşırı deformasyonlar meydana gelmiştir.

Dokanak fay killeri ve birim içerisinde gelişmiş fay killerindeki kesme blokları genelde sedimenter kayalara ait olup, faylanma sonucunda diğer birimden de içerisine parçalar almıştır. Bu kesme blokları; çakıl boyutundan blok boyutuna kadar değişkenlik göstermekte, yuvarlaklaşmış, aşırı sağlamdır.

Tüm fay killerindeki kayma düzlemleri; parlak, düzgün, düzlemsel-ondülasyonlu, kırmızımsı-gri renktedir.

Ayrıca fay killerinden alınan örnekler üzerinde yapılan testler sonucunda önemli miktarda simektit saptanmış ve şişme potansiyelinde % 25 gibi yüksek değerlere ulaştığı, ayrıca 4.498 kg / cm^2 'lık bir şişme basıncına sahip olduğu görülmüştür.

3.3. Tünel güzergahının hidrojeolojisi

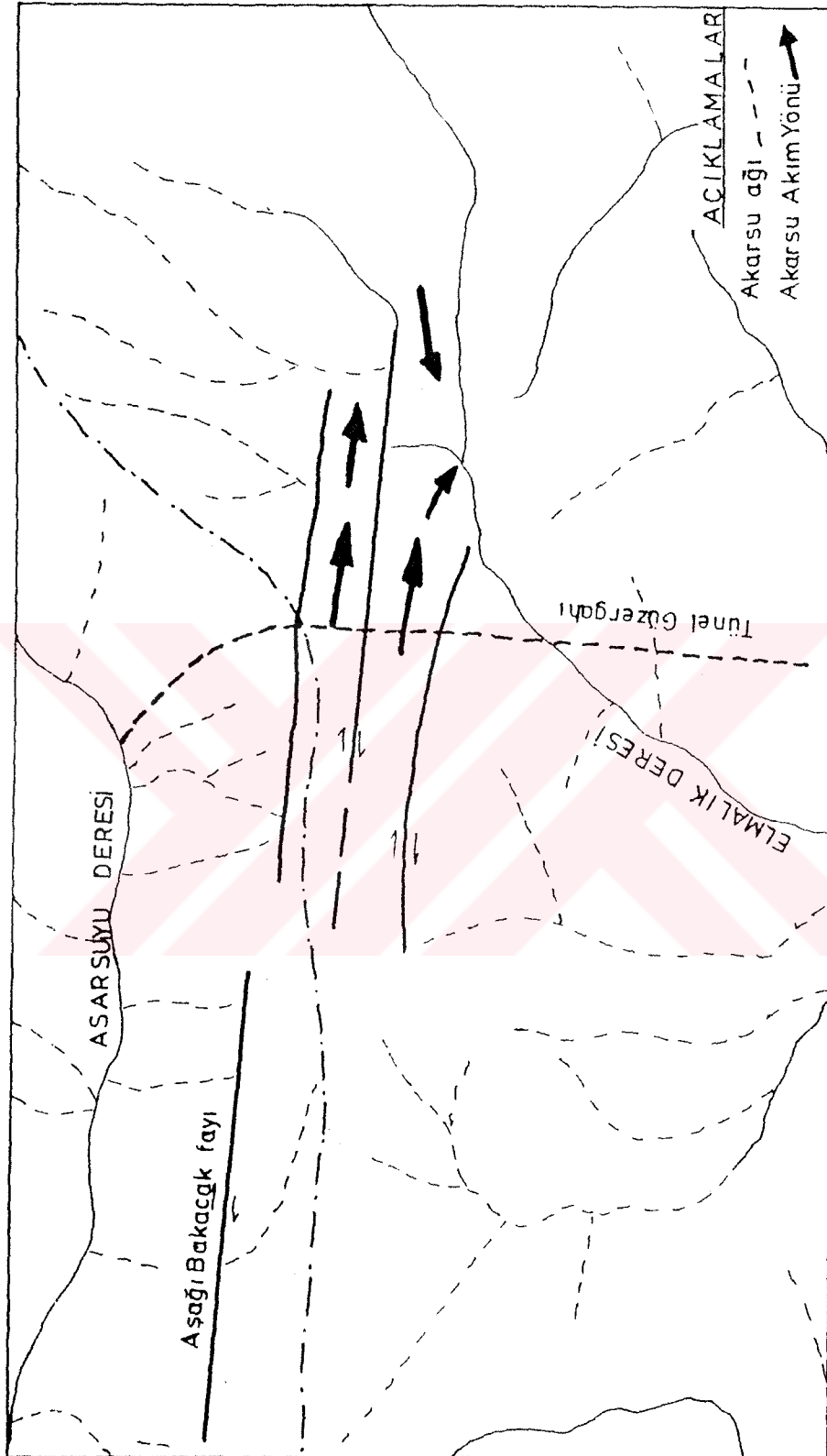
Tünel güzergahı yüzey suları beslenimi bakımından Elmalıkdere ve yan kollarının yağış alanı içerisinde bulunmaktadır. Asarsuyu deresinin ve yan kollarının tünel güzergahı üzerinde etkisi yoktur. Elmalık deresi Mahmutefendi mevki ile Kocası deresinin birleşmesiyle oluşur. Elmalık dere bu birleşim noktasından sonra tünel güzergahını yaklaşık 40°'lik açıyla takip eder.

Bolu tünelineki yeraltısuyu can güvenliğine, ilerleme hızına, şişmeye ve çökmelere neden olabileceği düşüncesiyle tünel güzergahı boyunca yüzeyden hidrojeolojik harita hazırlanmıştır (Şekil 3.10.).

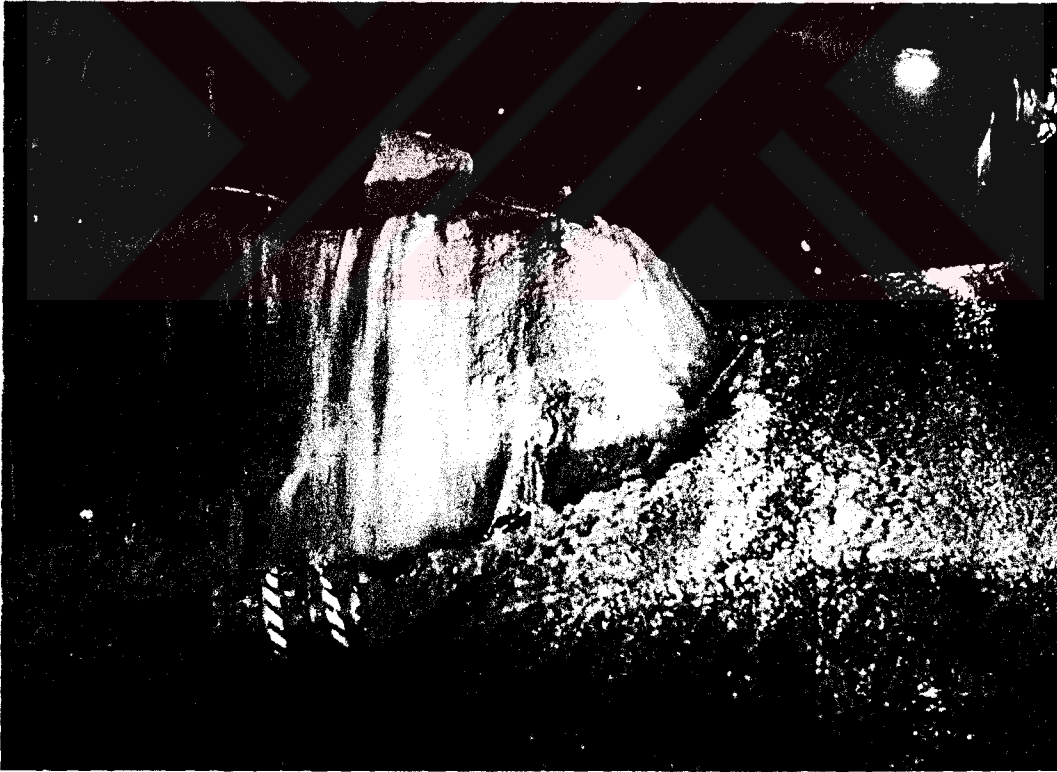
Tünel kazısı sırasında belli yerlerde su akışları görülmüştür. Genel itibariyle sedimenter kayalar içerisinde rastlanılan sular akifer özellikte olup yüzeyden beslenmesi yoktur. Bu durum tünelleme açısından iyi bir durumdur.

Tünel kazısı sırasında Metakristalin temel içerisinde aktif sulara rastlanılmamıştır. Bu birim için geçirimsiz diyebiliriz. Buradaki az miktardaki su dolaşımı kırık, eklem ve küçük ölçekteki faylar tarafından yönlendirilmiş olup, damlama-sızıntı-az akan cinsdendir.

Metasedimentler genel olarak az geçirimlidir. Bu birim tamamen fay zonu içerisinde bulunduğu için fay zonlarında kataklastik ve milonitik etkilerle ezilmiş daha da geçirimsiz nitelik kazanmıştır. Bunun yanında fay zonlarına bağlı olarak gelişen ayrışma zonları ve birim içerisindeki bloklu kesme gövdeleri istifin yatay ve düşey yönde çok sık değişmesi yeraltısuyunun dolaşımını karmaşık duruma getirmiştir. Bu nedenden dolayı yer yer geçirimsizliği düşük zonlar oluşmuştur. Dolayısıyla bu litolojiler içerisinde kazı yapılmış basınçlı ve az basınçlı akifer koşulları ile karşılaşmıştır.



Şekil 3.10. Bolu Tüneli ve dolayının hidrojeolojik haritası.



Şekil 3.11. Asarsuyu girişinde karşılaşılan su.

Faylanmış metasedimentler içerisinde karşılaşılan yüksek debili ve az basınçlı-basınçlı sular, malzemeyi erozyona uğratmıştır. Kaya birimi bazen volkanik kayaların daykları tarafından kesilmiştir. Kuzey- kuzeydoğu yönünde, 52^0 - 70^0 eğim gösteren ve fay yüzeyine karışan dayklar, su geliri başlamadan önce çelik kuşakların bükülmesine yol açan yüksek deformasyonların olduğu bölgelerde görülmüştür. Dayklar, faylanmış metasedimentler içerisinde su alan bölge olarak davranır yorumu yapılabilir.

Su berrak rente olup küçük ve iri malzemeler tavanda oluşan delikten sürüklenmiştir. Su miktarları kısa zaman aralıklarında azalıp çoğalmıştır. Bunun nedeni su kanalının tıkanıp tekrar açılmasındandır. Bu tıkanmalar birim içerisindeki büyük ve küçük boyuttaki bloklarla ilgilidir.

Portatif iletken metre ile (WTW LF 320) akan suyun iletkenliği ve sıcaklığı ölçülmüştür. İletkenlik $255 \mu\text{S}/\text{cm}$ ve sıcaklık 11.2^0C olarak bulunmuştur. Ölçülen debilerle 8 günde 20.000 m^3 suyun drene edildiği saptanmıştır.

Su gelimi tünelin 1306. metresinde olmuştur. Tavandan açılan delikten yaklaşık $500 \text{ lt}/\text{sn.}$ 'lik su ile 250 - 300 m^3 'lük malzeme boşalımı olmuştur. Bu su geliri bir hafta içerisinde $12 \text{ lt}/\text{sn.}$ 'ye düşmüştür. Bu da gösteriyorki yukarıdan herhangi bir beslenme yok (Şekil 3.11.).

Bahsi geçen metrelerden sudan alınan örneklerden, DSİ Teknik Araştırma ve Kalite Kontrol Dairesi Başkanlığı İzotop laboratuvarında trityum (Tablo 3.1.) ve kimyasal analizler (Tablo 3.2-5.) yapılmış ve tünel içerisindeki etkisi yorumlanmıştır.

Bu analiz sonuçlarına göre; tünel içinden alınan örneklerde Na,K değerlerinin yüksek olması, tuzluluk olayının fazla olduğunu, bunda korozyona sebep olacağı açıktır. Na ve K'un yüksekliği deniz suyu görüntüsü verir ve deniz suyu da bilindiği gibi beton üzerine olumsuz etki yapar (depritation oluşur).

EC'nin yüksekliği yine her türlü tuzluluğun yüksek olduğunu gösterir. Bu da yine beton ve donatı üzerine olumsuz etkiyi doğrular.

Tablo 3.1. Asarsuyu Portalı Km:62+476.00'dan alınan su örneklerine ait trityum analizleri sonuçları.

Numune No	Numunenin Adı	Alınma Tarihi	$\delta_{\text{‰}}^{18}\text{O}$	$\delta_{\text{‰}}\text{D}$	T (TU)
1	Asarsuyu Sol Tüp R-807 Km:62+476.00	16.12.1997	-11.22	-87.05	3.35 ± 0.90
2	Asarsuyu Sol Tüp R-807 Km:62+476.00 Saat:08:40	17.12.1997	-11.72	-86.8	3.45 ± 1.05
3	Asarsuyu Sol Tüp R-807 Km:62+476.00 Saat:10:30	19.12.1997	-11.33	-80.14	3.20 ± 1.05
4	Asarsuyu Sol Tüp R-807 Km:62+476.00 Saat:18:00	19.12.1997	-11.53	-88.41	2.70 ± 1.00
5	Asarsuyu Sol Tüp R-807 Km:62+476.00 Saat:11:30	20.12.1997	-11.44	-89.26	3.00 ± 1.00
6	Asarsuyu Sol Tüp R-807 Km:62+476.00 Saat:17:05	20.12.1997	-11.66	-86.91	3.85 ± 1.05
7	Asarsuyu Sol Tüp R-807 Km:62+476.00 Saat:12:30	21.12.1997	-11.49	-89.58	3.20 ± 1.05
8	Asarsuyu Sol Tüp R-807 Km:62+476.00 Saat:18:30	21.12.1997	-11.08	-88.62	3.65 ± 1.05
9	Asarsuyu Sol Tüp R-807 Km:62+476.00 Saat:10:30	22.12.1997	-11.16	-82.91	3.75 ± 1.05
10	Asarsuyu Sol Tüp Saat:10:30	05.01.1998	-10.12	-75.87	3.20 ± 1.00
11	B1 Sondajı (997.50m.)	05.01.1998	-11.37	-91.41	5.00 ± 1.00
12	M-33 Sondajı Yakını (994.99m.)	05.01.1998	-11.09	-90.83	12.20 ± 1.10
13	Asarsuyu Sol Tüp R-807 Km:62+479.70	18.02.1998	-11.39	-81.54	3.65 ± 0.90

Tablo 3.2. Asarsuyu Portali Km:62+476.00'dan alınan su örneklerine ait kimyasal analiz sonuçları.

Sıcaklık °C	-	Çözünmüş Oksijen, mg/l	-
Ph	10,8	Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı, mg/l	-
Serbest CO ₂ , mg/l	0	Kimyasal Oksijen İhtiyacı, mg/l	-
Elektriksel iletkenlik µmho/cm	496	Permanganant Değeri, mg oksijen/l	0,80
Toplam çözünmüş katılar, mg/l	317	Organik Azot, mg/l	-
Askıdaki Katılar, mg/l	210	Orto Fosfat, mg/l	0,01
Bulanıklık, NTU	140	Toplam Fosfor, mg/l	-
Renk, Pt-Co Skalası	5	Sodyum, mg/l	62,50
Karbonat (CaCO ₃), mg/l	66	Potasyum, mg/l	9,80
Bikarbonat, mg/l	0	Kalsiyum, mg/l	4,00
Toplam Alkalinite (CaCO ₃), mg/l	155	Magnezyum, Mg/l	4,90
Klorür, mg/l	3,6	Toplam Sertlik (CaCO ₃), mg/l	30,00
Amonyak Azotu, mg/l	0,067	OH, mg/l	15,30
Nitrit Azotu, mg/l	0,02	Çözünmüş Silis (SiO ₂), MG/L	-
Nitrat Azotu, mg/l	0	Toplam Demir, mg/l	-
Sülfat, mg/l	18,9	Toplam Mangan, mg/l	-
		Florür, mg/l	-

Tablo 3.3. Bolu Tüneli güzergahındaki B-1 sondajıdan (997.50m.) alınan su örneklerine ait kimyasal analiz sonuçları.

Sıcaklık °C	-	Çözünmüş Oksijen, mg/l	-
Ph	8,1	Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı, mg/l	-
Serbest CO ₂ , mg/l	2,8	Kimyasal Oksijen İhtiyacı, mg/l	-
Elektriksel iletkenlik µmho/cm	305	Permanganant Değeri, mg oksijen/l	0,70
Toplam çözünmüş katılar, mg/l	195	Organik Azot, mg/l	-
Askıdaki Katılar, mg/l	3,6	Orto Fosfat, mg/l	0,01
Bulanıklık, NTU	1,5	Toplam Fosfor, mg/l	-
Renk, Pt-Co Skalası	10	Sodyum, mg/l	5,30
Karbonat (CaCO ₃), mg/l	0	Potasyum, mg/l	0,80
Bikarbonat, mg/l	204,4	Kalsiyum, mg/l	46,00
Toplam Alkalinite (CaCO ₃), mg/l	167,5	Magnezyum, Mg/l	11,60
Klorür, mg/l	2,8	Toplam Sertlik (CaCO ₃), mg/l	162,50
Amonyak Azotu, mg/l	0,017	OH, mg/l	-
Nitrit Azotu, mg/l	0	Çözünmüş Silis (SiO ₂), MG/L	-
Nitrat Azotu, mg/l	0	Toplam Demir, mg/l	-
Sülfat, mg/l	6,7	Toplam Mangan, mg/l	-
		Florür, mg/l	-

Tablo 3.4. Bolu Tüneli güzergahındaki M-33 sondajı yanındaki nehir suyundan (994.99m.) alınan su örneklerine ait kimyasal analiz sonuçları.

Sıcaklık °C	-	Çözünmüş Oksijen, mg/l	8,00
Ph	8	Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı, mg/l	3,10
Serbest CO ₂ , mg/l	-	Kimyasal Oksijen İhtiyacı, mg/l	-
Elektriksel iletkenlik µmho/cm	84	Permanganant Değeri, mg oksijen/l	2,40
Toplam çözünmüş katılar, mg/l	54	Organik Azot, mg/l	-
Askıdaki Katılar, mg/l	62,7	Orto Fosfat, mg/l	0,07
Bulanıklık, NTU	45	Toplam Fosfor, mg/l	-
Renk, Pt-Co Skalası	70	Sodyum, mg/l	0,70
Karbonat (CaCO ₃), mg/l	0	Potasyum, mg/l	0,40
Bikarbonat, mg/l	36,6	Kalsiyum, mg/l	10,00
Toplam Alkalinite (CaCO ₃), mg/l	30	Magnezyum, Mg/l	3,20
Klorür, mg/l	2,1	Toplam Sertlik (CaCO ₃), mg/l	38,00
Amonyak Azotu, mg/l	0,05	OH, mg/l	-
Nitrit Azotu, mg/l	0	Çözünmüş Silis (SiO ₂), MG/L	-
Nitrat Azotu, mg/l	0	Toplam Demir, mg/l	-
Sülfat, mg/l	9,6	Toplam Mangan, mg/l	-
		Florür, mg/l	-

Tablo 3.5. Bolu Tüneli Sol Tüp Km:62+479.70'den alınan su örneklerine ait kimyasal analiz sonuçları

Sıcaklık °C	-	Çözünmüş Oksijen, mg/l	-
Ph	7,9	Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı, mg/l	-
Serbest CO ₂ , mg/l	6	Kimyasal Oksijen İhtiyacı, mg/l	-
Elektriksel iletkenlik µmho/cm	395	Permanganant Değeri, mg oksijen/l	0,90
Toplam çözünmüş katılar, mg/l	253	Organik Azot, mg/l	-
Askıdaki Katılar, mg/l	0,8	Orto Fosfat, mg/l	0,03
Bulanıklık, NTU	0,5	Toplam Fosfor, mg/l	-
Renk, Pt-Co Skalası	5	Sodyum, mg/l	18,50
Karbonat (CaCO ₃), mg/l	0	Potasyum, mg/l	2,30
Bikarbonat, mg/l	195,2	Kalsiyum, mg/l	33,00
Toplam Alkalinite (CaCO ₃), mg/l	160	Magnezyum, Mg/l	17,00
Klorür, mg/l	7,8	Toplam Sertlik (CaCO ₃), mg/l	152,50
Amonyak Azotu, mg/l	0	OH, mg/l	-
Nitrit Azotu, mg/l	0	Çözünmüş Silis (SiO ₂), MG/L	-
Nitrat Azotu, mg/l	0	Toplam Demir, mg/l	-
Sülfat, mg/l	24,9	Toplam Mangan, mg/l	-
		Florür, mg/l	-

Alkalinitenin yüksek olması çimentonun agrega üzerine aderansını olumsuz etkiler ve dolayısıyla betonun ömrünü azaltır.

Sülfatın da çok düşük olmaması yine arzu edilmeyen korozyon bir durumdur (beton korozyonu). Bu analizlerdeki değerler hep standartların altında zayıf kuvvete yakındır.

Ayrıca magnezyum değerinin fazla olması da kalıcı sertliğin çok yüksek olduğunu gösterir. Toplam sertlik 30 civarındadır ki bu da hiç de yumuşak olmayan bir sudur.

Karbonat değeri de beklenilenin altında ama dikkate değer büyüklüktedir.

Yüzey suları (sondajlardan alınan su) ile bir korelasyonu vardır denemez. Yüzey sularında özellikle Na, K düşüktür, diğer parametrelerde keza öyle düşüktür. Kısmen tünel içine göre kabul edilebilir niteliktedir.

Bu sonuçlara göre tünel içerisinde çimento ve beton dizaynında değişiklik yapılmış, mukavemet 20 N/mm²'den 25 N/mm²'ye çıkarılmıştır. Çelik aksamda değişiklik yapılmamıştır.

Buna ilaveten tünelin 1288.m.'de Metasedimentler içerisinde 3/12/1997 tarihinde toplam su geliri 4.5 lt /sn. iken 15/12/1997 tarihinde su gelirinde artış gözlenmiştir (64 lt/sn.).

Birkaç bulondan ve drenaj deliğinden damlayan sudan alınan örnekler iletkenlik metresiyle incelenmiş ve 283 µS/cm.'lik iletkenlik olduğu saptanmıştır. Sıcaklık değişimi olduğundan sıcaklık ölçülememiştir.

Sol tüneldeki bu durumdan dolayı sağ tünelde durmuş, karotlu sondaj ve drenaj çalışması başlamıştır. Araştırma sondajı başladıktan 45 dakika sonra iletkenlik metresiyle su örneğinin iletkenliği 281 µS/cm olarak ölçülmüştür.

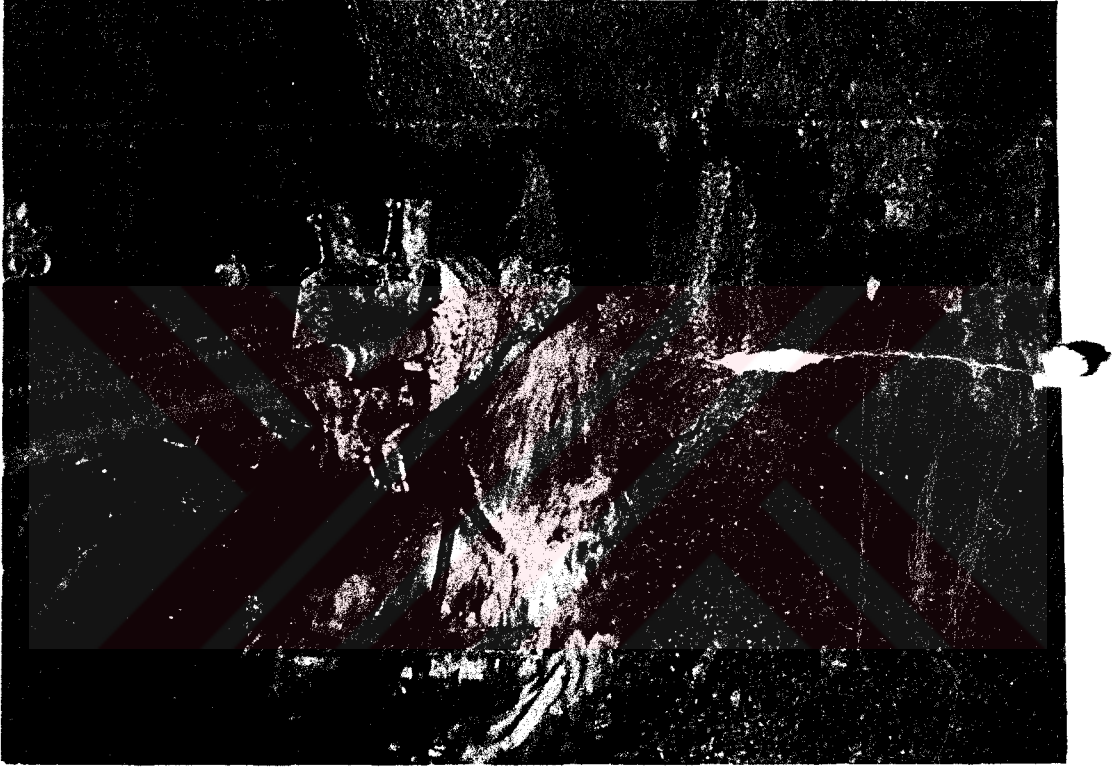
Benzer özellikte su geliri Breşik Kireçtaşı içerisinde olmuştur.Özellikle Breşik Kireçtaşı-lerde kırık ve çatlaklarda ikincil boşluklar içerisindeki sular kazı ile ortaya çıkmış, ilerleme hızını ve maliyeti etkilemiştir.Tünel kazısı sırasında bu birim içerisinde karstik boşluklara rastlanılmamıştır.

Breşik Kireçtaşı içerisinde (Sol tünelin 970.97, sağ tünelin 886.34m.'de) su varlığı saptanmış ve bu nedenden dolayı tüneller durdurulmuş, drenaj çalışmalarına başlanılmıştır.

Breşik Kireçtaşı zonu içerisindeki suyun drenajı amacıyla sağ tünelde 8 adet drenaj deliği açılmıştır.Drenaj çalışması başlamadan önce su basıncı 9.1 bar ölçülmüştür (ART-532 sondajından, 27/02/1997).Su basıncı, geçen zamana ve drenaj çalışmasına bağlı olarak 26/6/1997 tarihinde 0 bar olarak ölçülmüştür. Drenajlardan alınan maksimum su miktarı 65 lt/sn. olarak ölçülmüş (Şekil 3.12.), tünel ilerlemesi ve drenaj çalışmaları neticesinde beklenmedik su basıncı düşüşleri gözlemlendi ve breşik Kireçtaşiden gelen su miktarlarında düzensizlikler saptandı.Su düzenli akışa 25/9/1997 tarihinde 12.5 lt/sn. olarak geçti.Tezin yazıldığı zamanda alınan ölçümler neticesinde 11.37 lt /sn. ile su düzenli akışını devam ettirmekteydi.

Breşik Kireçtaşı zonu içerisindeki suyun drenajı amacıyla sol tünelde 23 adet drenaj deliği açılmıştır. Drenaj çalışması başlamadan önce su basıncı 18 bar, suyun sıcaklığı 13 °C olarak ölçülmüştür (ALT-2 sondajından, 05/09/1996).Su basıncı, geçen zamana ve drenaj çalışmasına bağlı olarak 13/5/1997 tarihinde 0 bar olarak ölçülmüştür. Drenajlardan alınan maksimum su miktarı 55 lt/sn. olarak ölçülmüş, tünel ilerlemesi ve drenaj çalışmaları neticesinde beklenmedik su basıncı düşüşleri gözlemlendi ve breşik Kireçtaşiden gelen su miktarlarında düzensizlikler saptandı.Su düzenli akışa 24/7/1997 tarihinde 9.5 lt/sn. olarak geçti.Tezin yazıldığı zamanda alınan ölçümler neticesinde 4.5 lt /sn. ile su düzenli akışını devam ettirmekteydi.

Tünel ilerleyen metrelerinde karşılaşılan Karbonatlı kumtaşı içerisinde de su bulunduğu saptanmıştır.Tünel güzergahında bulunan fay zonlarının diğer bir etkisinde, bu zonlarda bulunan yüksek su basınçlarıdır.Buna örnek olabilecek durum Asarsuyu sol tünelde Metasedimenter birim ile dokanak yapmış Karbonatlı kumtaşı arasında



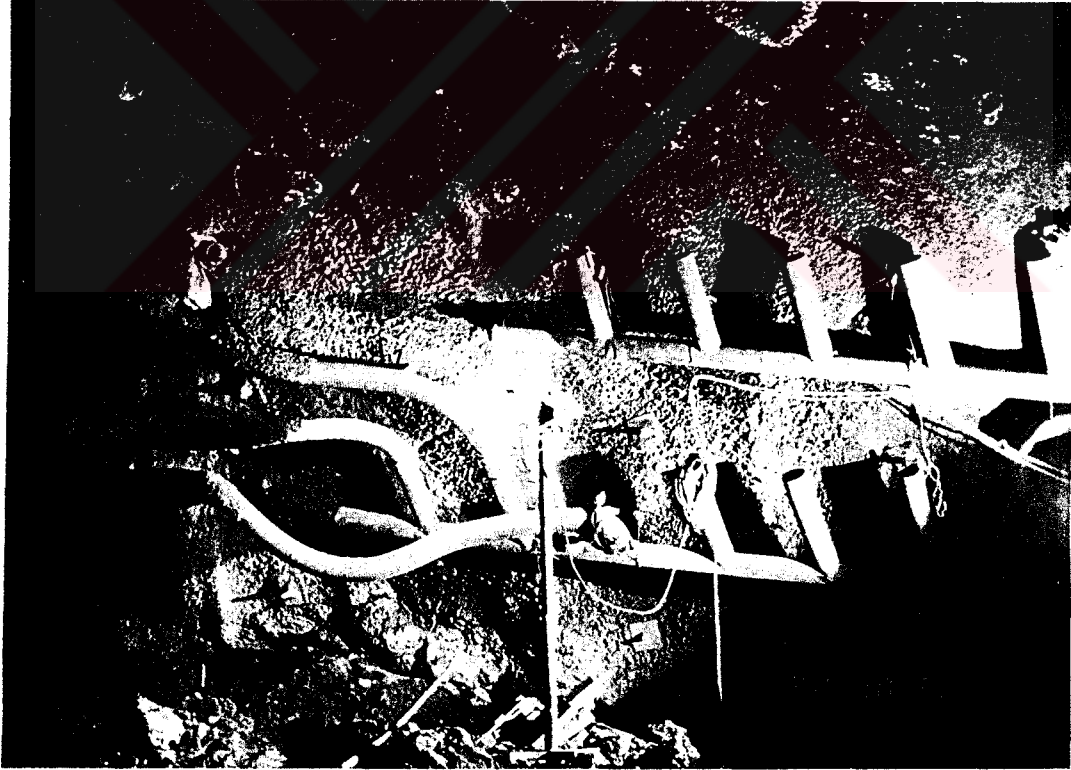
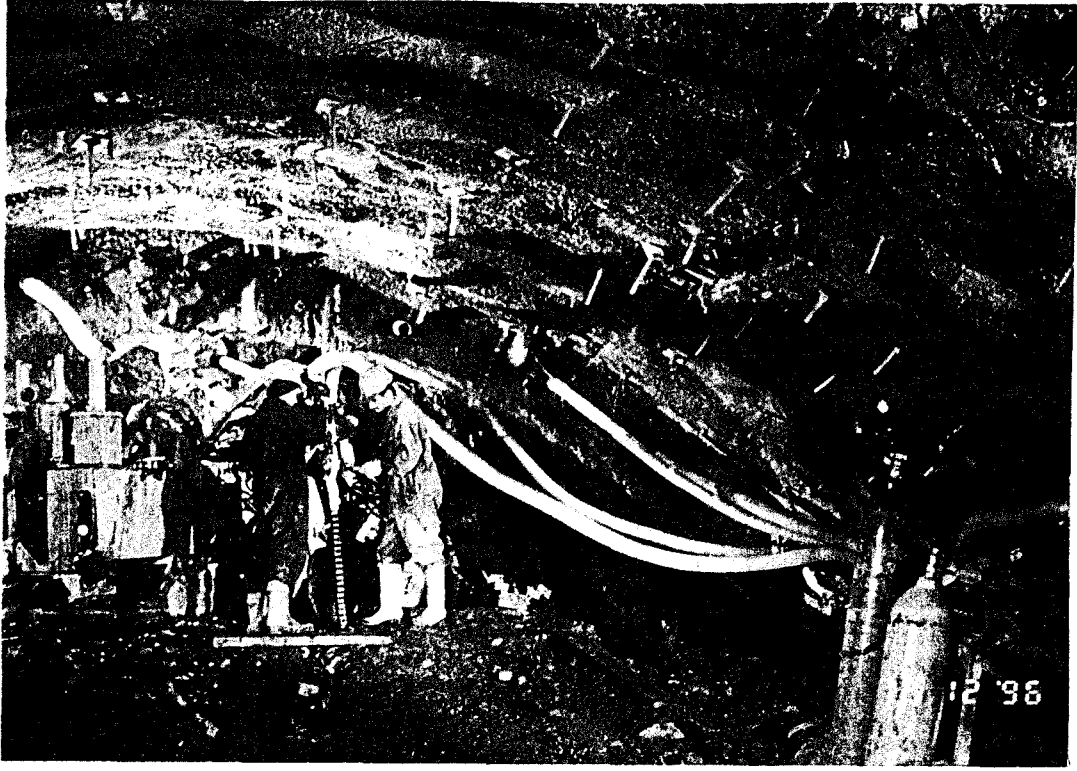
Şekil 3.12. Asarsuyu girişi üstüyarı tabanında yapılan drenaj delgisi.

olmuştur. Dokanak fayının arkasında 130 lt/sn.'lik su akışı olmuştur. Tünelin 1451.m.'sine tekabül eden bu su akışının arkasından 1493.m.'de volkanik sokulumun arkasındaki su patlamış ve 240 lt/sn.'lik debi ölçümü yapılmıştır. Bu volkanik sokulumun aşırı derecede zayıf ve bozuşmuş olmasından dolayı yaklaşık 6 m.'lik kısım göçmüş (ayna kısmı) arkasından su patlamıştır. Bu durumda bu andezitik sokulum taşıyıcı görevi görmüş ve geçirimsiz zon oluşturmuştur. Suyun zemini doygun hale getirmesinden sonra zayıf kısım (volkanik) göçmüştür. Pilot tünel içerisinde gerçekleşen bu durumda aynanın tahkimatı sağlandıktan sonra, suyun basınçlı olmasından dolayı kendini drene etme yoluna gidilmiş, uygun zaman sonunda drenaj çalışmaları başlamıştır.

Tünel içerisindeki drenaj çalışmalarında SM-305 ve Puntel-1000 sondaj makinaları kullanılmıştır. Sondaj çalışmaları sırasında tünel jeoloji müh. tüm verileri not alır. Bu veriler suyun kaçınıcı metreden geldiği, suyun basıncı, suyun debisi, rengi, kokusu, hangi birim içerisinde geldiği, ilerleme hızı, kuyudaki göçük durumu v.b. veriler ileride karşılaşılabilecek zemin için referans olacaktır. Bunun haricinde sudan alınan numuneler, sıcaklık ölçümleri gibi değerler suyun nasıl ve nereden geldiği hakkında fikirler vermesi amacıyla önemlidir.

Drenaj delikleri tasarımında projeci firmanın hazırladığı projeler uygulanır. Genel itibarıyla uygulanan sistem şemsiye sistemidir. Tünel ekseninden sağa ve sola şemsiye şeklinde açılan drenaj delikleri, yukarıda bahsedilen sondaj makinaları tarafından açılır. Bu delikler tünel eksenine göre belli açılarla delinir. Delik uzunlukları suyun bulunduğu bölgeden 5-15 m. uzağına göre belirlenir. Delikler ODEX methoduna göre, 152 mm./110 mm. çaplı veya 140mm.'lik OD/12mm/D muhafaza boruları ile yapılmaktadır. Suyun bulunduğu kısımlardaki muhafaza boruları gözeneklidir.

Drenaj deliklerinden alınan sular PVC borularla hazırlanmış özel düzenek içerisine konur (Şekil 3.13.) ve tünel boyunca yerleştirilen çelik borularla dışarı atılır. Suyun dışarıya atıldığı kısımda oluşturulmuş ölçekli su okuma yöntemi ile tünelin girişinde oluşturulmuş düzenekle günlük /saatlik ölçümler alınır (Şekil 3.14.). Bu ölçümler abak sayesinde (Tablo 3.6.) litre'ye çevrilir ve grafikleri hazırlanır (Şekil 3.15.).



Şekil 3.13. Asarsuyu girişinde suyun drenajı için oluşturulan düzenek.



Şekil 3.14. Tünel ağzında oluşturulan debi ölçer.

Tablo 3.6. Asarsuyu girişinde su ölçme abağı.

h (cm)	Q (lt/sn)	h (cm)	Q (lt/sn)
1	0,01	26,00	48,95
2	0,08	27,00	53,79
3	0,22	28,00	58,91
4	0,45	29,00	64,31
5	0,79	30,00	70,00
6	1,25	31,00	75,98
7	1,85	32,00	82,26
8	2,57	33,00	88,83
9	3,45	34,00	95,72
10	4,49	35,00	102,91
11	5,70	36,00	110,42
12	7,08	37,00	118,25
13	8,65	38,00	126,40
14	10,41	39,00	134,88
15	12,37	40,00	143,69
16	14,54	41,00	152,84
17	16,92	42,00	162,33
18	19,52	43,00	172,17
19	22,34	44,00	182,36
20	25,40	45,00	192,89
21	28,70	46,00	203,79
22	32,24	47,00	215,05
23	36,03	48,00	226,67
24	40,07	49,00	238,66
25	44,38	50,00	251,02

$$Q(\text{lt/sn}) = (h^2 \times 1.42 \times h^{1/2}) : 100$$



Şekil 3.15. Asarsuyu girişinde karşılaşılan su geliri.

Ayrıca herhangi su patlamasına karşın tavanda rutin olarak açılan süren delikleri ϕ 3” çapında ve kaya sınıfına göre değışkenlik gösteren uzunluktadır (12-30 adet).

Bolu tüneline şimdiye kadar karşılaşılan su problemlerinde can kaybı olmamıştır. Sadece kazı ilerlemesine ve maliyete etkisi olmuştur.

3.4. Tünel açımında karşılaşılan jeolojik sorunlar

Bu bölümde tünel açımı sırasında karşılaşılan jeolojik problemler ortaya çıkartılmaya çalışılmıştır.Özellikle bu problemler içerisinde fay zonlarındaki fay killerinin ve birim içerisinde gelişen fay killerinin litoloji üzerinde yaptığı etkiler üzerinde durulmuş ve bunların tünel stabilitesine etkileri anlatılmıştır.

3.4.1. Litolojik sorunlar

Metakristalin Temel Metagranit, Metagranodiyorit, Metadiyorit ve Amfibolit gibi kayalar, tünel aynalarında birlikte görülmüşlerdir.Farklı minerolojik bileşimdeki bu kayaların sağlamlıkları, dayanımları, eklem takımlarının durumu ve çatlak dolguları da farklı olmuştur.Dolayısıyla kazı sırasında ve kazıdan sonra farklı kaya davranışları ve buna bağlı olarak aşırı sökülmeler ve bazı yerlerde eksik ya da fazla kazılara neden olmuştur.

Metasedimenter birim içerisindeki siltli kil matriksinin fay kili olmuş olması kazıda güçlüklerle neden olmuştur.Özellikle bu matriks suyun etkisiyle çamurumsu ve yumuşak hal alarak kazıyı güçleştirmekte, ilerleme hızını azaltmakta, ayna duraysızlıklarına ve maliyetin artmasına sebep olmaktadır.Suyun etkisinin olmadığı ve kendi içerisinde faylanmanın olmadığı yerlerde sadece matrikse bağlı olan herhangi bir problem olmamıştır.

Breşik Kireçtaşı ve Karbonatlı kumtaşı içerisinde patlatma yöntemi ile ilerlendiği için litolojik olarak kazıya etkiyecek önemli problemler yaşanmamıştır.Bu birimler

içerisindeki kırıklı yapı ve küçük ölçekteki fayların suyu yönlendirmesi nedeniyle suyun aynadan veya tavandan gelerek kazı hızına etkisi olmuştur. Böyle durumlarda kazı ilerlemesi durdurularak, drenaj çalışmalarına başlanır. Ayrıca bu birimler içerisinde önemli sayılabilecek aşırı sökümler olmamıştır.

Fliş ortamı çökelleri, dokanak fay killeri ve birim içerisinde gelişmiş fay killeri Bolu tüneline en çok sıkıntı yaratan birimlerdir. Bu killi birimler içerisindeki yüksek miktarda simektit türü kil minerallerinin şişme, kabarma gibi olaylara sebebiyet vermesi nedeniyle, tünelin uzun süreli durmasına, aşırı deformasyonlara (100-150 cm.'ye varan oturmalar) kazı hızına, maliyete çok önemli etkileri olmuştur. Şişen ve kabaran bu zunlardaki kayaların bileşimlerinde önemli miktarda kil minerallerinden başka kuvars, kalsit ve demiroksitler de yer almaktadır. Bu kayalardaki şişme olayı da kil minerallerinin miktarı ile ilişkilidir. Ayrıca kil minerali, simektit veya simektit türevi olduğundan şişme miktarı çok daha fazla olabilmektedir. (Palmstrom., vd.1988). Asarsuyu ve Elmalık tünellerinde bu fay killerinin bulunduğu yerlerde meydana gelen aşırı deformasyonlardan dolayı, 3-4 kez tarama yapmaya neden olmuştur (Şekil 3.16.). Bu taramalar (destek elemanlarının yeniden onarımı, değiştirilmesi); maliyete (ilave kaya bulonları çakılması, püskürtme beton kalınlığının artırılması ve çelik kuşakların onarımı veya tümünün değiştirilmesi, işçilik) ve kazı hızına etkisi oldukça fazla olmuştur. Çünkü bu alanların tamirati yapılmadan ilerleme yapılması mümkün değildir.

Bu tür fay killerinin oluşumunda, fay ve bindirme zonlarının genişliği; kaya cinsi ve tektonik değişime bağlı olarak farklılıklar sunmaktadır. Ve buradaki kil mineralleriyle birlikte fay breşleri veya her ikisinin birlikte yer aldığı zayıflık zonları, tünelcilik açısından olumsuz ortamlardır. Bu zayıflık zonlarının getirdiği en önemli sorun ayna-tavan ve yan duvarların tünel açımı esnasında duraysızlıklarıyla beraber, tünel açıldıktan sonra boyuna oluşan deformasyonlardır. Bu deformasyonlar tünelin açılan ve çelik kuşağı tamamlanan kesminde olur ve tünel aynasının ilerlemesiyle artarak devam eder. Dolayısıyla, bu kesimdeki deformasyonları kontrol altına almadan ilerlemeye devam edilemez. Bu alanları kontrol altına almak için ayna kazısının deformasyon sönümlenene kadar durdurulması, çelik kuşağın yenilenmesi veya tamiri gerekir.



Şekil 3.16. Deformasyonlu bölgelerde yapılan tarama işleri.

3.4.2. Katman, eklem ve kıvrımların tünel stabilitesine etkisi

Katmanlanma Bolu Tüneli'nin Asarsuyu Girişin'de Metasedimenter birim içerisinde 10 m.'lik kısımda lokal olarak görülmüş, fakat tünel stabilitesine etkisi olmamıştır. Katmanlanma yönünün tünel ilerleme yönüne göre 45-50⁰'lik açıyla KD yönünde olması tünel içerisinde sorun yaratmamıştır.

Breşik Kireçtaşı zonunda yapılan çatlak ölçümleri neticesinde, çatlakların kontur diyagramı "Dips bilgisayar programına göre" yapılmış ve eklem takımlarının konumuna göre; tünelcilik açısından "ok elverişli-orta elverişli" yorumu ortaya çıkmıştır (Bieniawski Z.T., 1989 sınıflamasına göre). Bu durum Karbonatlı kumtaşı içinde geçerlidir. Bu iki birim içerinde gözlenen süreksizliklerin devamlılığı-nın "az-orta" olması ve birimler içerisindeki blok boyutun "cm-3m. olması (tektonizmanın etkisiyle) nedeniyle oluşan aşırı sklmelerde bu boyutlara bağlı olarak oluşmuştur. Bu durum ise tünelcilik açısından olumsuz değildir.

Bolu tünellerinde küçük çapta gelişmiş ve tünele hiç bir etkisi olmayan kıvrımlar gözlenmiştir.

3.4.3. Basınç serbestlemesi ve kaya patlamaları

Bolu tüneli güzergahı boyunca kazılan kısımlarda kayaların; bölgenin etkin tektonizmasından dolayı genelde düşük dirençli olması, ayrışmış, orta sağlam oluşları ve en önemlisi bu tür kayaların tünelin diğer kısımlarındaki birimlerin kalınlıklarına göre az olması nedeniyle kaya patlamaları ve basınç serbestlemesi görülmemiştir. Ayrıca tünel üzerindeki örtü yükünün maksimum 300 m. dolayında olması nedeniyle bu tür durumlardan ziyade şişme ve sıkışma olayları gözlenmiştir.

3.4.4. Fay zonlarında aynadaki duraylılık problemleri

Tünel aynasının duraysızlığı, inşaat işlemine ve tünel iksası üzerine olumsuz etki etmektedir. Fay zonundaki tünel aynasının duraysızlığı, malzemelerin kesme dayanımı, gerilme birim deformasyon özellikleri, fay düzleminin her iki tarafındaki kaya basıncı, tünel kesitinin geometresi ve inşaatadaki uygulama gibi faktörlerin fonksiyonu olarak değişmektedir (DEERE ,vd. 1969; ÇOLAKOĞLU, 1986).

Faylanma ile birlikte gelişmiş fay killeri, fay blokları, fay breşleri ve milonitik zonlar ayna stabilitesinde etkili olmuştur. Faylı bölgelerde tünel açımında fayın aktif veya pasif olması, fayların eğim ve doğrultusu, tünele paralel- yarı paralel, dik oluşu veya üstünde yer alması, faylı bölgelerin genişliği, dolgu malzemesinin cinsi ve su basıncı ayna stabilitesine etkiyen yapısal unsurlardır.

Fay düzleminin eğim yönünün (tünele göre), fay killeri, fay breşlerinin ve yeraltı suyunun tünel aynasındaki olumsuzlukları, zamana bağlı olarak daha açık görmekteyiz. Oluşacak deformasyonlara sebebiyet vermemek için bu tür fay zonlarında destek sistemini güçlendirmeden ilerlemek, maliyet ve iş gücü kaybıyla beraber daha tehlikeli sonuçlar doğurabilir.

Asarsuyu tünellerinde meydana gelen ayna duraysızlıkların en başında su ile oluşan duraysızlıklar, ikinci olarak etkin faylara bağlı olarak gelişen ayna duraysızlıkları ve üçüncü olarakta dayklara bağlı olarak gelişmiş ayna duraysızlıklarıdır. Su ile gelişen ayna duraysızlıkları ile genelde Metasedimentler içinde karşılaşıldı. Bu birim içerisinde oluşan ayna duraysızlıklarında Metasedimentler içerisindeki siltli kil matriksinin yıkanması sonucu ayna oldukça gevşek bir hal almıştır. Bu durumda suyun drenajı yapılmadan aynaya herhangi bir müdahale yapılamaz. Drenajlar sayesinde yeraltı su seviyesinin düşürülmesi hedeflenir ve buna bağlı olarak su geliri makul seviyede iken gerekli tedbirler alınır. Aynanın stabilitesini sağlamak için çelik hasır ve püskürtme beton destek elemanları kullanılır.

Fay killerine bağı olarak gelişen deformasyonlar da ayna duraysızlıklarına neden olmuştur.Özellikle Elmalık Girişinde gözlenen plastik ve katı özellikteki fay killeri aşırı deformasyonlara neden olmuştur (Şekil 3.17.).Ve zamana bağı olarak artan deformasyonlar tünel tavan ve duvarlarında stabilitenin bozulmasına neden olmuştur.

Elmalık ve Asarsuyu Girişlerinde faylarla beraber gelişen kayma yüzeyleri aynada duraysızlıklara neden olmuştur.Burada bahsedilen kayma yüzeyleri tünel açma yönünün tersi eğimdedir.Metesedimentler, Metakristalin Temel ve Fliş birimi içerisinde çok sık gözlenen “kayma düzlemleri”nin devamlılığı ve eğim açısının dik oluşu aynada duraysızlıklara neden olmuştur.Aynanın dik şekilde kazılması kayma düzleminin hareketini kolaylaştıracağından aynada göbek bırakılır. Eğer bu durumda da duraysızlık meydana gelirse her round’da püskürtme beton ve çelik hasır uygulanarak bu kısmın stabilitesi sağlanır.Ayrıca bu kısımlarda aynaya çakılacak bulonların enjeksiyonun iyi yapılması sayesinde ileriki roundlarda oluşabilecek ayna duraysızlıkların stabilitesi yarı yarıya sağlanmış olur.

Fay bloklarının duraylılığı, etkin normal gerilmeye, kayma hızına ve kayma yüzeyinin özelliklerine bağıdır (JAKSON ve DUNN 1974, HOEK vd.1980). Fay yüzeyinin sürtünme katsayısı eğer yer değiştirmeye artmışsa, sürtünme kayması duraylı olmaktadır.Eğer yer değiştirme ile sürtünme katsayısı azalıyorsa fayın duraysız veya koşullu duraylı olduğu belirlenmiştir (DIETRICH, 1978).

Bolu Tünellerinin Kuzey Anadolu Fay Zonuna yakın kısımlarda açılıyor olması, tünel içerisinde karşılaşılan etkin düşük ve yüksek açılı faylara bağı gelişmiş fay killeri, fay breşleri ve kayma düzlemlerinin yoğunluğu beraberinde ayna duraysızlıklarını getirmiştir.Böyle bir durumda yapılacak olan destek sistemi elemanlarının iyi bir şekilde uygulanması ayna duraysızlıkları için tek çözüm olmuştur.Ayna yüzeyinin püskürtme beton ile kaplanılarak bulonlanması Bolu tünellerinde zorunlu hale gelmiştir.Ayna yüzey püskürtme beton kalınlığı 10 cm. (fiberli) olup bu duraysızlığın boyutuna göre değişmektedir.Ayrıca duraysızlığın boyutuna ve zeminin baskısına göre bir kat hasır çelik kullanılmaktadır.Eğer zemin cinsi taneli ve gözenekli ise IBI bulonlar ve enjeksiyon valfleri kullanılarak çimento enjeksiyonu ile zemin daha stabil hale getirilmektedir.



Şekil 3.17. Elmalık girişinde karşılaşılan katı ve çok plastik fay kili.

Duraysızlıkların tavanda olacağı düşünülerek sistematik hale getirilen süren boru uygulaması aşırı sökülme ve tavan duraysızlıklarında kullanılan bir yöntem olmuştur. 3''lik süren borular şemsiye sistemi ile yerleştirildikten sonra çimento enjeksiyonu yapılarak zeminin stabilitesi sağlanmaya çalışılır.

Etkili fay zonlarında fay killerinin mekanik parametreleri ve minerolojik bileşimi saptanarak destek sınıfının belirlenmesi için önemli olan elastisite modülü, kohezyon, sürtünme açısı ve poison oranı bulunur. Ayrıca fayların aktif veya pasif olması, fayın tünele göre konumu ve fayın etki alanı ve dolgu cinsine göre destek sisteminin belirlenmesi sağlanır. Bu yolla ileride karşılaşılabilecek fay zonlarındaki ayna duraysızlıklar için önceden önlem alınması sağlanır.

Fayların tünel aynasına göre konumu oldukça önemlidir. Tünel aynasında karşılaşılan bir fay, tünel alanı dışında gelişen bir faydan daha az etkili olabilir. Bu fayın yönelim ve tünele göre konumu çok önemlidir. Fayın tünel eksenine göre yarı paralel veya paralel olması aynada duraysızlıklara ve deformasyonlara neden olmuştur.

Asarsuyu Girişinde sık karşılaşılan ayna duraysızlıkların diğer bir nedeni de Andezitik dayklardır. Bu dayklar genelde dokanak değişiminde görülmekte ve zayıf olan aynanın daha da zayıflamasına neden olmuştur. Bununla beraber daykların genelde su taşıyor olmaları ayna duraysızlıklarına neden olan diğer bir etkidir.

Jeoloji'nin, deneyimli bir jeoloji mühendisi tarafından takip edilerek, yapılan yatay sondajlarla bu verilerin birleştirilmesi sonucunda ileride karşılaşılabilecek duraysızlıkların önceden tespiti mümkün olmuştur.

3.4.5. Fay zonlarında karşılaşılan su problemleri

Tünel güzergahı boyunca karşılaşılan fay zonlarının ve daykların bir diğer etkisi, bu zonlarda bulunan basınçlı sulardır.

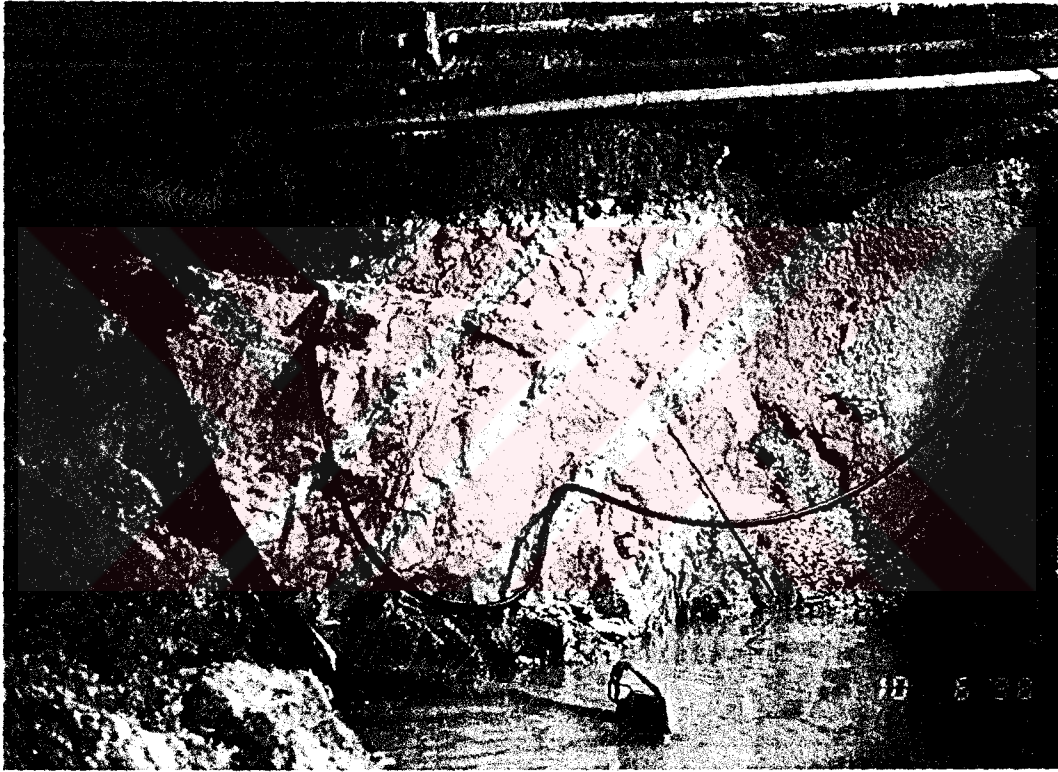
Bu basınçlı sular Asarsuyu girişinde tavan ve ayna duraysızlıklarına, aşırı sökülmele, kazı güçlüklerine neden olmuştur (Şekil 3.18.).

Asarsuyu Girişinde yeraltı suyunun sorun olduğu birimler genelde Metasedimentler içerisinde oluşmuştur. Metakristalin Temel'e ait kayalar içerisinde basınçlı sulara rastlanılmamıştır.

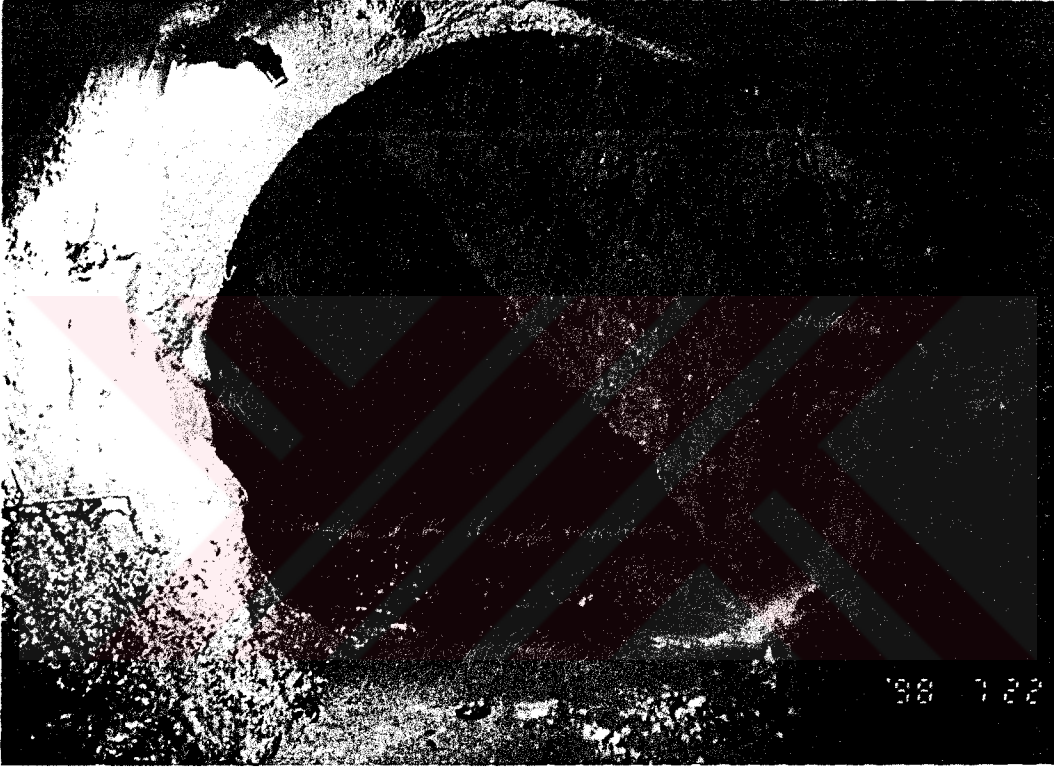
Metasedimentler genel olarak az geçirimlidir. Bu birim tamamen fay zonu içerisinde bulunduğundan fay zonlarında kataklastik ve milonitik etkilerle ezilmiş daha da geçirimsiz nitelik kazanmıştır. Bunun yanında fay zonlarına bağlı olarak gelişen ayrışma zonları ve birim içerisindeki bloklu kesme gövdeleri istifin yatay ve düşey yönde çok sık değişmesi yeraltı suyunun dolaşımını karmaşık duruma getirmiştir. Bu nedenden dolayı yer yer geçirimliliği düşük zonlar oluşmuştur. Dolayısıyla bu litolojiler içerisinde kazı yapılmış basınçlı ve az basınçlı akifer koşulları ile karşılaşmıştır. Faylanmış metasedimentler içerisinde karşılaşılan yüksek debili ve az basınçlı-basınçlı sular, malzemeyi erozyona uğratmıştır.

Asarsuyu Girişinde sol tünelde Metasedimentler içerisinde su gelimi tünelin 1306. m.'de olmuştur. Tavandan açılan delikten yaklaşık 500 lt/sn.'lik su ile 250-300 m³'lük malzeme gelimi olmuştur. Bu su geliri bir hafta içerisinde 12 lt/sn.'ye düşmüştür. Bu da gösteriyorki yukarıdan herhangi bir beslenme yok. Fakat buna rağmen bu basınçlı suyun tünelin tavanından gelmiş olması oldukça sorun yaratmıştır. Suyun basınçlı olması nedeniyle matriks yıkanmış ve malzeme erozyona uğramış ve buna bağlı olarak tünel tavanında oldukça büyük su yolu meydana gelmiştir. Bu durum tünelde maliyet ve zaman kaybına neden olmuştur. Yapılan drenajlar neticesinde suyun dreanajı sağlanmış, tavanda bulonlama ve süren uygulamasıyla göçen kısımda konsolide enjeksiyon yapılması sağlanmıştır. Bu işlemler arkasından suyun tünel açmayı engelleyici durumu ortadan kalktığında ayna kazısına girilmiş ve bu bölge sorunsuz olarak geçilmiştir.

Buna örnek olabilecek durum Asarsuyu sol tünelde Metasedimenter birim ile dokanak yapmış Karbonatlı kumtaşı arasında olmuştur (Şekil 3.19.). Dokanak fayının arkasında 130 lt/sn.'lik su geliri olmuştur. Tünelin 1451. m.'ne tekabül eden bu su



Şekil 3.18. Taban kazısı sırasında karşılaşılan su.



Şekil 3.19. Asarsuyu girişinde metasediment-karbonatlı kumtaşı dokanağı.

akışının arkasından 1493. m.'de volkanik sokulumun arkasındaki su patlamış ve 240 lt/sn.'lik debi ölçümü yapılmıştır.Bu volkanik sokulumun aşırı derecede zayıf ve bozuşmuş olmasından dolayı yaklaşık 6 m'lik kısım göçmüş (ayna kısmı) arkasından su patlamıştır.Bu durumda bu andezitik sokulum taşıyıcı görevi görmüş ve geçirimsiz zon oluşturmuştur.Suyun zemini doygun hale getirmesinden sonra zayıf kısım (volkanik) göçmüştür. Pilot tünel içerisinde gerçekleşen bu durumda aynanın tahkimatı sağlandıktan sonra, suyun basınçlı olmasından dolayı kendini drene etme yoluna gidilmiş, uygun zaman sonunda drenaj çalışmaları başlamıştır.Bu durumun pilot tünelde gerçekleşmesi tam kesitin ilerlemesi sırasında avantaj sağlamıştır.

Asarsuyu Girişinde karşılaşılan basınçlı suların %80'i fay dokanaklarında ve daykların gelişiminde olmuştur.Bu durumun saptanmasından sonra tünel jeolojisinin önemi daha da artmış ve fayların diğer tünelle olan ilişkisi saptanarak bu sorunun diğer tünelde olması oluşması durumu drenaj yapılarak minimum dereceye indirgenmiştir.

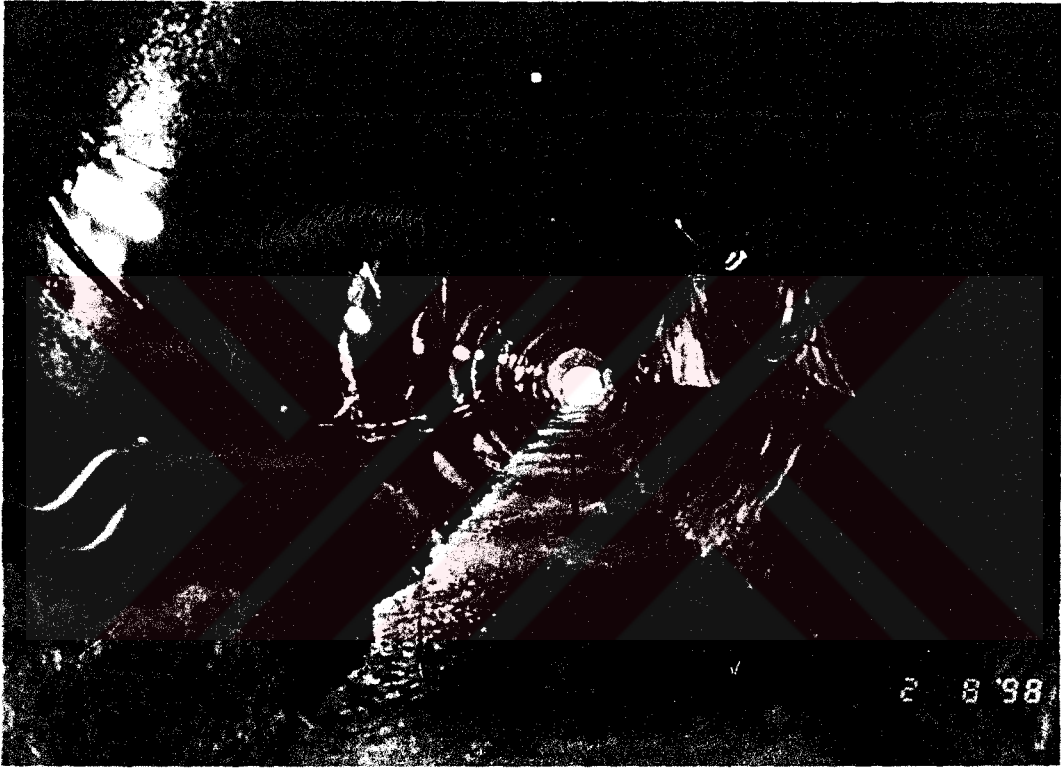
En önemlisi dokanak saptandıktan sonra tünel ilerlemesi durdurularak, drenaj ve karotlu sondaj yapılarak olası su problemi için önceden tedbir alınmıştır.

Breşik Kireçtaşı ve Karbonatlı kumtaşıda karşılaşılan sularda aynada ve tavanda duraysızlıklara rastlanılmamıştır.Bu birimlerde drenaj yapılarak, tünel ilerlemesine devam edilmiştir.Tünel eğim yönünün suyun akış yönünde olması ise Asarsuyu girişinde suyun drenaj işlemini kolaylaştırmıştır (Şekil 3.20.).

Elmalık Girişinde tezin yazıldığı zamana kadar su problemi ile karşılaşılmamıştır.

3.4.6.Tünel açımı esnasında sıkışan ve şişen kayalar

Fay zonlarındaki veya diğer kaya kütleleri içerisindeki zayıf ve plastik malzemenin, kayaların ağırlığı ile tünel içine doğru hareket etmesine sıkışma olayı denmektedir. Şişme olayı ise malzemenin bünyesine su alarak hacim olarak artması nedeniyle tünel içerisine doğru ilerlemesi olayıdır (WAHLSTROM 1968, EINSTEIN vd.1975).



Şekil 3.20. Karbonatlı kumtaşı içerisinde gelen su.

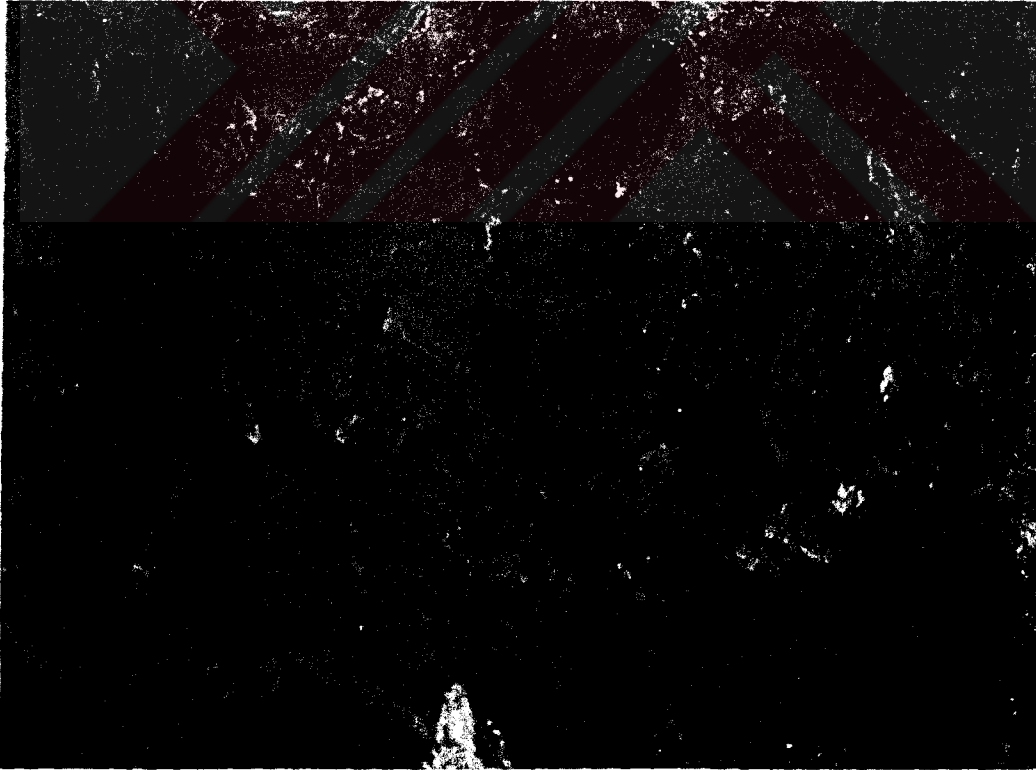
Genellikle tünel açılır açılmaz gözle görülür bir hareket sıkıma olayı olarak tanımlanır. Bunun yanı sıra ŗıŗme olayında yer deęiŗtirme olmadan önce suyun zeminin içine girmesi gerekmektedir. Bu nedenle ŗıŗme olayı, yavaş ve tünel içerisine doğru, yer deęiŗtirme olayı tünel açıldıktan bir süre sonra olmaktadır.

Bolu tünellerinde ŗıŗen ve sıkıŗan kayaları fay ve bindirme zonlarındaki killeri, Metasedimentler ve Metakristalin Temel'e ait ayrıŗmıŗ kayalar, kırmızı killeri ve geiŗ zonları olarak dört guruba ayırabiliriz.

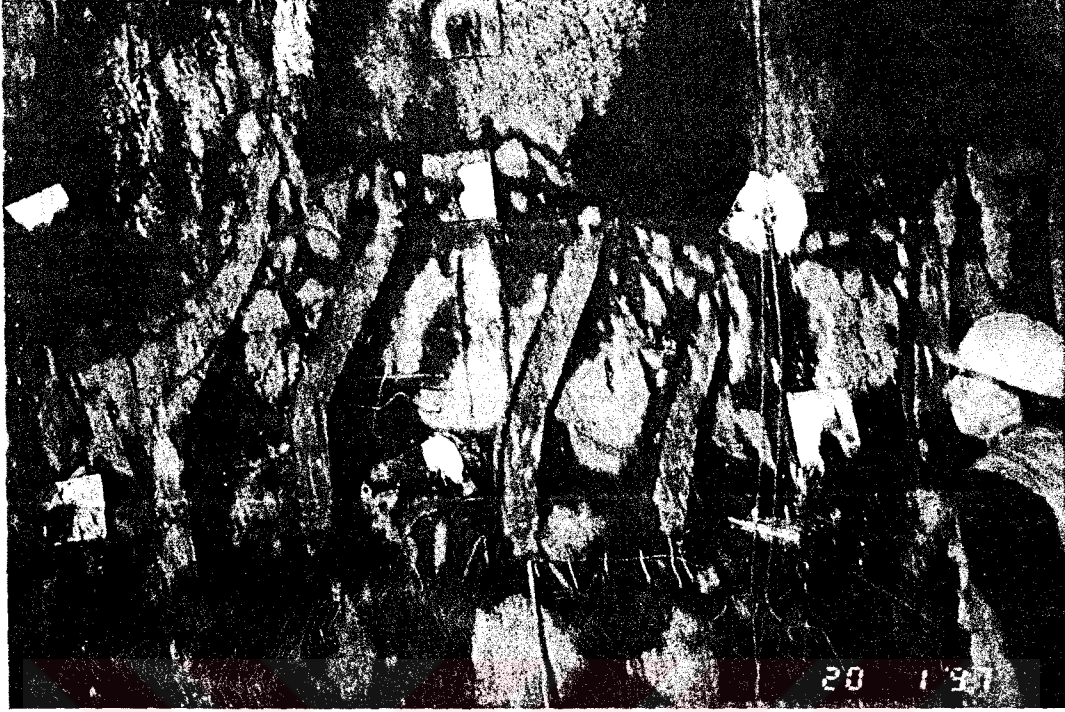
Tünel güzergahı boyunca fay ve bindirme zonlarının geniŗlięi, kaya cinsi ve tektonik deęiŗime bağlı olarak farklılıklar sunmaktadır. Bu tür büyük ve küçük ölçekteki zayıflık zonlarında (zellikle Elmalık Giriŗinde) ŗıŗen ve sıkıŗan kil mineralleri saptanmıŗtır (Ŗekil 3.21.). Tüneller içerisinde sondajlardan ve ayna kazılarından alınan blok numunelerden eŗitli üniversitelerde yaptırılan ŗıŗme basıncı ve X-RD test sonuçlarına göre; maksimum ŗıŗme basıncı 5.04 kg/cm², ŗıŗme potansiyeli %24.2 olarak belirlenmiŗtir. Bu testlerde %100'e yakın simetit mineraline rastlanmıŗtır. Bu numuneler fay killeri, kırmızı killeri ve Metakristalin Temel'e ait tamamen bozuŗmuŗ kayalardan alınmıŗtır.

Elmalık Giriŗinde çok sık rastlanan ve oldukça problem yaratan flıŗ içerisindeki kırmızı killeri ve dŗk açılı faylanma sonucunda geliŗmiŗ fay killeri oldukça yüksek deformasyon özelliği gstermiŗtir (Ŗekil 3.22.). Monolitik taban betonunda ve tünel kesitinin büyük kısmında görülen yüksek deformasyonlar tünelin hızına ve maliyetine önemli etkileri olmuŗtur. Elmalık tünelde genelde ŗıŗme ve sıkıŗma olayları birlikte gzlenmiŗtir.

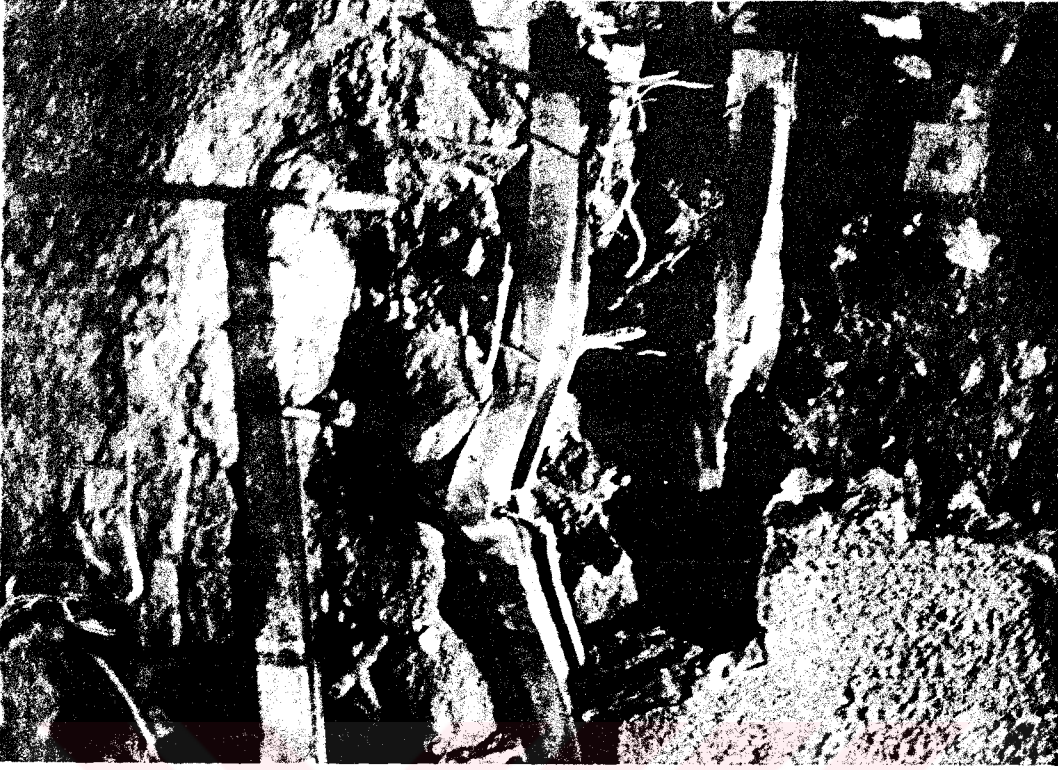
Asarsuyu Giriŗinde genelde Metasedimentler içerisinde sıkıŗma olayı gzlenmiŗ ve bazı yerlerde yüksek deformasyonlara neden olmuŗtur. Asarsuyu sol tünelinde 848.m. ile 878.m. arasında, sağ tünelin 748.m. ile 835.m.'leri arasında Metasedimentler içerisinde gözlenen fay killeri sıkıŗma ve ŗıŗmesi neticesinde bu bölgede yüksek deformasyonlar gzlenmiŗtir (Ŗekil 3.23.). Deformasyonların 1.2 m.'ye kadar ulaŗtıęı bu Metasedimentler içerisinde gözlenen damlama ve sızıntı ŗeklindeki sular ŗıŗme olayına sebebiyet vermiŗtir. elik kuŗaklarda burkulmalar (Ŗekil 3.24.), püskürtme



Şekil 3.21. Elmalık girişindeki şişen ve sıkışan kırmızı fay killeri.



Şekil 3.22. Elmalık-Asarsuyu girişinde oluşan deformasyonlar ve onarımı.



Şekil 3.23. Asarsuyu girişinde deformasyonlar sonucu çelik kuşaklarda meydana gelen kırılma-bükülmeler.



Şekil 3.24. Elmalık girişinde deformasyonlar sonucu çelik kuşak ve püskürtme betonda meydana gelen kırılma-çatlama-burulmalar.

betonda kırılmalar-çatlamlar-dökülmeler ve bulon başlarında kopmalar gözlenmiştir (Şekil 3.25.). Taban betonunda 55-65 cm.'ye kadar ulaşan kabarmalar gözlemlendi. Bu nedenden bu kısımlarda donatılı monolitik taban betonu dökülmüştür (Şekil 3.26.). Ayrıca ayak kiriş betonunda yan duvarlardan ve taban betonundan ayrılacak kadar büyük çatlaklar oluştu.

Deformasyon olmadan önce taban kotu -3 m.'den itibaren yukarı doğru 50 cm.kalınlığında 30 N/mm² 'lik beton ve 2.5 m.kalınlığındaki 15 N /mm²'lik betondan oluşmaktaydı. Bu taban betonlarının kabarması neticesinde bu beton tamamen kaldırılarak yerine -5.15 m. kotuna indirilmiş ve 30 N/mm²'lik monolitik beton dökülmüştür.

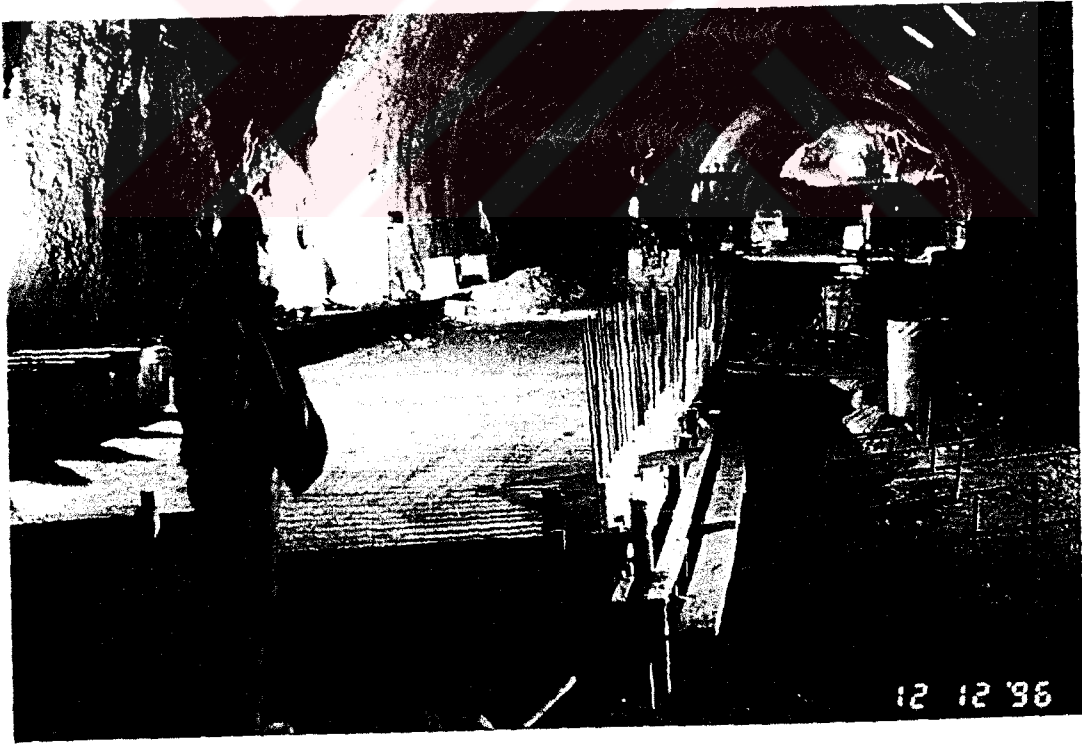
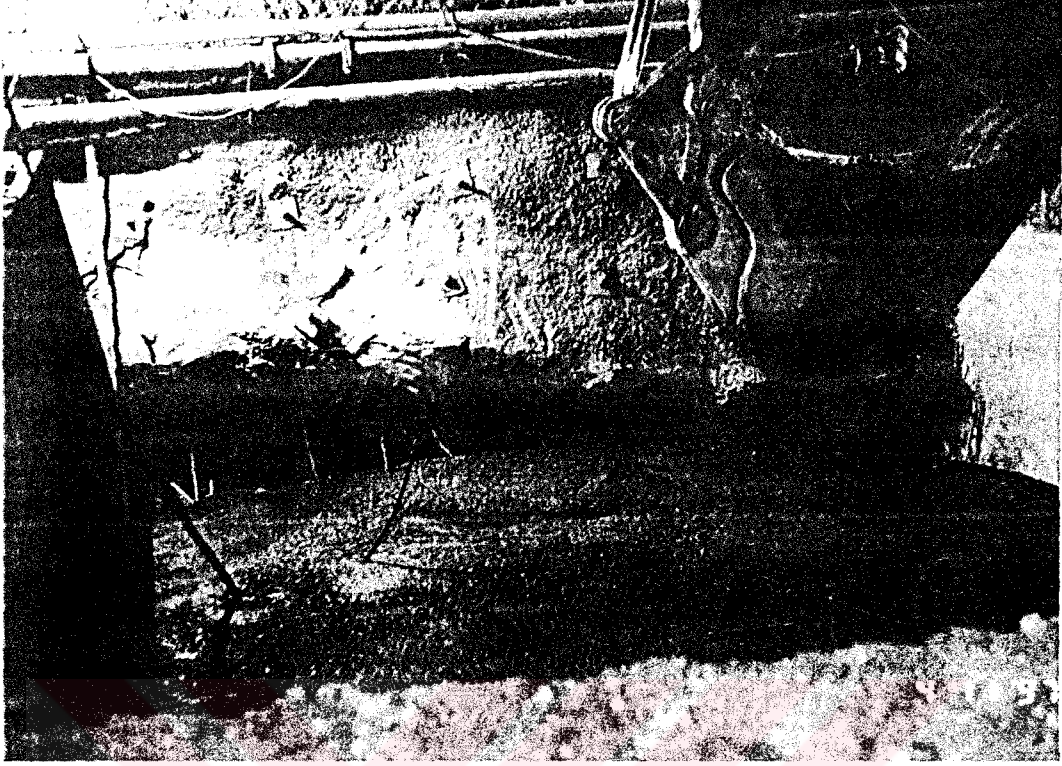
Bu fay zonunda destek sınıfı deformasyonun sönümlemesinden sonra değiştirilmiş, taramalar yapılmış (hasar gören çelik iksaların yerine yenileri monte edilmiş), çelik kuşaklarda değişiklik yapılmış (2INP 160 yerine 2INP 200 kullanılmıştır.), ilave bulonlar çakılmış (Şekil 3.27.), püskürtme beton kalınlığı artırılmış, bulonların tipleri değiştirilmiş, 3" süren boru (Ø76 mm.) uygulamasına geçilmiştir.

Bu fay zonu içerisinden alınan fay kili örneklerinde yapılan test sonuçlarında şişme basıncının 10-23Kpa arasında, Cp=25-40 Kpa $\sigma_p=34^0-39^0$ arasında ve zemin sınıflamasının CL-ML-CH-MH / OH olduğu saptanmıştır.

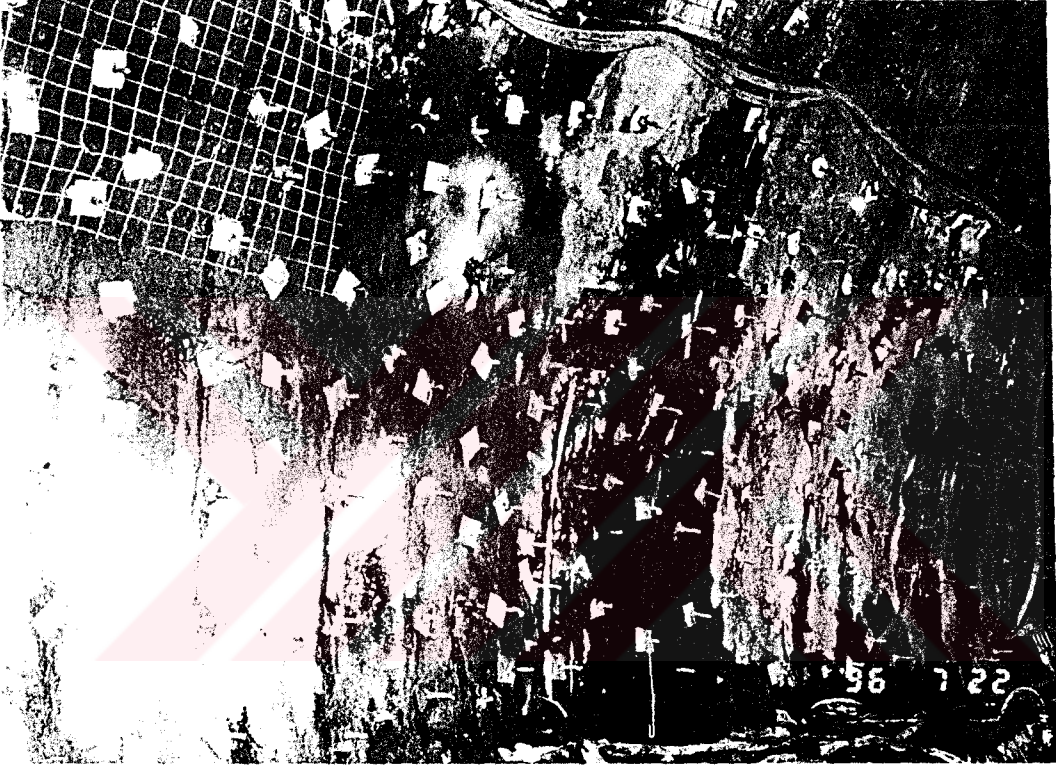
Asarsuyu Girişinde Metasedimentler içerisinde oluşan deformasyonlar sıkışmaya bağlı oluşmuşlardır. Bölgedeki hareketli yeraltı suları zeminin ayrışmasına ve parçalanmasına neden olmuştur. Bu kısımlarda farklı dönemlerde sokulan daykların getirdiği hidrotermal sularında bu konuda etkili olduğu izlenmiştir.

3.4.7. Fay killerinin şişme mekanizması

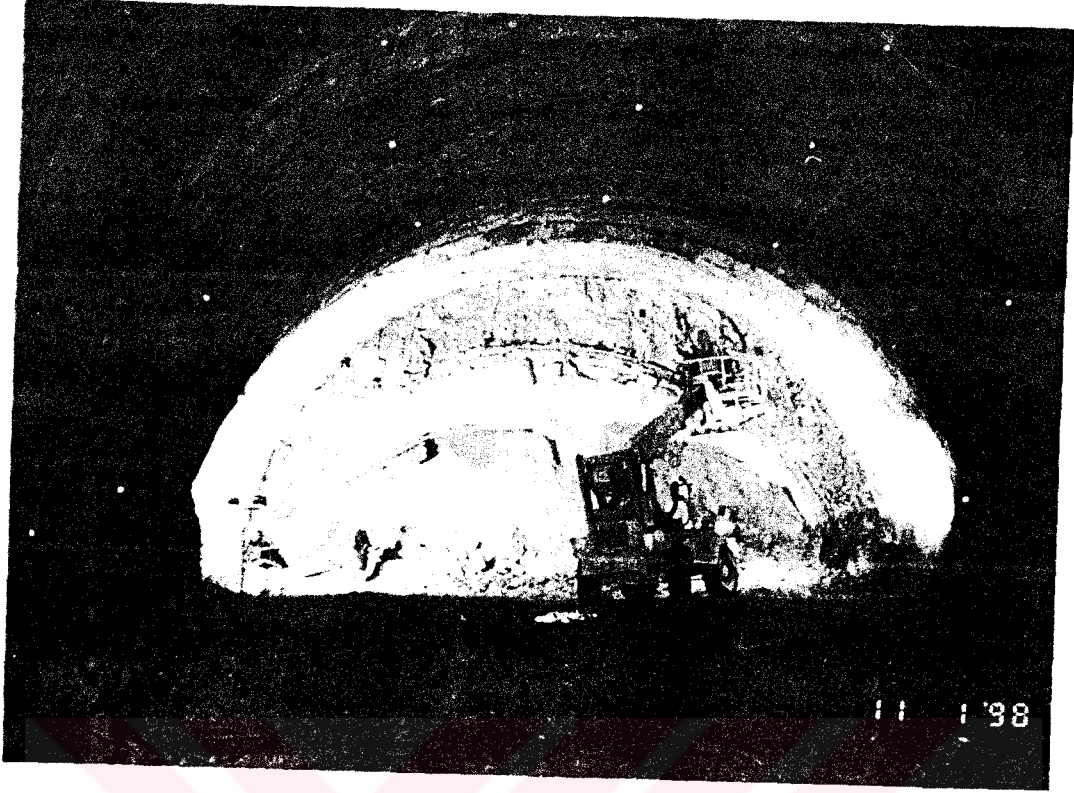
Tünel güzergahı boyunca kazılan kısımlarda fay killerinin şişmesi yüksek orandaki simektit mineralleri tarafından olmuştur. Tünel güzergahında karşılaşılan şişmelerde, kil minerallerinin türü yanında miktarı, konsolidasyon özellikleri, suyun varlığı, kazı sırasındaki boşalmalar ve destek sınıfıda etkili olmaktadır. Ayrıca çözünerek yumuşa-



Şekil 3.25. Asarsuyu girişinde tabanda oluşan deformasyonlar neticesinde yapılan Monolitik taban betonu uygulaması.



Şekil 3.26. Asarsuyu girişinde deformasyonlar sonucu yapılan ilave bulonlama.



Şekil 3.27. Elmalık girişinde üstyarıda oluşan çökme.

miş dolgunun yıkanarak boşluk yapmasına sebep veren kalsit ve diğ er dolgu mineral-
leri de bu durumda önem kazanmıştır.

Fay zonlarındaki killerin şişme mekanizması tün el kazısı sırasındaki çevre şartlarına
da bağı lı olarak değ işkenlik gösterecektir. Genellikle tün el kazısı sırasında çevre
şartları, gerilme boşalımları, sıcaklık artışı sonucu zeminin kuruması ya da su içeriğ i-
nin artması şeklinde değ işecektir. Tün el kazısı sırasındaki yeraltı su seviyesindeki
değ işiklikler sonucu fay zonlarındaki killerde su içeriğ i değ işimi ortaya çıkacak-
tır. Öyle ki Metasedimentler içerisinde su ile karşılaşılan bölgelerde meydana gelen
deformasyonlar ile kuru halde kazılan Metasedimentler arasında çok fark vardır.

3.4.8. Fay killerinin şişme potansiyeli ve şişme basınçları

Şişen bir kayanın minerolojik bileşimi, şişme potansiyeli açısından oldukça
belirleyici olmaktadır. Bolu tünellerinde fay killlerinden alınan numunelerin kil
minerolojisi X-Ray (tüm kayaç ve kil fraksiyonu) analizleri yöntemiyle incelenmiş-
tir. Örneklerin dane boyutu dağılımı, elek analizleri ve hidrometre deney yöntemleri
ile elde edilmiştir. (ASTALDI RAP.NO, 2014.).

Laboratuvarlara gönderilen fay killeri örneklerinde yüksek miktarda simektit
mineralleri bulunmuştur. Yatay sondajlardan ve ayna kazılarından alınan blok
numunelerden çok kapsamlı yapılan testlerde örneklerin %90'lara varan kil mineral-
lerinden oluşan, konsolide olmamış zemin türü olması, bu numunelerin Birleştirilmiş
Toprak Sınıflamasında MH ve OH grubu topraklar arasında yer alması, en önemli-
side örneklerin yüksek sıkışabilirlik özelliğ ine sahip, 5.04 kg / cm² gibi yüksek bir
değ erde şişme basıncına sahip olması Bolu Tünellerdeki fay killerinin ne kadar aktif
olduğ unu göstermektedir. Bu deney sonuçları ileride karşılaşılabilecek zeminler hakkında
bilgi vermektedir.

Tün el güzergahındaki kataklastik ve ayrıışmış kayaların şişme basınçlarının
bilinmesi, gerek uygulanacak zemin ıslah yönteminin belirlenmesi, gerekse uygun
destek sisteminin seçilmesine katkıda bulunan en önemli parametrelerden biridir.

Burada teste tabi tutulacak numunenin örselenmiş yada örselenmemiş olması, kullanılan deney tekniği ve kil minerallerinin cinsi sonuçlar açısından çok önemlidir.

Yapılan testlerden ortaya çıkan sonuç Asarsuyu Girişindeki fay killerinden alınan örneklerden elde edilen sonuçlar Elmalık Girişine göre çok farklılık göstermektedir. Asarsuyundaki fay killerinin plastisitesi, şişme basınçları ve şişme potansiyellerinin artışı tamamen yeraltı suyun hareketi ile ilgilidir. Alınan örnekler üzerinde yapılan test sonuçlarına göre tüm numune içerisinde kil miktarı %4 ile %20 arasında, simektit minerali ise ortalama %10-15 arasında değişmektedir. Elmalık Girişinde bu oranlar %100'lere kadar varmaktadır.

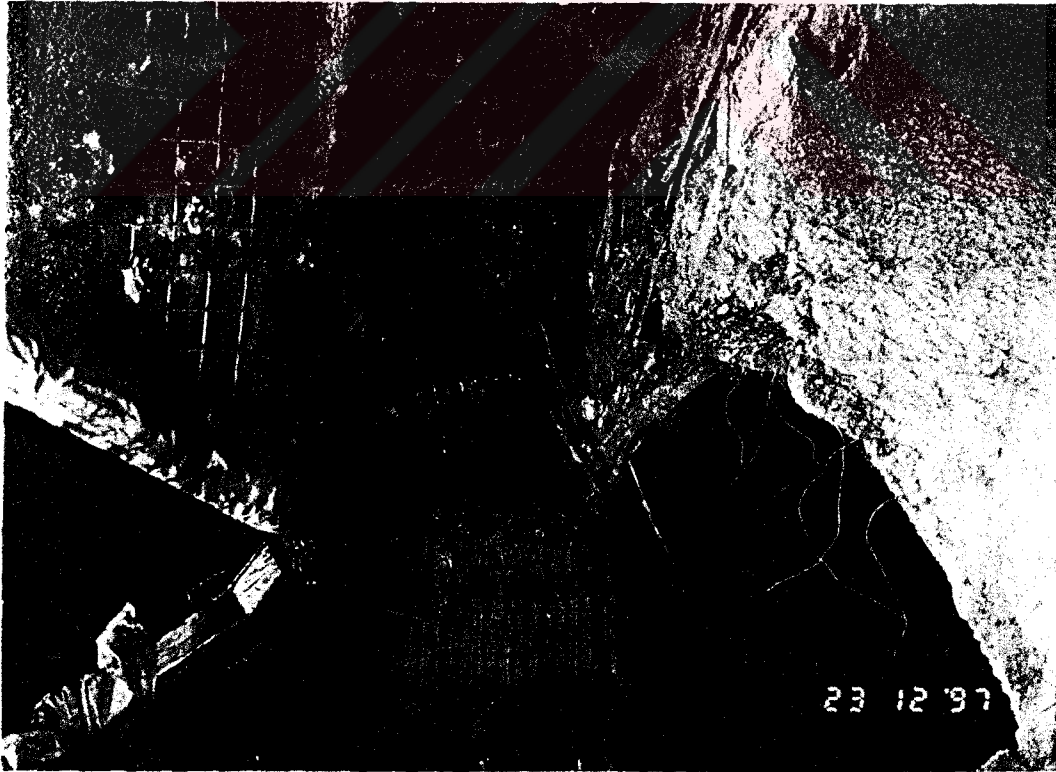
Belli başlı büyük fay zonları haricinde, fay killeri Asarsuyu Girişindeki kazılarda önemli problemler yaratmamıştır.

3.4.9. Fay zonlarında karşılaşılan kazı problemleri

Asarsuyu Girişinde Metasedimentler ve Metakristalin Temel'e ait birimler içerisindeki fay zonlarında yapılan kazılarda kayma düzlemlerinin yoğun bulunduğu kısımlarda kazı sırasında problemler olmuştur. Kazı sırasında oluşan aşırı sökümler kazının zorlukla yapılmasına neden olmuştur. Sıkışan ve şişen zonlarda oluşan çökmelerden dolayı tünelde önemli derecede maliyet ve gecikmeler olmuştur. Bu çökmelerden dolayı ilerleme alt yarından açılan pilot yan galeriler sayesinde olmuştur (Şekil 3.28.). Bu yan galeriler, donatılı olarak yapılmıştır (Şekil 3.29.). Bu da ek maliyeti ve zaman kaybını beraberinde getirmiştir.

Elmalık Girişinde de fliş içerisindeki yoğun kayma düzlemleri bulunan plastik ve katı kırmızı killer içerisinde yapılan kazılar zaman ve maliyet unsurlarına etki etmiştir (Şekil 3.30.).

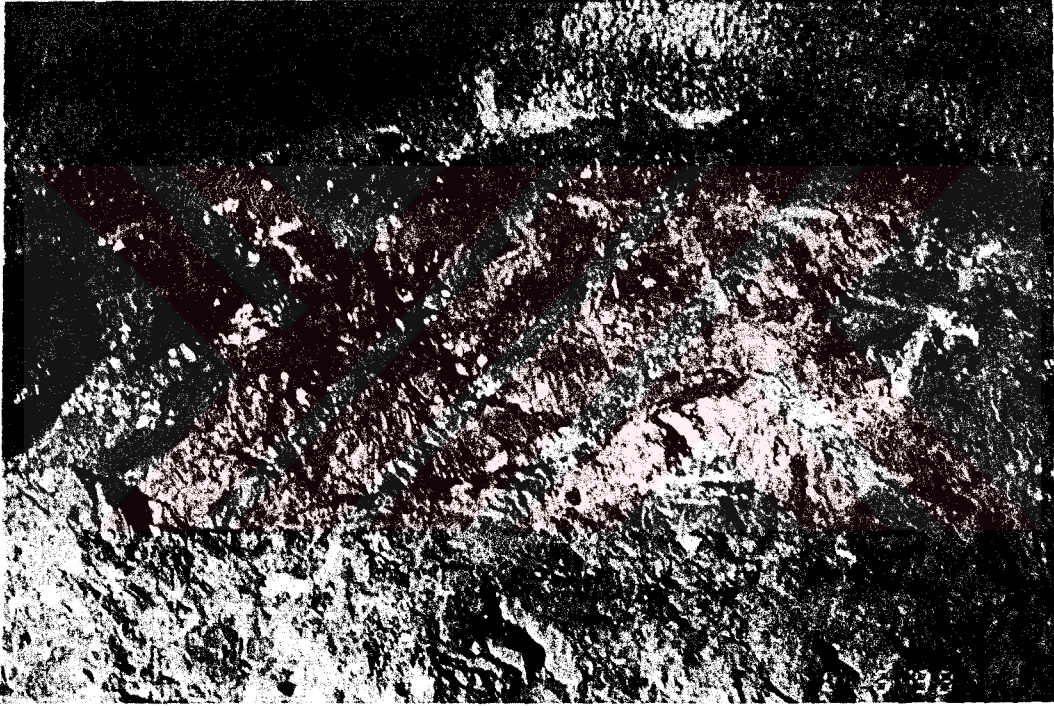
Asarsuyu Girişinde özellikle suyun bulunduğu yerlerde yapılan kazılar çok uğraşı gerektirmiştir. Kazı öncesi buradaki suyun drenajı sağlanıyor ve buna göre kazı yapılıyor. Sonuçta kazı yapılırken karşılaşılan sular kazının oldukça zor şartlar altında yapılmasına neden olmaktadır. Burada suyun zemini yumuşak hale getirmesinden



Şekil 3.28. Elmalık Girişinde altyarıda yapılan yan galeriler.



Şekil 3.29. Yan galerilerde donatılı uygulama.



Şekil 3.30.Elmalık Girişinde Fliş serisi içerisindeki kırmızımsı fay killeri.

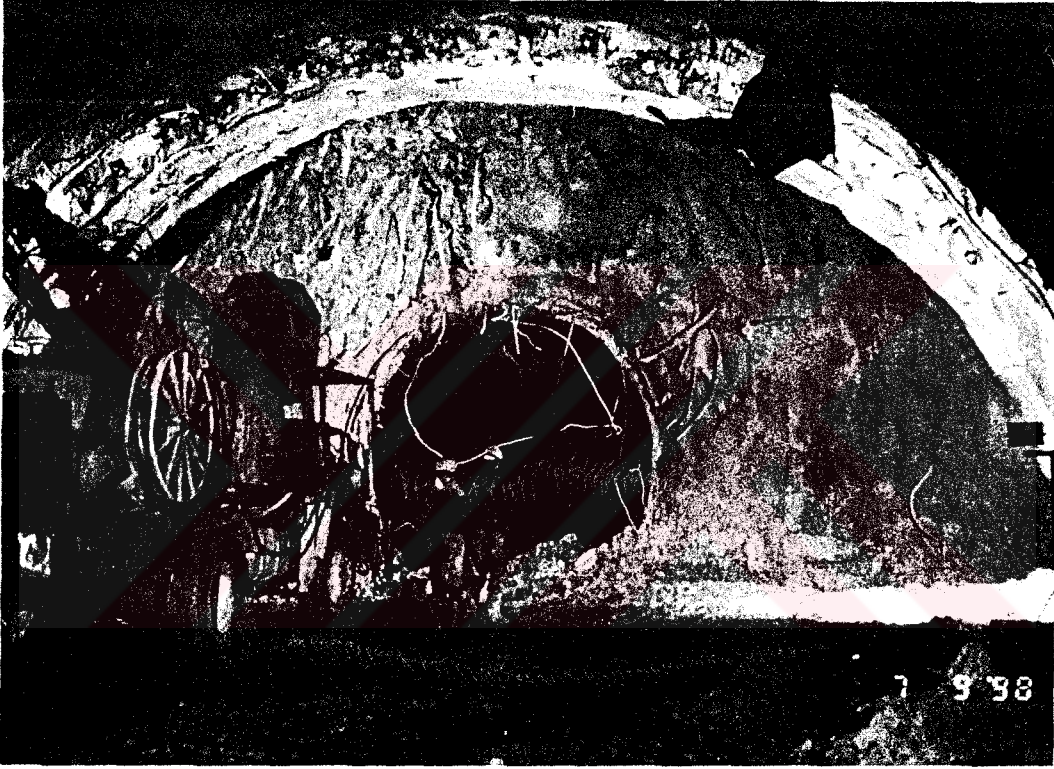
dolayı kazı tekniği ne kadar uygun olursa olsun kazının gecikmeli ve zor koşullar altında yapılmasına neden olmuştur.

Fay zonlarındaki kazılarda devamlılığı olan kayma düzlemleri, çok kırıklı ve ayrışmış zeminlerin olması ayna duraysızlığına sebep olmakta, bunun sonucunda ayna kazısı yarım yarım yapılarak aynanın stabilitesinin sağlanma yoluna gidilmektedir (Şekil 3.31.).Yarısı açılan aynaya püskürtme beton atılarak stabilite sağlanmaktadır.Fakat buna rağmen aynanın tamamen aşağı geldiği durumlar olmuş, bunun neticesinde kazı kesitine uymayan kazı profili ortaya çıkmıştır.Bu durum ise fazla püskürtme beton atılmasına dolayısıyla maliyetin ve zamanın artmasına neden olmuştur.Fay zonlarındaki ayna, tavan ve yan duvarların kazısında önemli problemler genelde ayna ve tavan kısımlarında olmaktadır.Bu nedenle aynaya ilave destek elemanları uygulanarak ve kazı boyu zeminin durumuna göre değiştirilerek kazı problemleri en aza indirgenmeye çalışılır (Şekil 3.32.).

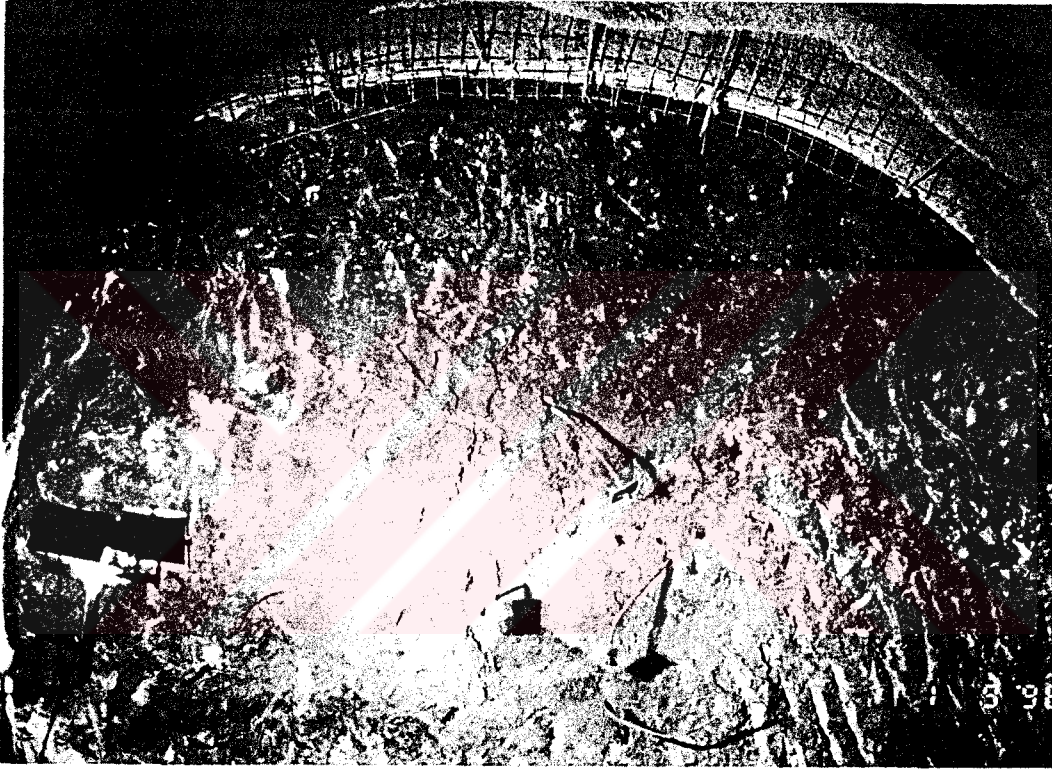
3.4.10. Fay zonlarında iksa problemleri

Islak veya kuru tünel şartlarında fay kili taşıyan zonlar az da olsa farklı davranışlar göstermektedir.Kuru şartlarda şişme olayı olmamaktadır.Bu durumda tünelde stabilite problemi olmayacaktır.Burada önemli olan suyun varlığı ve buna bağlı zeminin hareketi.

Asarsuyu Girişinde genelde iksa problemleri suyun, gevşek malzemenin ve çok ayrışmış zeminlerin olduğu kısımlarda olmuştur.İksa elemanlarından çelik kuşağın yerleştirilmesi aşamasında tavandan ve aynadan gelen malzeme çelik kuşağın montajını zorlaştırmaktadır.Bu gibi durumlarda yeniden püskürtme beton atılması ve çelik hasır gerekmektedir (Şekil 3.33.).Bu da maliyete ve zamana etki etmektedir.Bu şartlar altında işçinin de can güvenliği tehlike altına girmektedir.Çoğu zaman ayna yüzeyine atılan püskürtme beton, ilk destek için yeterli olmaktadır.İksa elemanlarından püskürtme betonun destek sistemine etkisi %25 civarındadır.Fakat bazı zamanlar püskürtme beton yükü tutamamakta ve göçük olmaktadır.



Şekil 3.31. Bolu Tünellerinde duraysızlıklar nedeniyle yarım yarım açılan üstyarı aynası.



T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANİSYON MERKEZİ

Şekil 3.32. Ayna duraysızlıklarında uygulanan ayna bulonlaması.



Şekil 3.33. Deformasyon olabilecek kısımlarda güvenlik açısından uygulanan çelik çelik hasır uygulaması.

Fay zonlarındaki malzemelerin dayanma süresini uzatmak için püskürtme beton en iyi kullanım aracıdır (HAHN,1978; SELMER-OLSEN,1977; HOLMGREN,1979). Özellikle Bolu tünellerinde uygulanan fiberli püskürtme beton dayanımı daha da arttırmaktadır (Laboratuvar test sonuçları ve fiili uygulama sonuçlarına göre yaklaşık %20-25).Böylece çelik kuşağın konulması sırasında çökmeler ve kaya parçalarının düşmesi, gelişen çökmelerin önlenmesi mümkün olmuştur.İksa elemanlarının sağlıklı uygulanmasında kazı boyuda önemlidir.

Bolu tünellerinde genelde yüksek şişme basıncı, şişmenin bir sonucu olarak içsel sürtünme açısı ve kohezyonun kaybı nedeniyle fay zonlarında oluşan büyük gravite yükleri ve yüksek su basınçları iksa elemanlarının konulmasını zorlaştıran ana sebeplerdir.Bundan dolayı kazı sonrası yapılan yüzey püskürtme betonu bu tür problemleri önlemede birinci ve önemli basamaktır.Ayna ve tavandaki duraysızlığı, zeminin hava ile irtibatını keserek önlemek mümkün olmuştur.Ve hiç vakit kaybetmeden konulan çelik kuşak tünelin üzerine gelecek yükü %10 azaltmaktadır.

Fay zonlarında ve ayrılmış kayaçların bulunduğu ortamlarda kaya bulonlaması, tünelin üzerinde oluşturulacak elastik ortam için çok önemlidir.Fay zonlarında seçilen bulonun tipi, boyu, bir round boyundaki bulon metresi, çapı ve uygulama tekniği çok önemlidir (Şekil 3.34.).Bulonlama tünel üzerine gelecek yükü, oluşturacağı elastik ortamla yaklaşık %65 gibi azaltmaktadır.Eğer fay zonu ve baskılı zeminlerde uygun bulon seçimi yapılarak (örneğin IBI bulon tipi) iki, üç defa bulon enjeksiyonu yapma şansımız olacaktır.Bu ise kaya ortamının daha homojen olmasını sağlayacaktır.

Asarsuyu Girişinde fay zonlarında öngörülen iksa sistemleri (bulon, çelik kuşak, püskürtme beton.) %70-80 başarı sağlanmıştır.Buna karşılık ana fay zonlarında kullanılan iksa elemanlarının başarısız olduğu (deformasyonların 120 cm.'ye ulaştığı kısımlar) bölgelerde kısmi taramalarla çelik kuşaklar değiştirilerek, püskürtme beton kalınlığı artırılarak, daha uzun boyda ilave bulonlar çakılarak deformasyonlar istenilen seviyelere getirilmiştir.



Şekil 3.34. Bolu tünellerinde IBO tipi bulonlama.

3.5. Tünellerde meydana gelen deformasyonlar ve tünele etkisi

3.5.1 Kökeni fay killerine bağlı olarak gelişen deformasyonlar

Karşılaşılan yoğun tektonizmaya bağlı olarak böyle büyük kesitte açılan Bolu dağı tünelleri birçok sorunuda beraberinde getirmiştir.Kuzey Anadolu Fay Zonunun proje alanının 10 km.güneyinden geçiyor olması, düşük açılı faylar (Elmalık tüneli), makaslama zonları, bindirme fayları, yüksek plastisiteli fay killeri, fay breşleri, aşırı ezilmiş ve aşırı kırıklı kayalarda açılan bu tünel içerisinde yukarıda sayılan nedenlere bağlı aşırı deformasyonlar gözlenmiştir.Yüksek değerli yükler altında deforme olan böyle bir tünel içerisinde beklenenin üzerinde gerçekleşen deformasyonlar tünelcilik açısından istenmeyen koşullardır.

Asarsuyu Girişinde sol ve sağ tüneldeki makaslama zonunda meydana gelen deformasyonların 120 cm.'ye ulaştığı gözlenmiştir.Bu deformasyonlar neticesinde çelik kuşaklarda burulmalar, bulonlarda patlamalar ve püskürtme betonda patlamalar, sökülme ve taban betonunda kabarmalar olmuştur.Bu tür etkinin tünele her açıdan zararı olmuştur.En önemlisi zaman ve maliyete etkisidir.

Asarsuyu Girişinde buna benzer ana fay zonlarında görülen deformasyonlar haricinde, açılan 1400 m.'lik kısmında önemli deformasyonlar gözlenmemiştir.Kaya ortamının davranış prensibiden yola çıkarak oluşan deformasyonların beklenen limitler içerisinde kalmış olması oldukça sevindiricidir (Fay killeri ve fay zonları hariç.).

Elmalık tüneline olay tamamen farklı gelişmiştir.Gözlenen düşük açılı faylar ve yüksek plastisiteli, katı, kırmızı fay killeri oldukça fazla deformasyon oluşturmuştur.Ve bu baskılı durum halen devam etmektedir.

Elmalık tünelde genel olarak gözlenen deformasyonlar tüm kesit boyunca olmuştur.Öyleki Elmalık sağ tünelde oluşan maksimum deformasyonun 300-500 cm.'ye

ulaştığı gözlenmiştir (Şekil 3.35.).Bu kısımda tünel tamamen göçmüştür.Genelde stres yoğunlukları fay killerinde tüm kesit boyunca, dokanaklarda ise farklı kesitlerde gelişmiştir.Tünelin tasarımı esnasında tahmin edilemeyen bu jeolojik koşullar (Şekil 3.36-37) ve kazı sırasında karşılaşılan yeni jeolojik koşullar (düşük açılı faylar ve yüksek plastisiteli fay killeri) Elmalık tünelde maliyeti ve zamanı aşırı etkilemiştir.

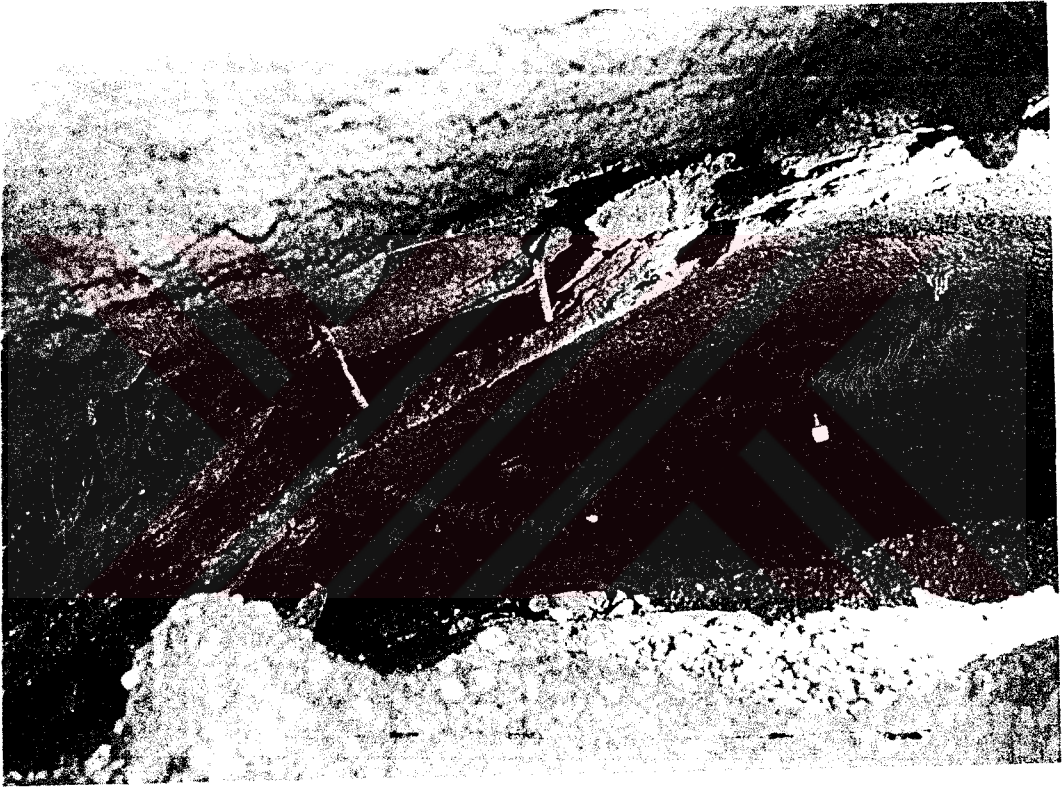
Yeniden projelendirilmiş kısımlarda sonuç alınamamıştır.Bu yüzden pilot tünel yapılmaya karar verilmiştir (Şekil 3.38.). 572 m. uzunluğunda açılan pilot tünel ile oldukça fazla jeolojik ve jeoteknik veriler elde edilmiştir.Bu eldeki verilere göre mevcut olan projenin yeniden değerlendirilmesi uygun görülmüştür.Buna göre, belli kesitlerde deneme amaçlı Bernold sistemi uygulanmıştır.Bu kısımlarda yerleştirilen jeoteknik aletlerin değerlendirmesi sonucuna göre, Elmalık tünelde karşılaşılan ve aşırı deformasyonlara neden olan fay killerinde bu sistem uygulanacaktır.Tezin yazıldığı dönemde bu proje hayata geçirilmemişti.

3.5.2. Deformasyonların destek sistemine etkisi

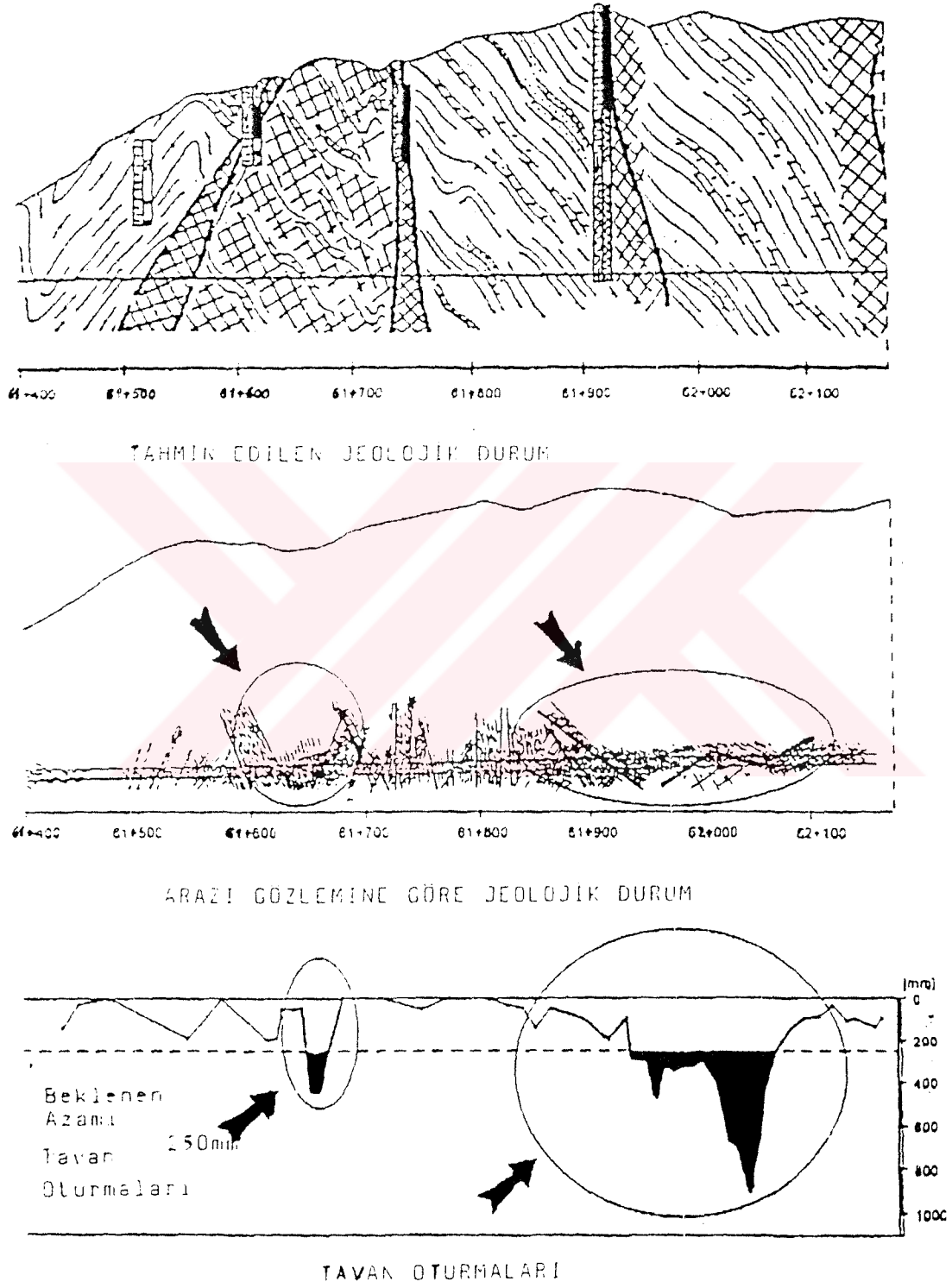
Tünellerin deformasyonel davranışları ve özellikle de sıkıştırma olarak tanımlanan büyük deformasyonlar Bolu tünellerinde sık gözlenmiştir.Tünellerde gözlenen büyük deformasyonların bir nedeni, tünelin kazımı sonrası oluşan yeni gerilme ortamının etkisinde kalan ana kayanın direncinin aşılması nedeniyle oluşan plastikleşme olgusudur.Sıkışma olayı, tünel çevresindeki kaya ortamında oluşan büyük deformasyonlardan dolayı tünel en kesitindeki azalma olarak düşünülmektedir.Eğer, oluşan bu deformasyon destek sistemi elemanları tarafından önlenemiyor ve dirençleri yeterli değilse, sonuçta kullanılan tahkimat elemanlarına yenilip kırılacaktır.

Bolu tünellerinde sık gözlenen diğer olay ise şişmedir.Şişme olayı tamamen kimyasal bir olay olup kil minerallerinin su ile olan iyon değişimi sonucu oluşur.

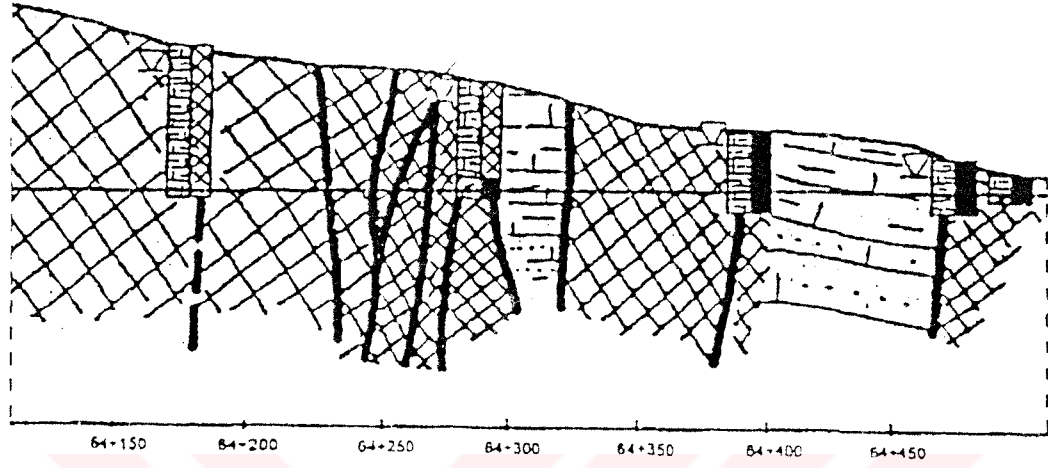
Bu iki önemli davranışın içerisinde açılan Bolu tüneline çok sık izlenen deformasyonlar, tünel içerisinde belirlenen destek sistemini olumsuz olarak etkilemiştir.Belirlenen destek sistemi elemanlarının tümü, bu fay zonu içerisinde oluşan deformasyonlardan dolayı etkilenmiştir.Makaslama ve kayma yenilmesine maruz kalan bu bölgelerde



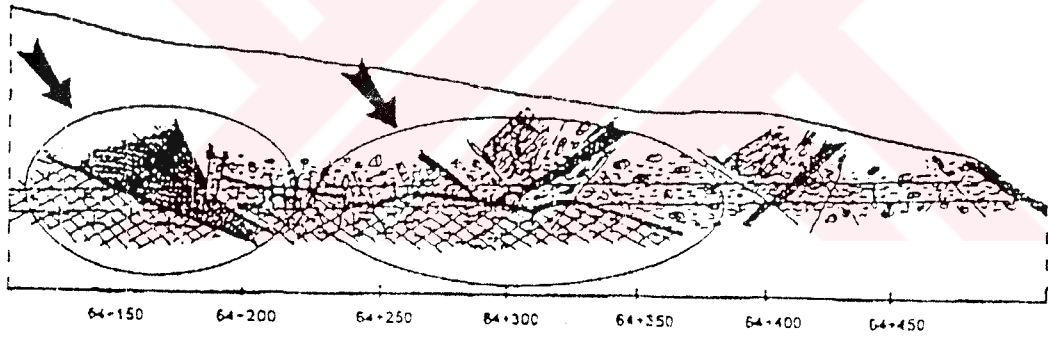
Şekil 3.35. Elmalık girişinde 200-300cm.'ye ulaşan deformasyonlar.



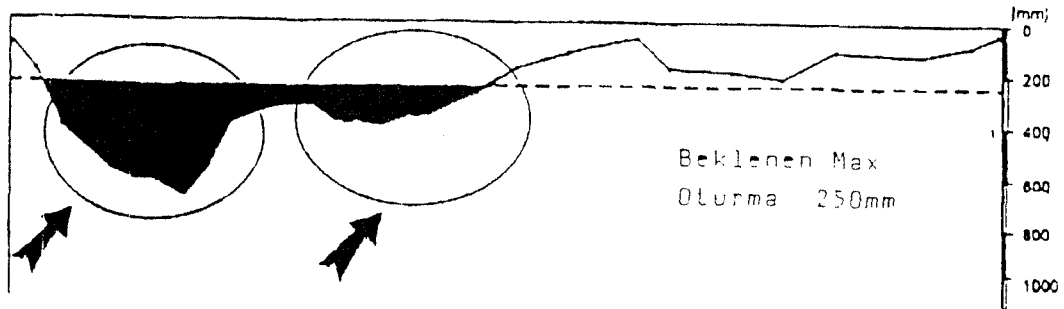
Şekil 3.36. Asarsuyu Girişinde beklenen ve karşılaşılan deformasyonlar.



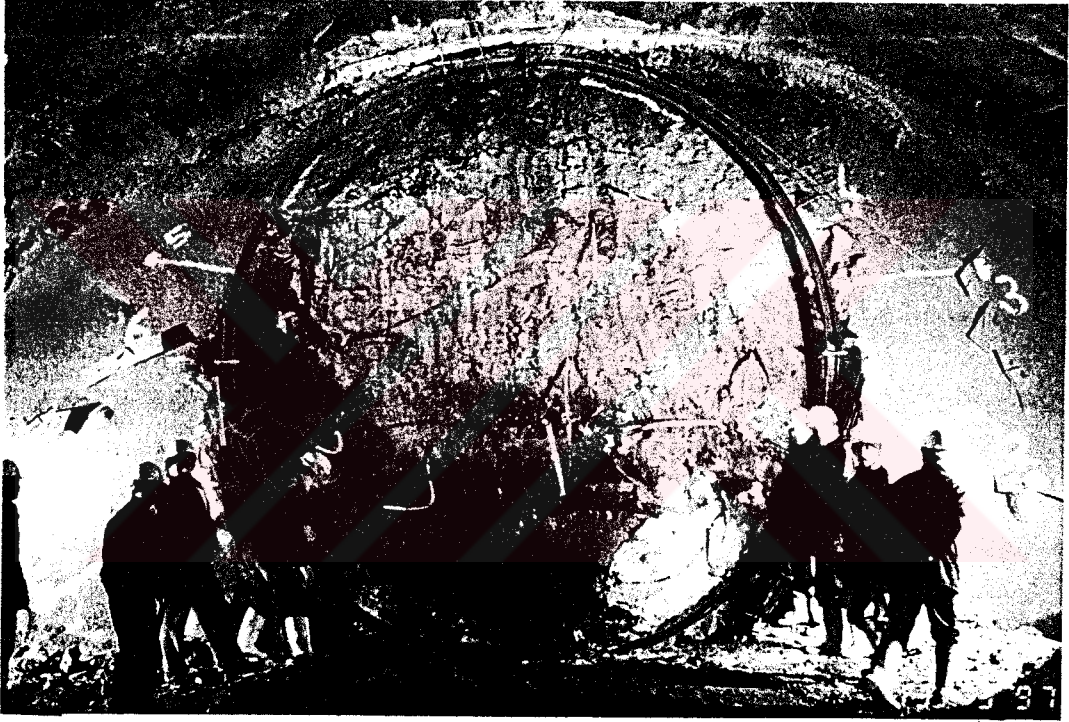
TAHMIN EDİLEN JEOLojİK DURUM



ARAZİ GÖZLEMİNE GÖRE JEOLojİK DURUM



Şekil 3.37. Elmalık Girişinde beklenen ve karşılaşılan deformasyonlar.



Şekil 3.38. Bolu tünellerinde pilot tünel uygulaması.

bulon kopmaları, kabarmalar, çatlama ve patlamalar, burulmalar gibi sonuçlar öngörülen kaya sınıfı ile jeolojik durumun uymaması neticesinde olmuştur. Sonuçta bu kısımlarda olan deformasyonların çözümleri ileride karşılaşılabilecek aynı tür ortamlar için referans olmuştur. Fakat bu olaylara maruz kalınan kısımlarda maliyet ve zaman kaybı olmuştur.

Asarsuyu Girişinde oluşan deformasyonlar yeraltı suyuna ve fay killerine bağlı olarak gelişmiştir. Burada önerilen destek sistemleri NATM'da belirtilen kaya sınıfının dışında tutulmuştur. Bu kısımlar için yeniden projelendirilen C kaya sınıfına CM (C modifiye) kaya sınıfı ilave edilmiştir. Bu ise ekonomik açıdan külfet getirmiştir. Jeolojik şartlara göre belirlenmiş kaya sınıflarının mukayesesini yaparak deformasyonların destek sistemine etkisini daha açık olarak görebiliriz.

3.5.3. Deformasyonların tünel hızına, iş emniyetine ve maliyete etkisi

Jeolojik şartlara bağlı olarak gelişmiş deformasyonların tünelin ayna, tavan ve yan duvarlarında meydana getirmiş olduğu duraysızlıklar tünelin ilerleme hızını, iş emniyetini ve maliyetini oldukça fazla etkilemiştir. Bu durumdan özellikle Elmalık tünel fazlasıyla etkilenmiştir. Öyle ki tünelin duraylılığını ve iş emniyetini sağlamak için oldukça maliyetli olan pilot tünel yapılmıştır. Pilot tünelin yapılmasında en önemli etken NATM'a göre mevcut projelerle, bu kadar deformasyon olan kısımlarda başarılı olunamayacağı, bu nedenden dolayı yeni jeolojik ve jeoteknik parametreler elde edilerek tünelin duraylılığını sağlayabilecek projeler üretmek ve sağlıklı olarak bu projeleri uygulamaktır. Bu projelendirme ve pilot tünelin sürülmesi, ana tünelin ilerlemesine engel olmuştur. Buna bağlı olarakta maliyet ve zaman kaybı oldukça fazla olmuştur. Yani pilot tünel için farklı iş makinalarının satın alınması, (Şekil 3.39.) pilot tünelden sonra bu iş makinalarının (boyut farklılığından dolayı) kullanılamayacak olması maliyetin artmasına neden olmaktadır. Ve pilot tünelde kullanılan tüm iksa elemanlarının işlevi bittikten sonra sökülüp atılacak olması (çelik kuşak, püskürtme beton, süren boru, ayna bulonları) da maliyeti etkilemektedir. Ayrıca pilot tünelde iş emniyeti, ana tünel boyutuna göre daha azdır.



Şekil 3.39. Pilot tünellerde kullanılan iş makinaları.

Ayrıca deformasyon olan bölgelerde yapılan tamirat/tarama işlemleri (iksa elemanlarının değiştirilmesi) de maliyeti ve ilerleme hızını olumsuz etkilemiştir. Bu kısımlarda hasar görmüş tüm çelik kuşaklar değiştirilerek püskürtme beton atılır (kalınlığı artırılarak). Bunu ilave bulonların yerleştirilmesi takip eder. Bu bölgede iç kaplama betonunun yapılabilmesi içinde deformasyonun sönümlenmesi gerekmektedir (ayda 2 mm.). Örneğin; Asarsuyu sol tünelde farklı bölgelerde oluşan 240 m.'lik deformasyonlu alanda 15170 m. IBO ve 3954 m. SN bulon ekstra olarak çakılmıştır. Sadece bu bulonların ek maliyeti 420.000 \$'dır. Bunun yanısıra iksa elemanlarından püskürtme beton ve çelik kuşağın getireceği maliyeti düşünürsek sadece 240 m.'lik deformasyonlu alanda toplam 1.200.000 \$ gibi ek bir maliyet çıkmaktadır. Bu rakamlar CM kaya sınıfında deformasyonun 60 cm. ile 130 cm. arasında değiştiği kısımlar için geçerlidir. Bu ek maliyet Elmalık tünelde iki katından daha fazla olacaktır.

Deformasyon meydana gelen yerlerde kazı geometrisinin değişmesi ve buna bağlı kazı kesitinin büyümesi ile maliyet artmaktadır. Bu kazı kesitinin değişmesine paralel olarak püskürtme beton kalınlığı artmakta, bulon paterni değişmektedir. Ve en önemlisi de iç kaplama betonunun kalınlığı artmaktadır. Bu da ek bir maliyet demektir. Taramaların bu kadar fazla ek maliyeti dışında tünel ilerlemesine de etkisi olmuştur.

Taramanın yapıldığı kısımlarda deformasyondan dolayı iç kaplama betonu dökülmektedir. Ayrıca deformasyon olan bölgeye ait jeolojik şartlarla ileride karşılaşılacağı düşüncesi ile yapılan yatay sondajlar ve ilerlemenin güvenlik açısından durdurulması ilerleme hızını çok etkilemiştir. Elmalık tünel sağ tüpte meydana gelen 200-300 cm.'lik deformasyon neticesinde ayna ilerlemesi, yeniden projelendirme ve iş emniyeti açısından aylarca yapılamamıştır.

Deformasyonlu bölgelerde ve tarama yapılan alanlarda meydana gelen bulon kopmaları, püskürtme beton dökülmeleri ve çelik kuşakların burulması iş emniyeti açısından da sakınca yaratmaktadır.

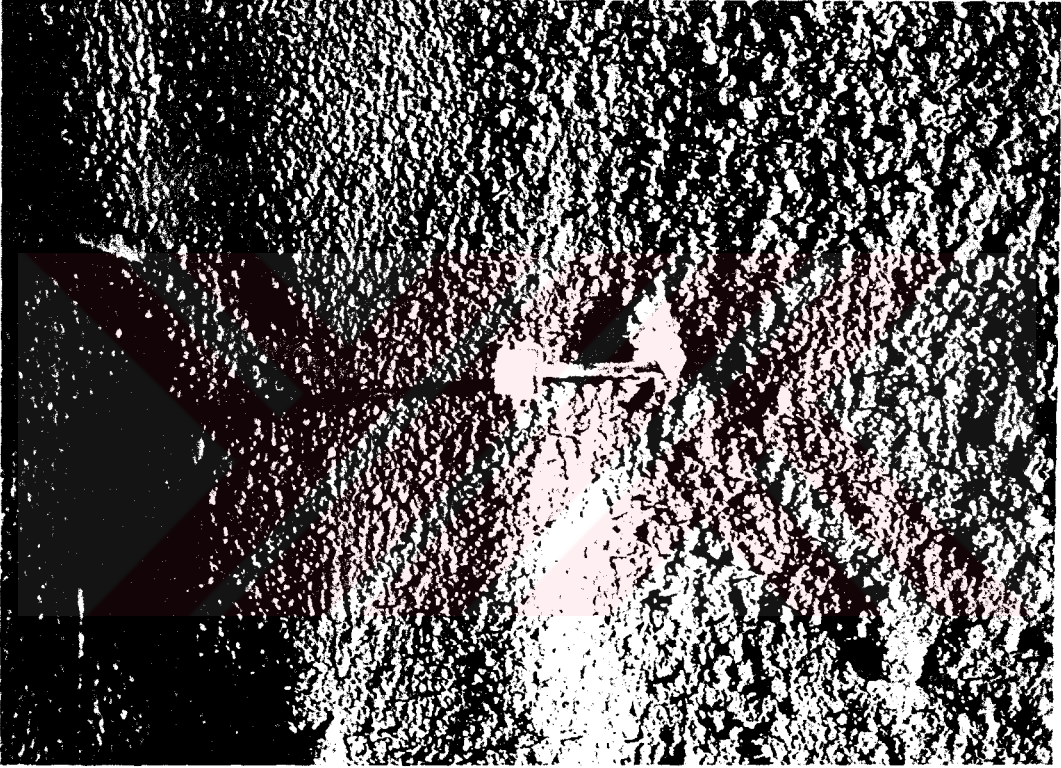
3.5.4. Deformasyonların ölçülmesi

3.5.4.1. Optik gözlem istasyonları

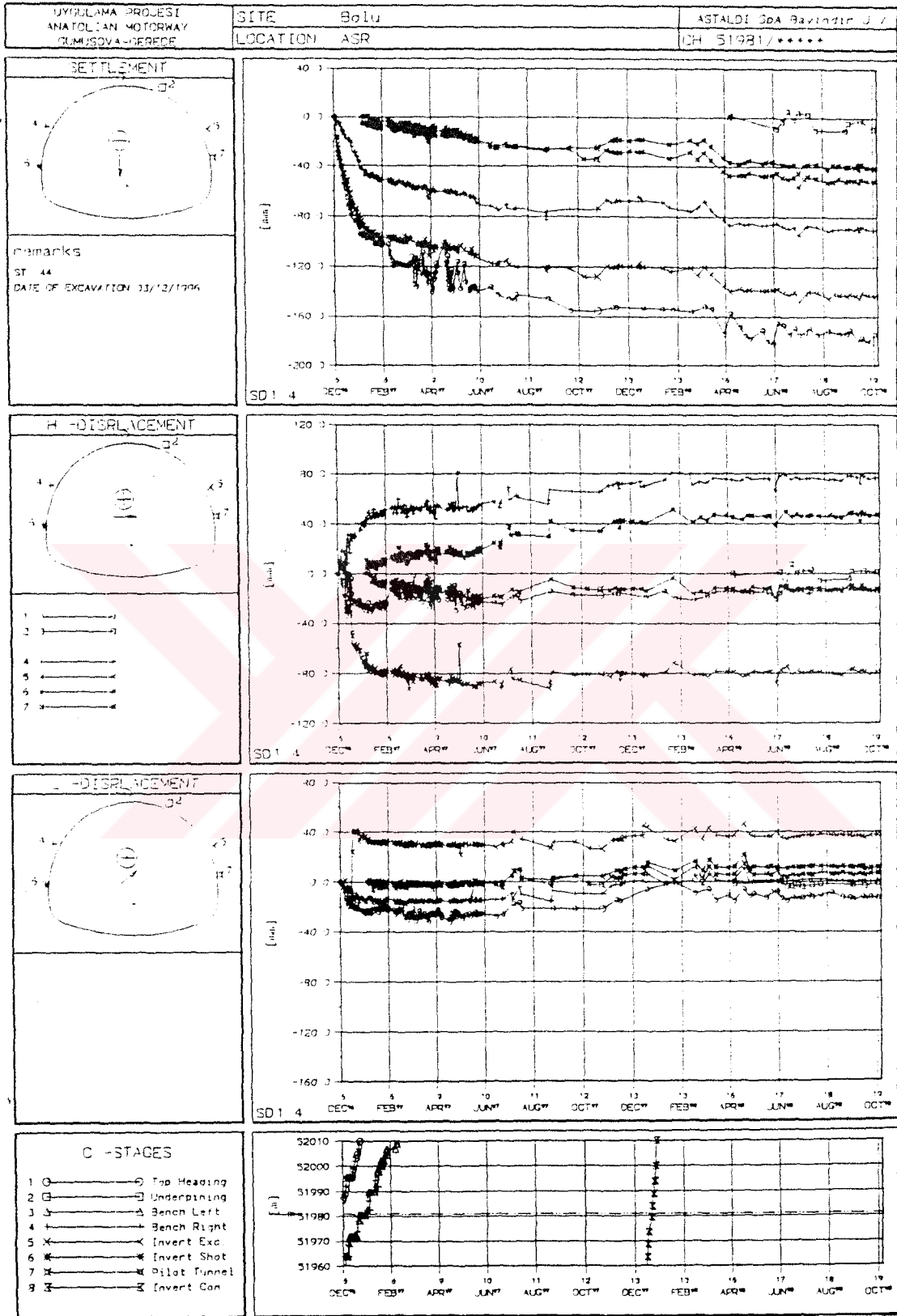
Bolu tünellerinde deformasyonların ölçülmesi üç yönlü yapılmaktadır. Bunlardan optik gözlem istasyonları tünelin ilerlemesine paralel olmaktadır.

Tünelin mutlak deformasyonlarını belirleyecek olan temassız ölçümlerdir. Tünel kaplamasının deformasyonları, mutlak sıfır esaslı bir ölçme sisteminde, işaretli toplama bulonlarının optotrigonometrik ölçümü vasıtasıyla saptanır. Elde edilen hassasiyet 1 mm.'dir. Ölçme kesimleri arasındaki mesafe için jeolojik koşulların esas alınması gerekir fakat bu sistem uygulanmamaktadır.

10*10 cm. boyutundaki yansıtıcı reflektörler (Şekil 3.40.), merkez noktası işaretlenmiş, önceden belirlenmiş bir kırılma noktası olan plastik bir başlıkla teçhiz edilmiştir. Bu reflektörler, iki dönme eksenli ve her iki taraftan gözlenebilir bir şekilde dizayn edilmiştir. Bu cihaz ile yapılan ölçümlerde; yansıtıcı reflektörler 40 cm. boyutunda nervürlü demirin ucuna monte edilir. Bu hazırlanan optik gözlem parçaları ayna kazısından 1-2 m. sonra 5'li olarak (tavan, yan duvarlar, omuzlar) kaya sınıfına göre ,püskürtme beton yüzeyine sağlam bir şekilde yerleştirilir (Örneğin; CM kaya sınıfında her 10 m.'de bir yerleştirilir.). Bu noktalardan, tesisden bir gün sonra "0" okuma alınır. Bu okumalar WILD TC 1610 veya WILD TC 1700 tipi elektrooptik bir teodolit (stadia hatları bulunan bir teodolit) adı verilen topoğrafik makinalarla yapılır. Bu makinaların hata oranı 0 veya 0' a yakındır. Bu oran alet operatörünün tecrübesi çok önemlidir. Bakış noktasının koordinatları, bakış noktasının konumu, ölçme sırasındaki sehpa hareketleri vb. etkenler sonucu etkilemektedir. Bu kaydedilen okumalar ofiste bilgisayara aktarılır. Okuma periyodu ilk hafta için hergün, sonraki zamanlarda haftalık, iki haftalık, aylık şeklinde olur. Bu okuma değerleri bilgisayarda "Dedalos" işletim programı sayesinde grafiğe dönüştürülür (Şekil 3.41.).



Şekil 3.40. Deformasyon ölçümünde kullanılan yansıtıcı reflektörler.



Şekil 3.41. Bolu tünellerinde ölçülen oturma, yanıl ve boyuna hareketler.

Alınan grafiklerde oturma, yatay deformasyon ve boyuna deformasyonları görmek mümkündür. Ayrıca bu okumalardan farklı yorumlarda bulunabilecek grafiklerde türetmek mümkün olmaktadır. Örneğin; 200 m.'lik alandaki tüm optik gözlem istasyonlarının, boyuna, yatay deformasyon miktarlarını ve oturmalarını görebiliriz. Ayrıca tünelde kullanılmayan fakat çok önemli olan diğer grafik türleri şunlardır: kazı-deformasyon ilişkisini gösteren grafik (Şekil 3.42-43) ile, kazının ilerlemesine göre deformasyon sönümlenmesini, stereografik projeksiyon grafiği (Şekil 3.44.) ile, kutuplaşmalara bağlı olarak deformasyonun yönü ve miktarını, H/V yerdeğiştirme grafiği ile, tünelin konumuna göre deformasyonların yatay-düşey oranını (Şekil 3.45.) görme şansımız olacaktır.

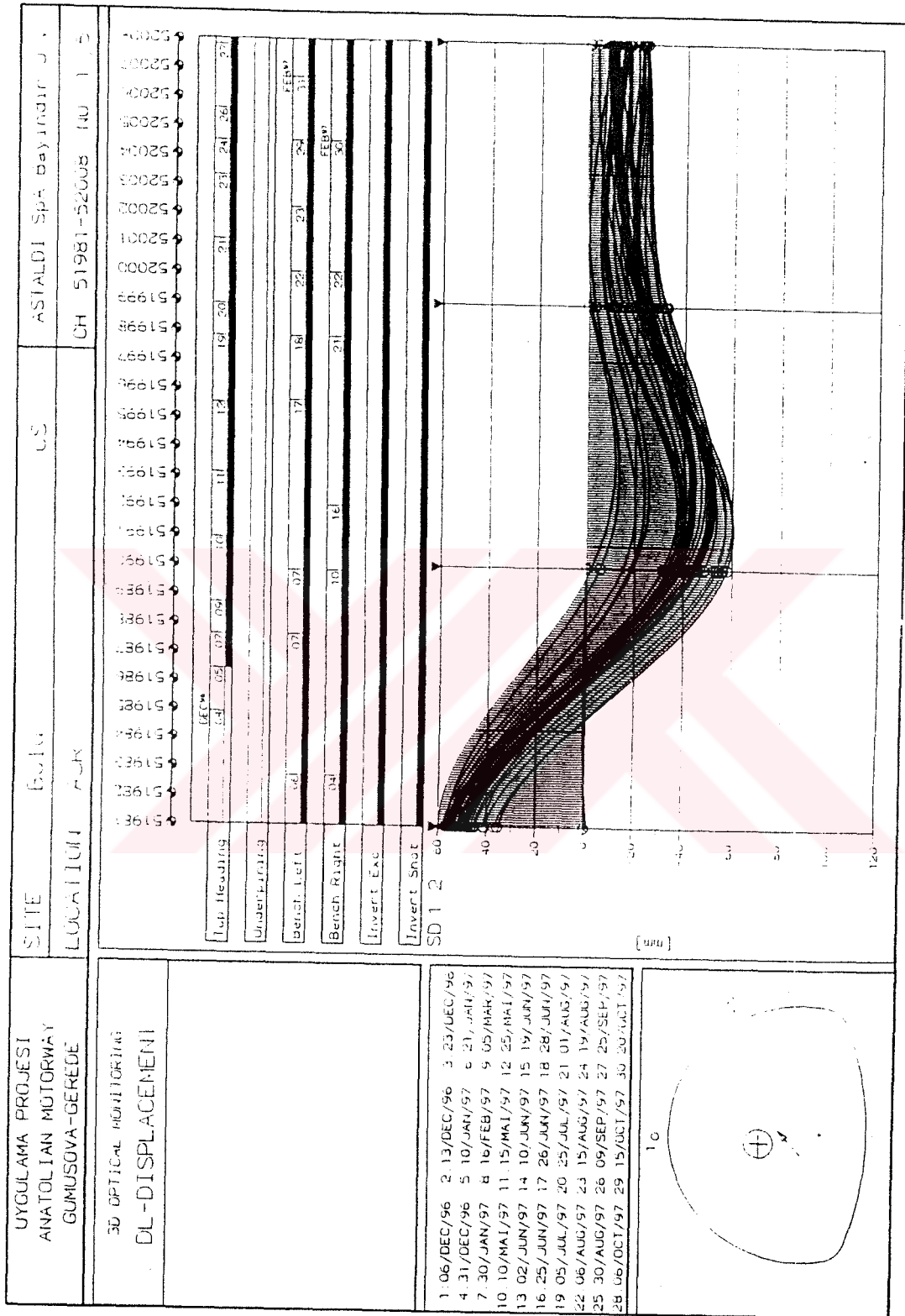
Optik gözlem istasyonlarının grafikleri günlük takip edilir. Özellikle fay zonlarında kurulan istasyonların değerleri dikkatle değerlendirilir. Bununla beraber hasar görmüş istasyonlar vakit kaybetmeden yeniden yapılır ve yeniden '0' okuma yapılır.

Optik gözlem istasyonlarında; ilk hafta için hergün, ikinci ve üçüncü hafta için haftada 2 kez, daha sonra ayda bir kez ölçüm alınır. Bunu aylık okumalar takip eder. Gerekli yerlerde fazla ölçümler alınabilir.

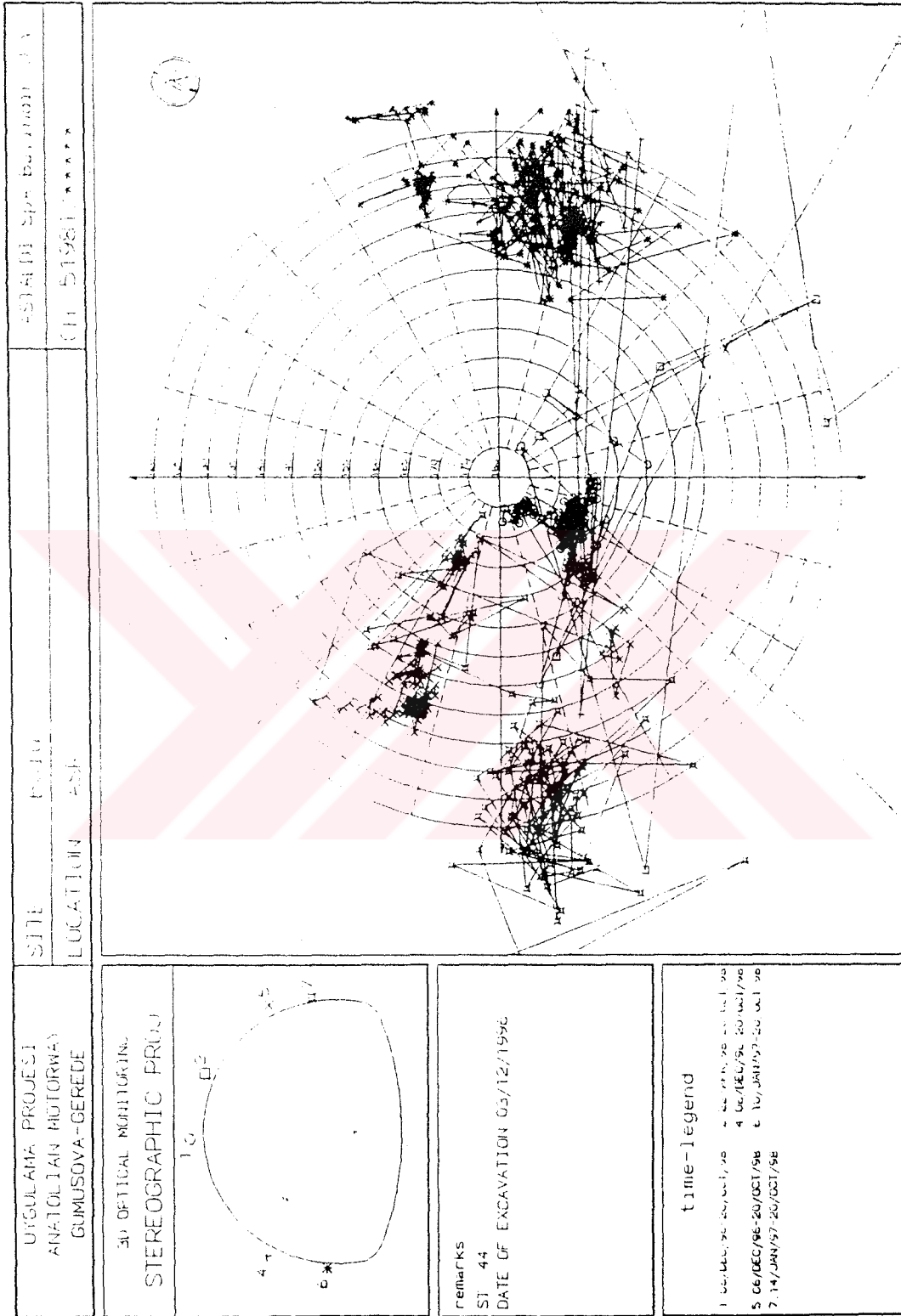
3.5.4.2. Yakınlaşma (Konverjans) bulonları

Yakınlaşma bulon veya çivileri, minimum 250 mm. boyda, 20 mm. çapında, korozyona karşı korunmuş nervürlü demir çubuklardan ibarettir. Bulonlar, kaya veya püskürtme beton yüzeyine enjeksiyon ile sağlam bir şekilde monte edilir. Montajdan sonra yaklaşım bulonları koruyucu başlıkla korunurlar.

Bu yaklaşım bulonları, her optik gözlem istasyonu ile aynı lokasyona monte edilir. Yakınlaşma bulonları 3'lü veya 5'li olarak monte edilir (tavan, yan duvarlar ve omuzlarda). Bu yaklaşım bulonlarından "0" okuma aldıktan sonra, ilk hafta için hergün, ikinci ve üçüncü hafta için haftada 2 kez, daha sonra ayda bir kez ölçüm alınır. Bunu aylık okumalar takip eder.



Şekil 3.42. Asarsuyu girişinde 200 m.'lik kısımda boyuna hareketin sönümlenmesi-
nin kazı ile olan ilişkisi.



Şekil 3.44. Bolu tünellerinde deformasyon yönü ve miktarının sterografik yöntemle gösterilmesi.

Bu yaklaşma bulonları şerit ekstensometre vasıtasıyla yapılır (Şekil 3.46.).Bu aletin hassasiyeti $\pm 0,01$ mm. olmalıdır.Bu aletin kalibrasyonu devamlı kontrol edilmelidir. Ve çelik şerit uzunluğu minimum 20 m. olmalıdır.

Bu yaklaşma bulon ölçümleri relatif deplasmanları verir.Tünel yapısının genel stabilitesinin anlaşılması bakımından çok hassas aletlerdir.Yaklaşma bulonlarının en önemli özelliği; aylık değerlerin 2mm.veya <2 mm. olması durumunda iç kaplama betonunun dökülmesine izin veriliyor olmasıdır.Gerekli olan yerlerde iç kaplama betonunun içine yerleştirilen jeoteknik aletlerle, iç kaplama betonu tamamlandıktan sonra, zeminin nasıl davrandığını gözlemekdir.

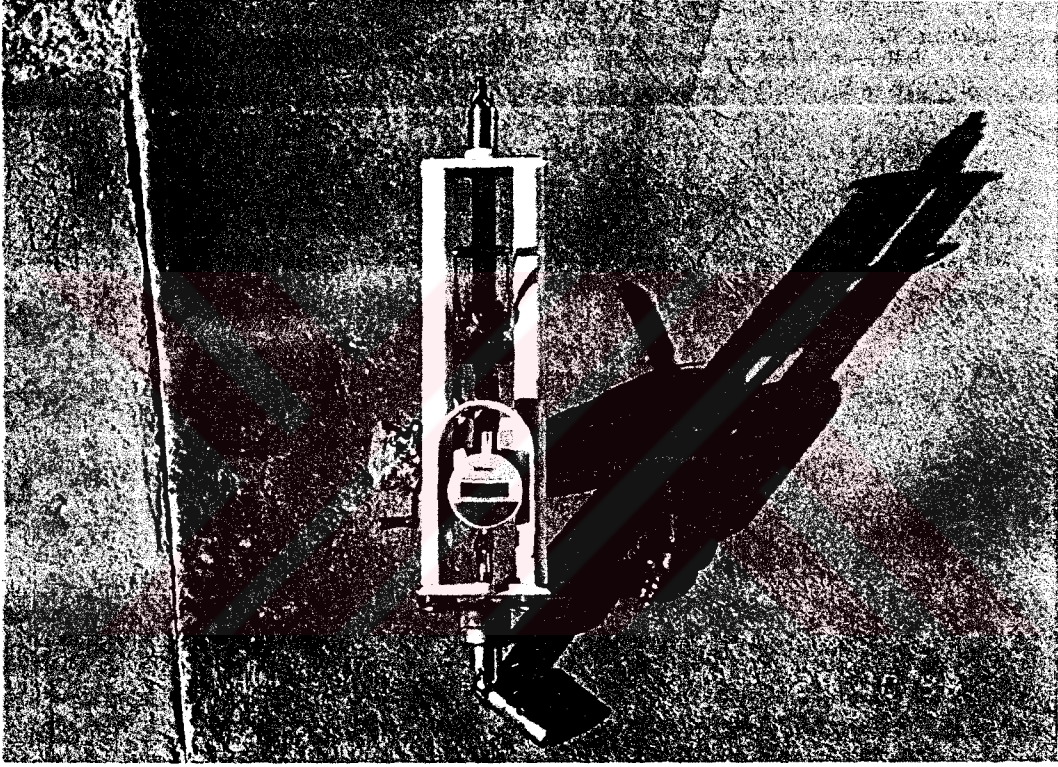
Alınan değerler ile oluşturulan grafiklerle (Şekil 3.47.) deformasyonun trendi izlenir.

3.5.4.3. Diğer jeoteknik aletler

Bolu Tünelleri sahip olduğu etkin tektonizma ile oldukça fazla deformasyona maruz kalmıştır.Bu nedenle deformasyonlar ve gerilmelerin yerinde ve çok iyi bir şekilde gözlenmesi bize zemin hakkında oldukça fazla jeoteknik parametreleri sunacaktır.Bu parametrelere dayanarak, yapı ardışımının doğru, kurulu desteğin uygun ve düzgünce uygulanmış olup olmadığına kısa bir süre içinde karar vermek mümkündür.Ölçüm sonuçlarına göre, destek elemanları ve yapıım detayları kontrol edilebilir ve aynı koşullardaki gelecek kesimler için ayarlanabilir.Gerekli sonuçlar bu ölçümlerin niceliğinden, kaya ile ilk kaplamanın istikrarı konusundaki eğiliminden ve uygulanan ilk desteğin başarısından çıkarılacaktır.Bolu tünellerinde özellikle fay zonlarında yerleştirilen jeoteknik aletler oldukça çeşitlidir.

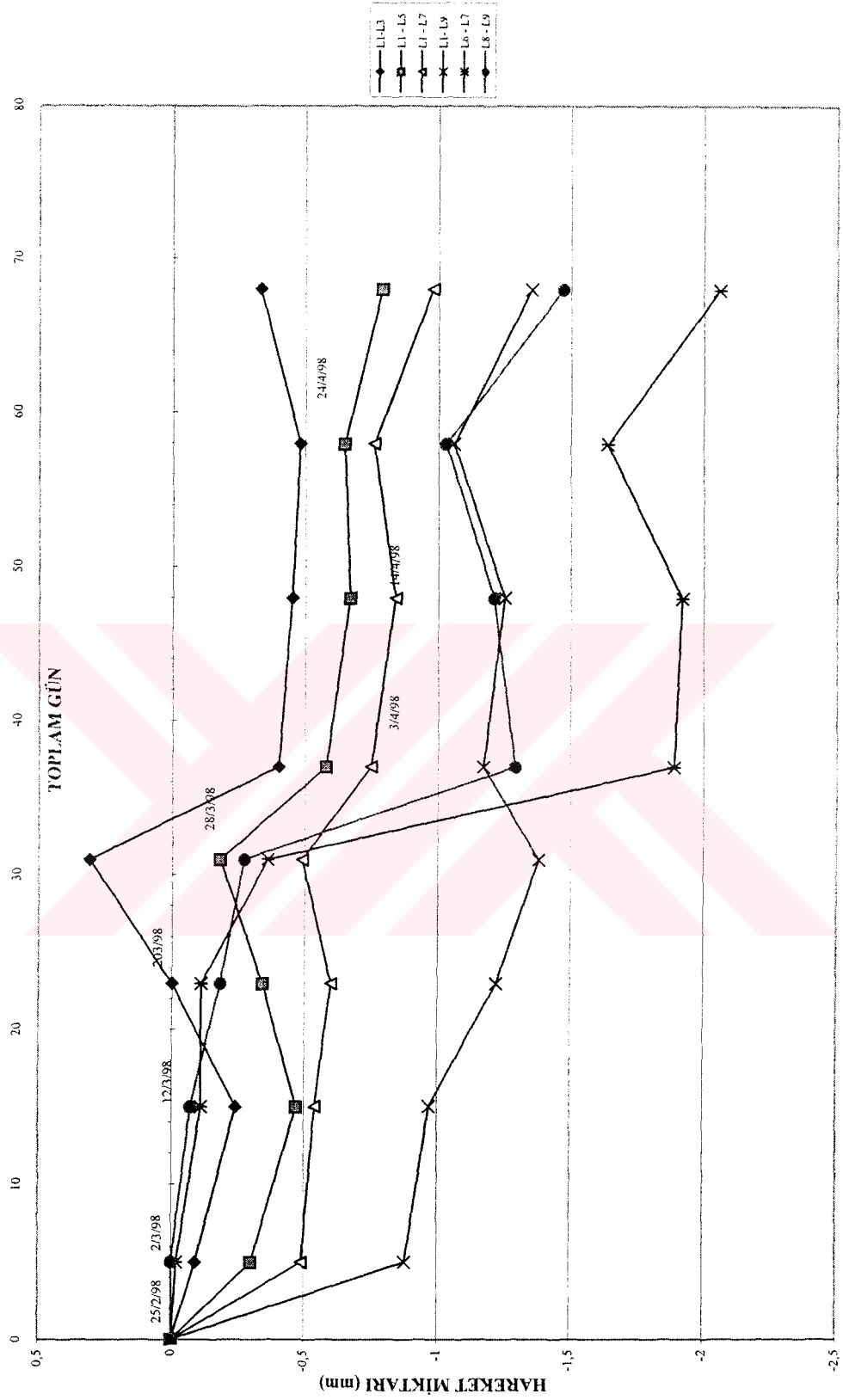
Bolu tünellerinde kullanılan jeoteknik aletler; kuyu ekstensometreleri, hidrolik basınç hücreleri, ankraj yük hücreleri, birim deformasyon ölçerler, elektrikli piyezometre, ölçüm ankrajları, sıcaklık ölçer ve vibrasyonlu tel aletdir (Şekil 48-53.).

Jeoteknik aletlerin yerleştirilmesi; jeolojik şartlara, ortamın mekanik davranışına, tünel boyuna, ana gerilme şartlarına ve tünel boyutuna bağlıdır.



Şekil 3.46. Deformasyon ölçümünde kullanılan şerit ekstansometre.

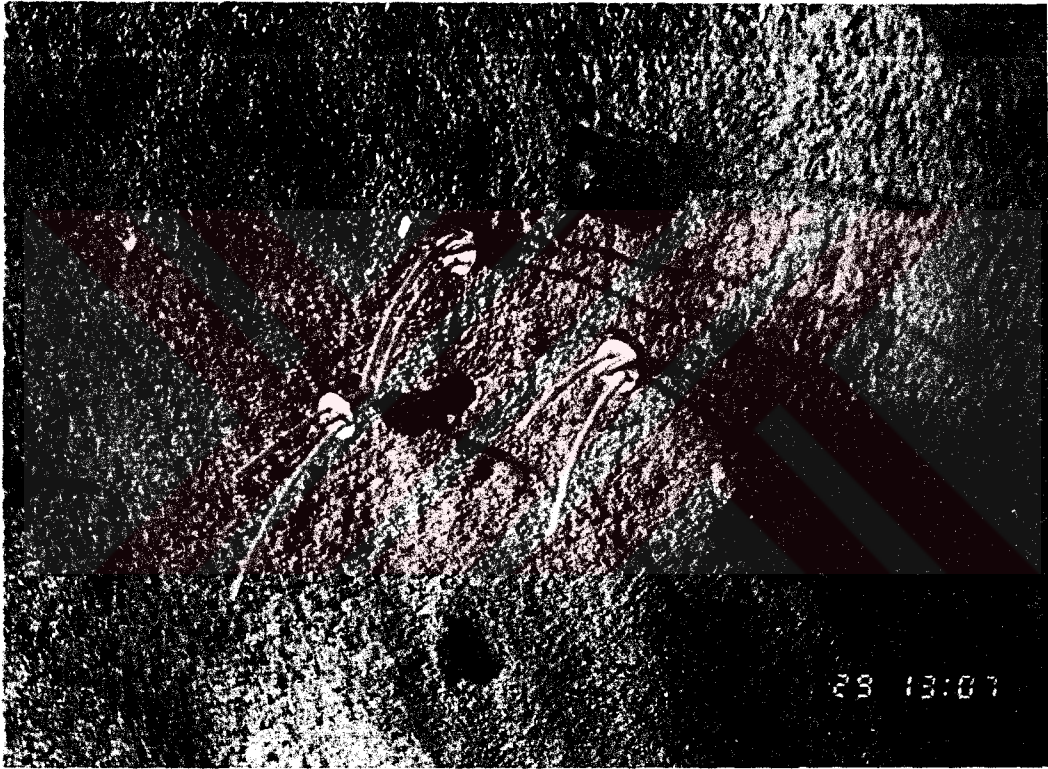
ASARSUYU GİRİŞİ SOL TÜP, İÇ KAPLAMA BETONU İÇERİSİNE YERLEŞTİRİLEN YAKLAŞIM BULONLARI İST.NO:INNER - 2 Km:61+931.00



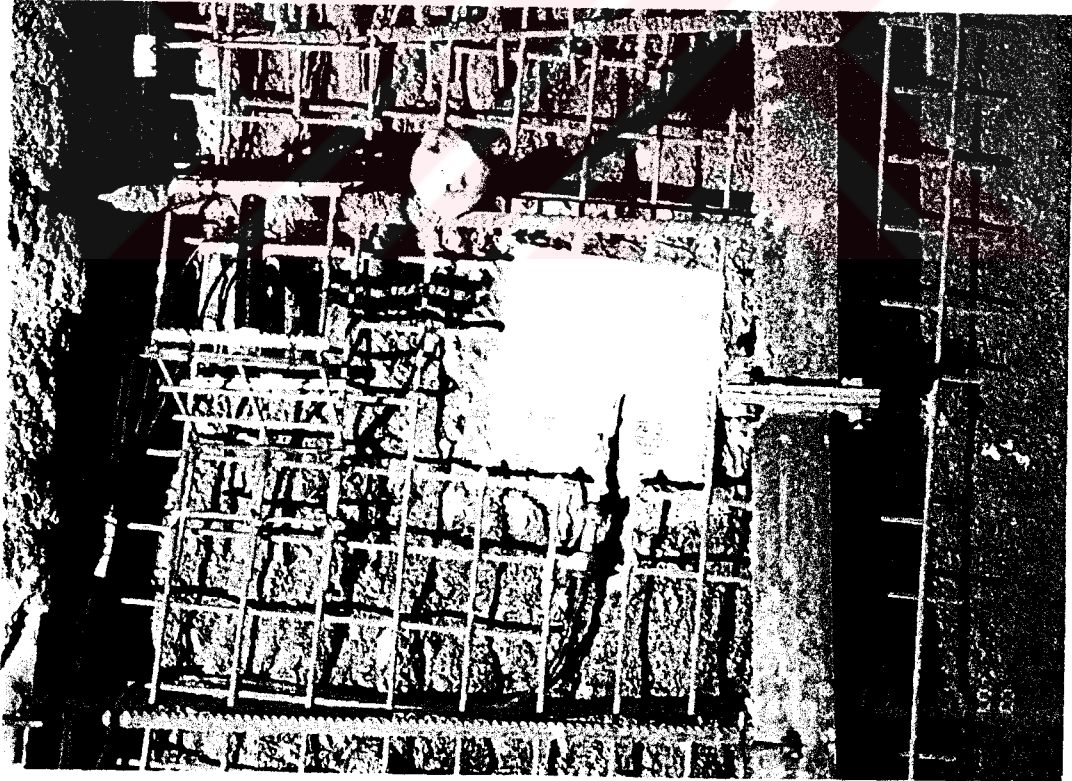
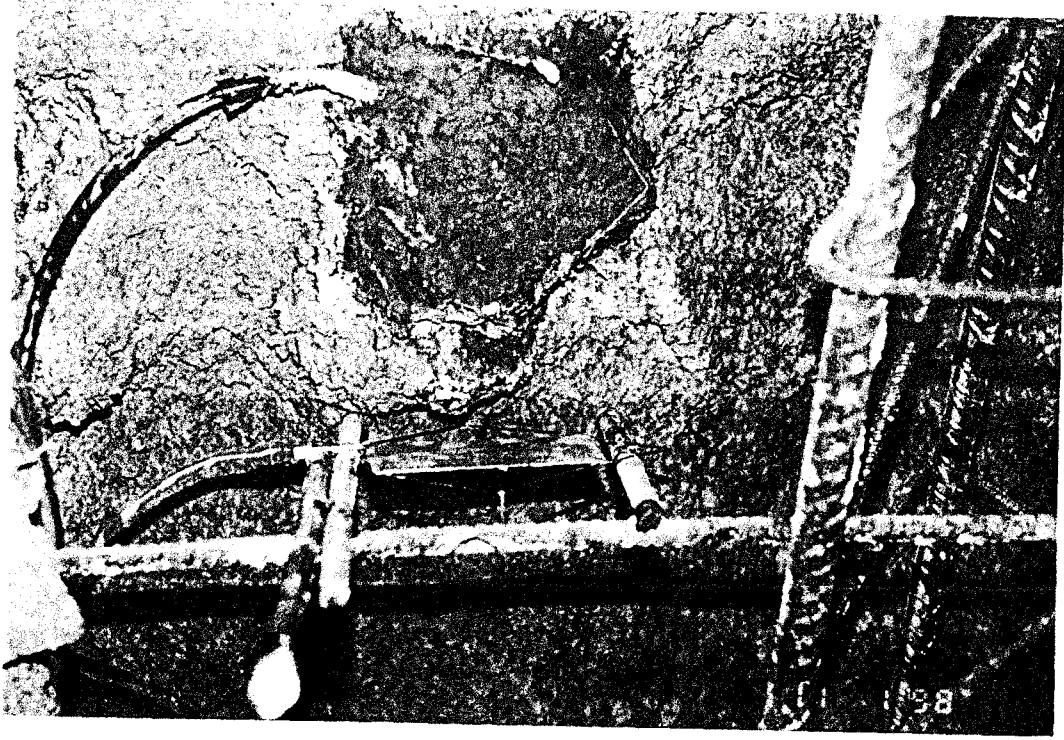
Şekil 3.47. Şerit ekstansometre ile yapılan ölçüm değerleri.



Şekil 3.48. Bolu tünellerinde iç kaplama beton ile membran arasına yerleştirilen birim deformasyon ölçerler.



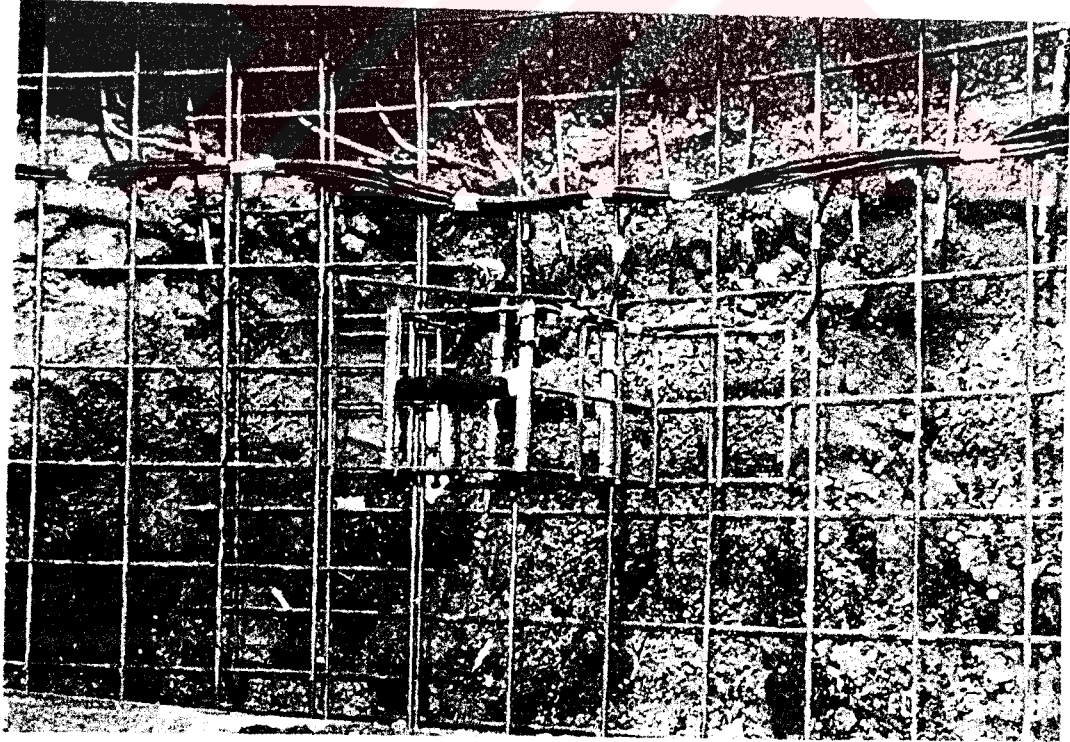
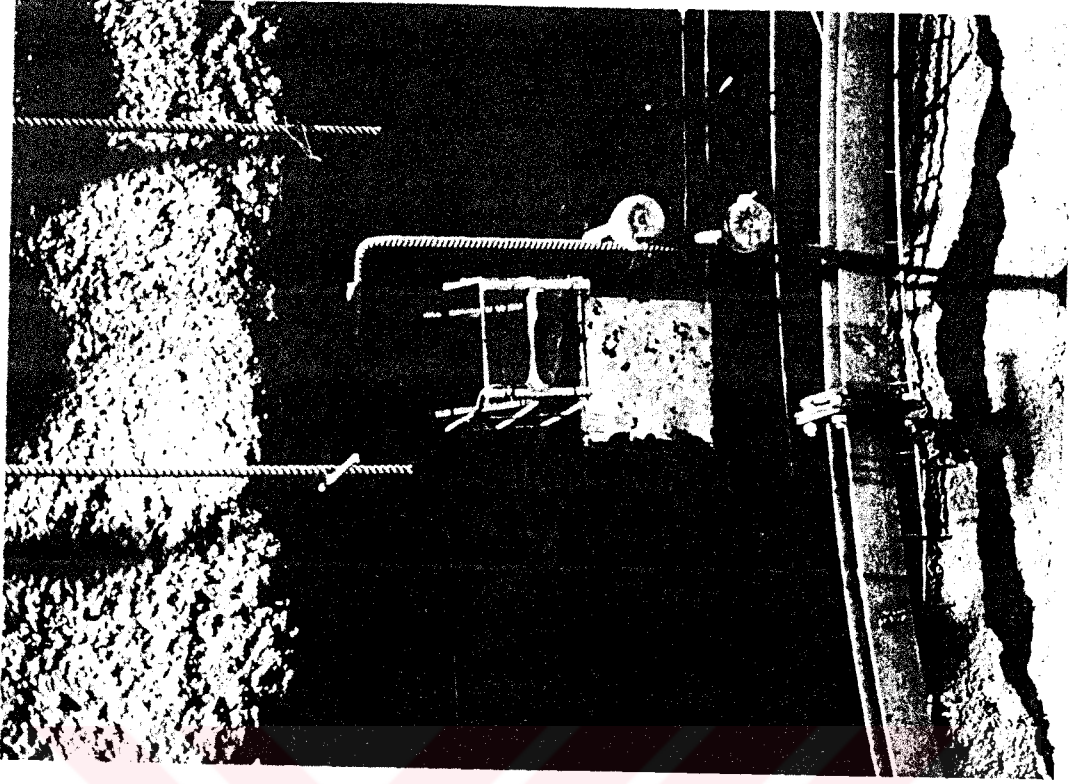
Şekil 3.49. Deformasyon ölçmek için kullanılan kuyu ekstansometreleri.



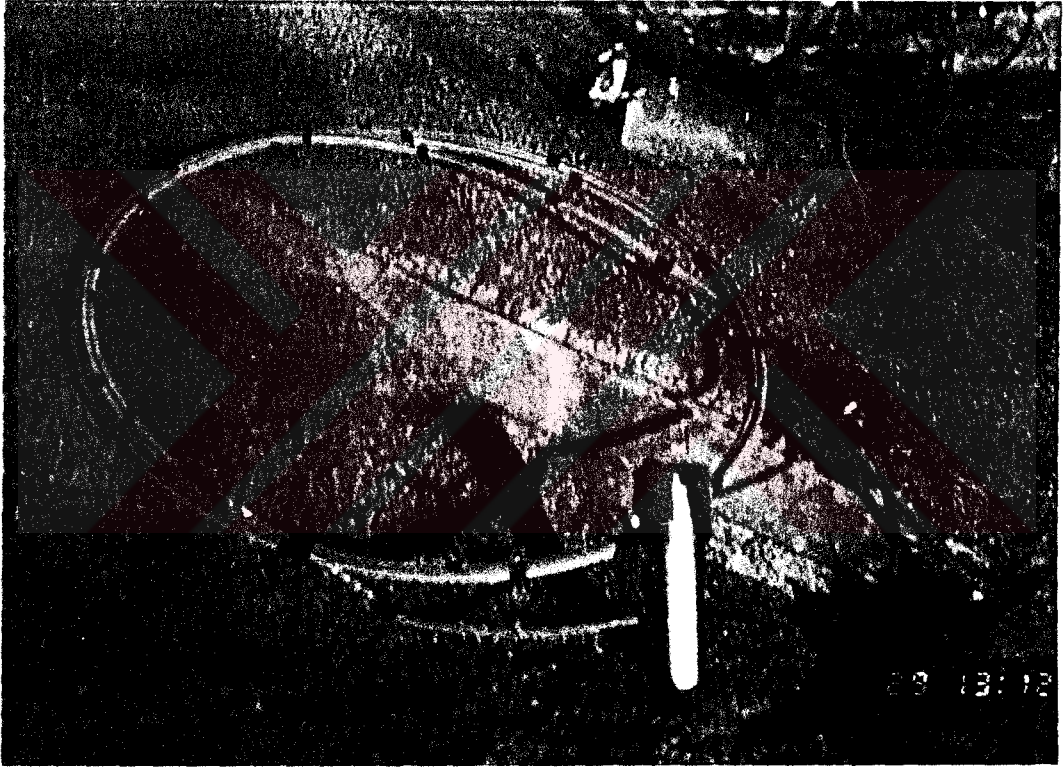
Şekil 3.50. Deformasyon ölçmek için kullanılan basınç hücreleri.



Şekil 3.51. İç kaplama beton ile membran arasına yerleştirilen birim deformasyon ve basınç hücreleri.



Şekil 3.52. Pilot tünel içerisinde çok sık kullanılan strainmetre ve basınç hücreleri.



Şekil 3.53. Deformasyon ölçümünde kullanılan ölçüm bulonları.

Jeoteknik aletlerin yerleştirilmesi de ayrı bir uzmanlık isteyen iştir.Çok pahalı olan bu aletlerin yerleştirilmesi titizlikle ve dikkatle yapılır.Bu aletlerin yerleştirilmesinden önce ve sonra aletler kontrol edilir (Şekil 3.54-55.).

Bunlardan hidrololik basınç hücreleri ve birim deformasyon ölçerler; kaya ile püskürtme beton arasına veya iç kaplama beton ile püskürtme beton arasına yerleştirilen basınç hücreleri, radyal olarak etkiyen basınçların tespit edilmesi için, öbürü ise püskürtme beton iç kaplama içindeki teğetsel gerilmelerin ölçülmesinde kullanılır.Aletler, püskürtme beton ve iç kaplama betonu içerisinde meydana gelen ısı etkilerini karşılayabilmeli, püskürtme beton ve iç kaplama betonun uygulaması sırasında meydana gelen darbelere ve nem'e karşı dayanıklıdır (Paslanmaz çelikten yapılmıştır.).Bu yerleştirilen aletler iç kaplama betonunun uygulanmasına kadar olan zamanda deformasyonun miktarı hakkında bilgi verecektir. Hidrolik basınç hücreleri, iç kaplama betonuna gelen basıncın ölçülmesinde kullanılır.50 bar' a kadar ölçüm alınabilir.

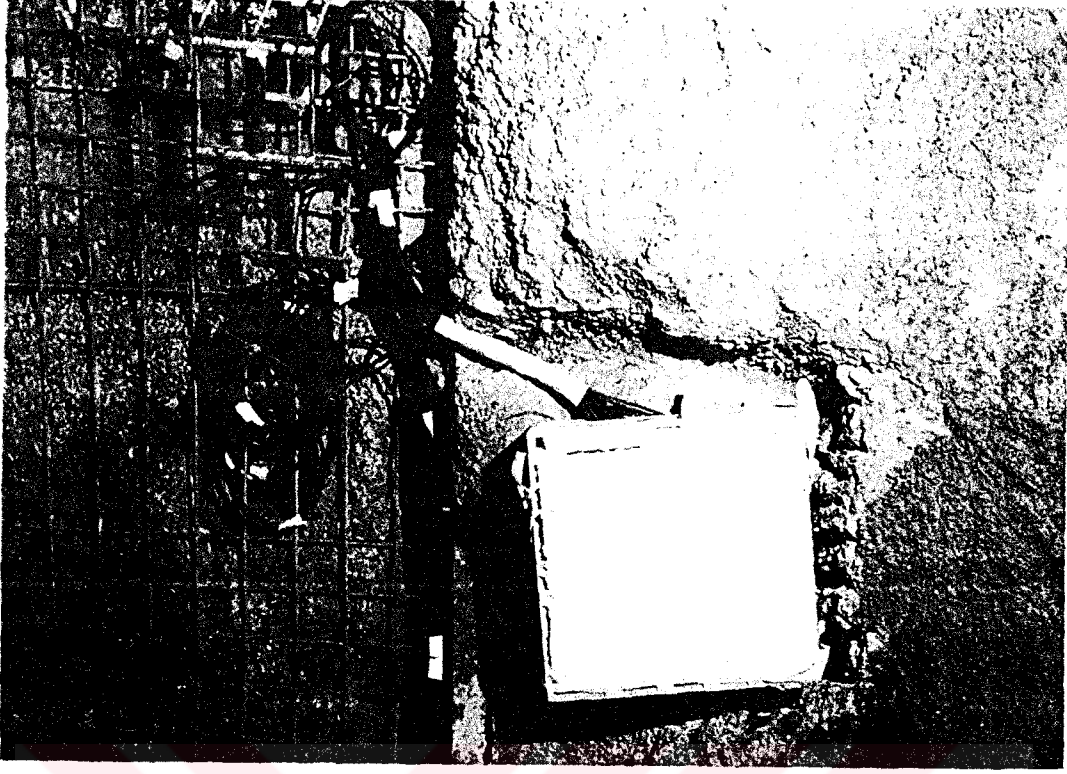
Hatta iç kaplama betonu ile püskürtme beton arasına yerleştirilen aletler, tünelin bitiminde de ölçülme şansını verecektir.

Kuyu ekstensometreleri, çevreleyen zemin içerisindeki elastik-plastik ortam hakkında fikir verir.Buna göre çeşitli derinliklerindeki plastik zonu yakalama şansımız olacaktır.Bu plastik zona göre kullanılan iksa elemanlarının, bu ortamda ne kadar etkili olduğunu anlamamıza yardımcı olacaktır.Ayrıca plastik zonun saptanması ile bulon boylarının yeterli olup olmadığını saptayabiliriz.Buna göre bulon boyları kırılma bölgesini aşacak şekilde tasarlanır.

Ekstensometre okumaları, yerleştirilen kısımdaki mutlak hareket miktarı ve derinlik paterni hakkında bilgi edinilmesini sağlar.Böylelikle ileride karşılaşılabilecek aynı zemin ortamlarında gereken kaya bulon boyları kontrol ve tespitinde yardımcı olacaktır.Kuyu ekstensometreleri tekli olduğu gibi, çoklu olarak da yerleştirilebilir (2/4/6, 3/6/9 veya 6/9/12 m.'lik).



Şekil 3.54. İç kaplama betonu içerisine yerleştirilecek jeoteknik aletler için yapılan hazırlık.



Şekil 3.55. Pilot tünelde yerleştirilen jeoteknik ölçüm aletlerinin püskürtme beton öncesi kontrol işlemleri.

Ölçüm ankrajları; birim metredeki bulonun taşıdığı yükü ölçer. Plastik zon içerisinde bulonun çalışıp çalışmadığı, boyunun yeterli olup olmadığına karar vermemizi sağlar. Plastik zon içerisinde ölçülen yük, bulonun taşıdığı yükle aynı ise iksa elemanlarının başarılı uygulandığını gösterir. Bulonlar içlerinde bulunan paslanmaz çeliğin zemin ortamındaki hareketine göre deformasyonu ve gelen yükü verir (200 veya 250 KN'u ölçebilir.). İçerisindeki tellerin boyutları yerleştirilecek ortamda istenen metreye göre belirlenir. Buradan alınan sonuçlara göre bulon boyları paterni değiştirilebilir.

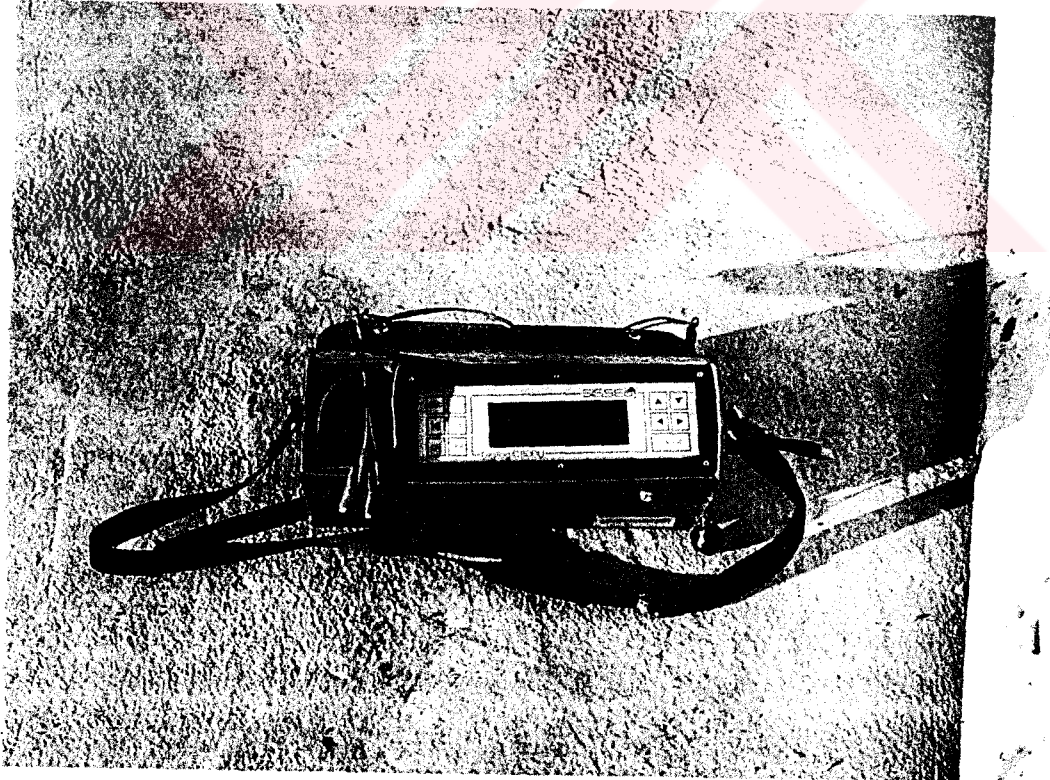
Birim deformasyon ölçerler; montaj yerlerindeki püskürtme beton kaplama deformasyonunun değerlendirilmesinde işe yararlar.

Tüm jeoteknik aletler çok hassas bir şekilde yerleştirilir. Bunun arkasından her jeoteknik alet için özel okuma aletleri ile "0" okumaları alınır (Şekil 3.56-57.). Özellikle beton içerisine yerleştirilen jeoteknik aletler günde 8-10 kez okunarak, aletin betondaki sıcaklık dalgalanmaları ile ilişkisi çıkarılır. Alınan ölçümler grafik haline getirilerek, yorumlanır (Şekil 3.58-59.).

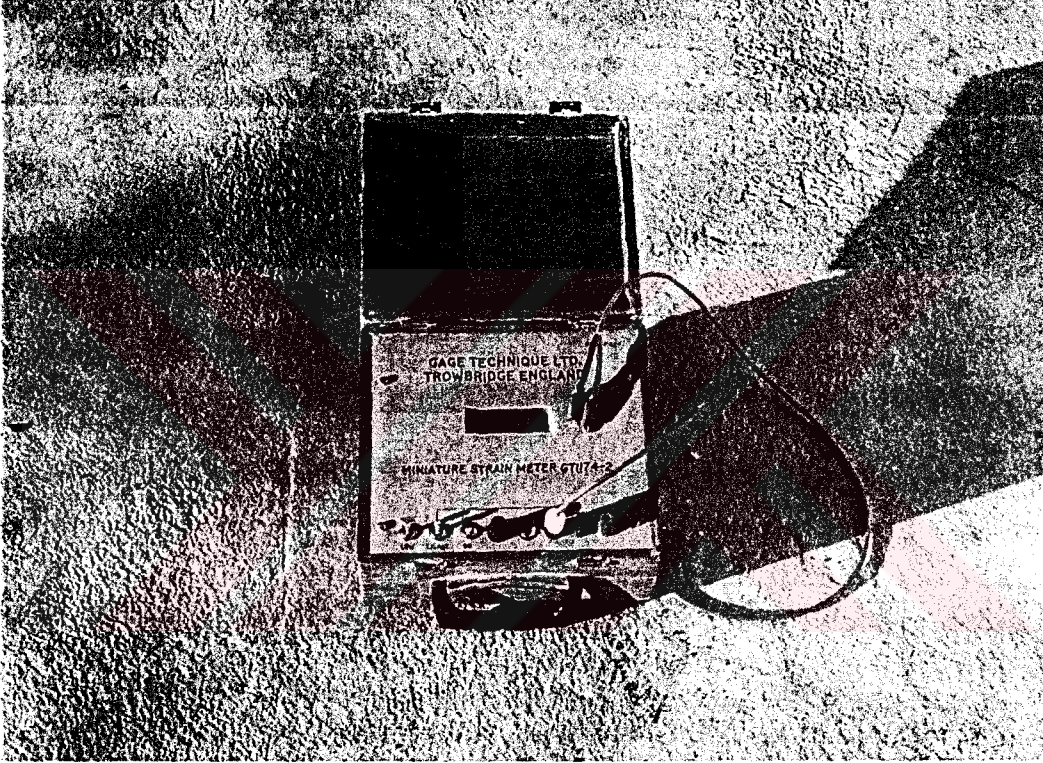
3.6. Tünel güzergahındaki litolojilerin jeoteknik özellikleri

Asarsuyu Tüneli sağ ve sol tüpten alınan yüzlerce blok, karot ve bozunmamış kaya ve zeminden alınan örnekler üzerinde zemin sınıflaması, birim ağırlık, su içeriği, Atterberg limitler, elek analizi, oturma testi, kesme deneyi, üç ve tek eksenli basınç testleri, petrografik analizler, şişme basıncı ve şişme potansiyeli, X-Ray testi, nokta yükleme testi, pressiometre gibi bir çok test yapılmıştır (Şekil 3.60.). Bu testlerin bazısının sonuçları tünel içerisinde uzun saatler takip edilerek birer birer alınır. Bu test sonuçlarına göre (Tablo 3.7.), tünel kazısı sırasında karşılaşılan litolojilerin jeoteknik özellikleri aşağıda verilmiştir :

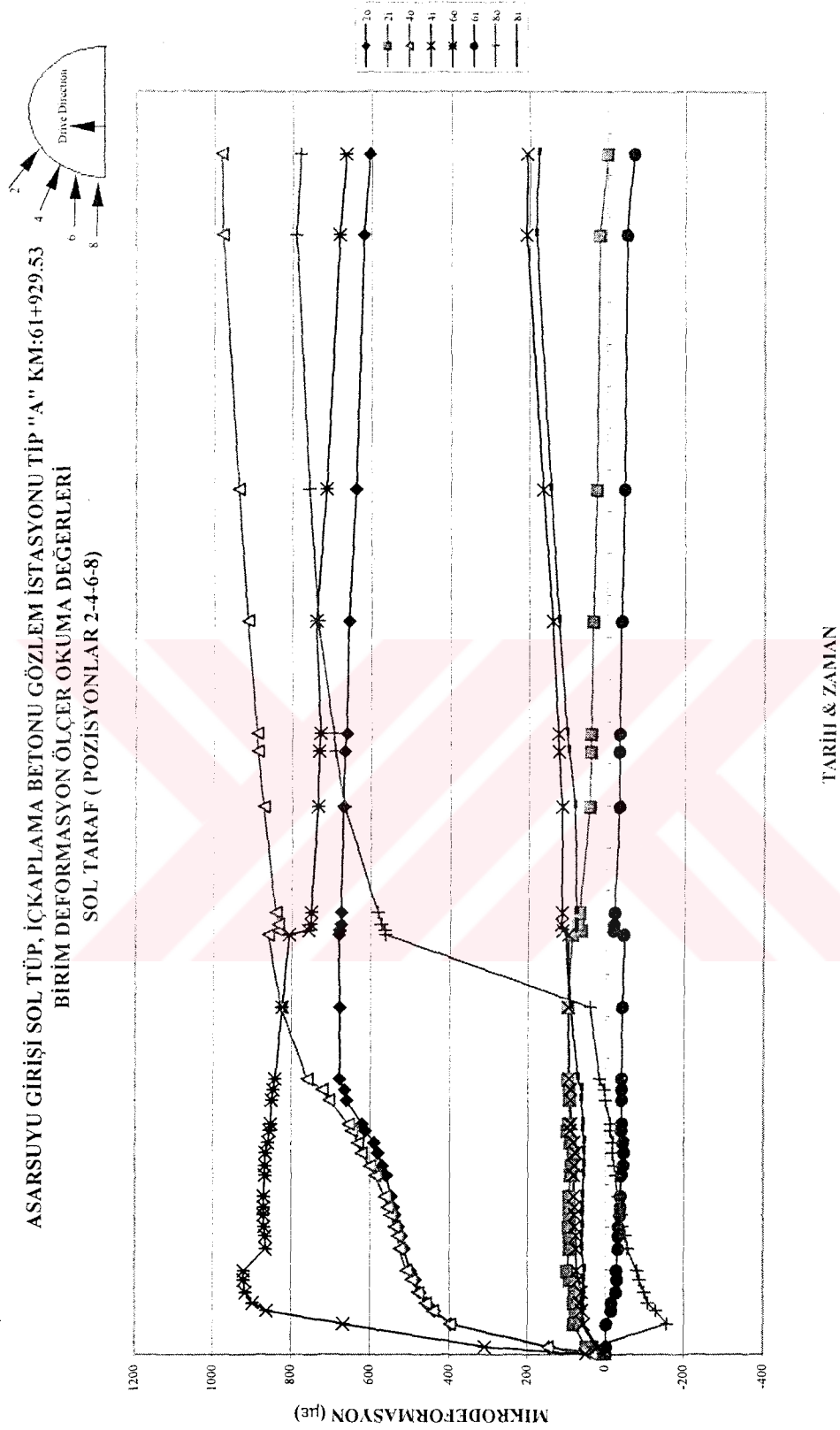
Metasedimentler : Yapılan testler sonucunda zemin sınıflaması SC (USCS'ye göre) olup, fay zonlarında CH - CL olarak değişmektedir. Metasedimentlerin; ortalama özgül ağırlığı; 2.65 gr/cm³, ortalama birim ağırlığı; 2.22 gr/cm³, ortalama su içeriği, %9.8 olup, minimum %1.8 maksimum %25.30'dur. Likit limit ortalama %30.9,



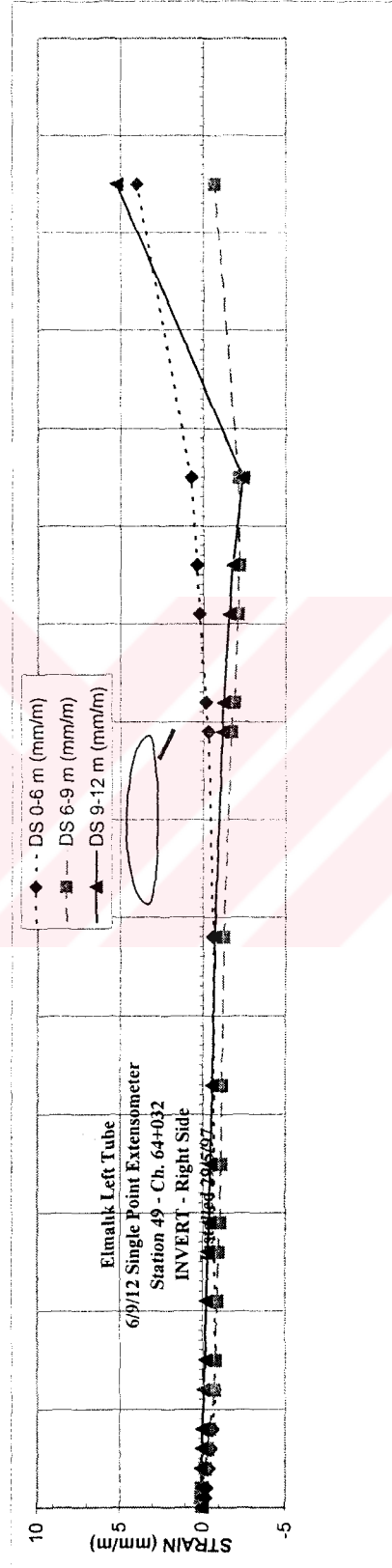
Şekil 3.56. Bolu Tünellerinde yerleştirilen jeoteknik aletlerin okuma üniteleri.



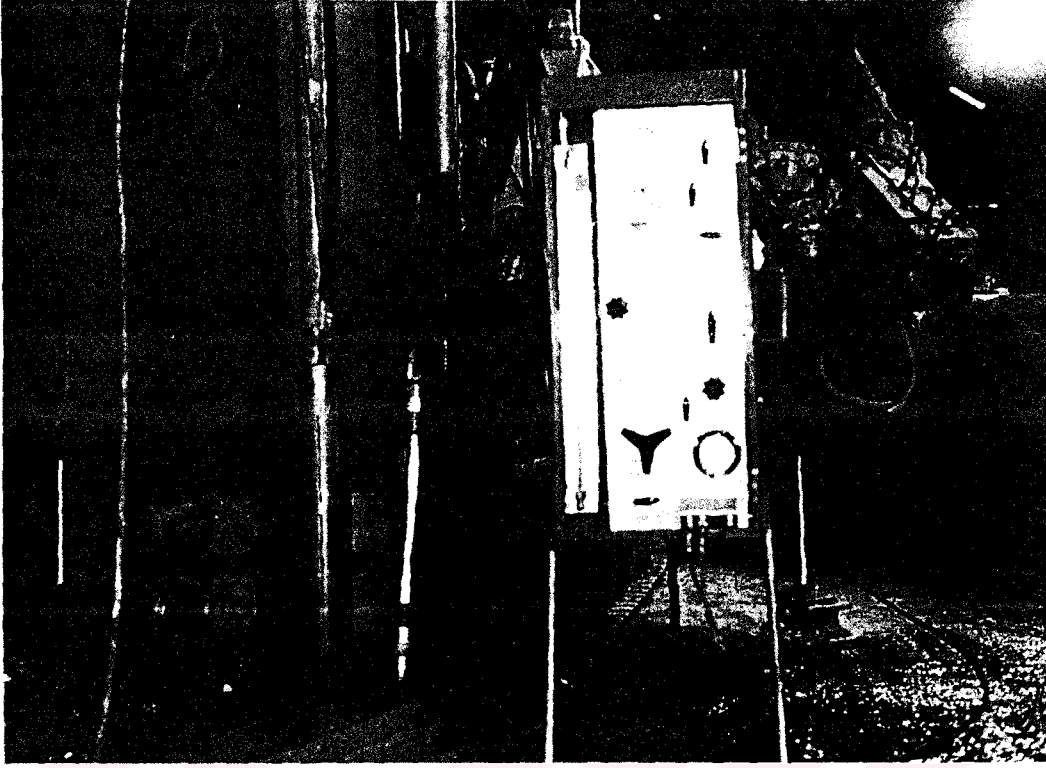
Şekil 3.57. Bolu Tünellerinde yerleştirilen jeoteknik aletlerin okuma üniteleri.



Şekil 3.58. Bolu tünellerinde iç kaplama betonuna yerleştirilen birim deformasyon ölçer aletinden alınan ölçüm sonuçları.



Şekil 3.59. Tekli kuyu ekstansometrelerinden alınan ölçüm değerleri.



Şekil 3.60. Pilot tünelde uygulanan pressiometre testi.

Tablo 3.7. Bolu tünellerinde blok,fay kili ve bozuşmamış numuneler üzerinde yapılan laboratuvar test sonuçları.

Örnek no	Kilometre	Sondaj	Tip	Lokasyon	Tanımlama	Litolojik birim	Zemin sınıflaması	Örgül ağı (gr./cm ³)	Birim ağı (gr./cm ³)	Su içeriği (%)	Atterberg limitleri			Elek. analizi		
											W _L	W _p	PI	< 2	< 0.075	< 0.002
ERT 177 4.0 - 4.5	54 + 207.3	ERT 177	karot	fay kili	Metakristalin Tem.	SC		2.772		%20.20	37.5%	%20.30	17.2	%75.10	%37.00	4.0%
ERT 177 7.5 - 8.0	54 + 203.8	ERT 177	karot	fay kili	Metakristalin Tem.	SC		2.745		10.8%	36.4%	19.8%	16.6	%32.50	8.3%	0.0%
RN 187	54 + 200.2		blok	fay kili	Metakristalin Tem.	SC			2.13	%16.80	%40.70	%24.00	16.7	77.6%	%43.30	%60.00
ERT 177 14.0 - 14.5	54 + 197.3	ERT 177	karot	fay kili	Metakristalin Tem.	SC		2.79		%14.90	33.0%	17.8%	15.2	79.0%	%40.00	
ERT 177 18.5 - 19.0	54 + 192.8	ERT 177	karot	fay kili	Metakristalin Tem.	SC		2.763		%19.50	%29.10	%16.20	12.9	79.0%	32.9%	0.0%
ANO 223/C	54 + 190		blok		Metakristalin Tem.				2.109	%17.10						
ERT 199	54 + 188		blok	fay kili	Metakristalin Tem.	MH / OH				%49.00	%49.90	19.5	99.5%	%85.40	%66	
ERT 177 25.0 - 25.5	54 + 186.3	ERT 177	karot	fay kili	Metakristalin Tem.	CL		2.731		%13.70	%34.00	%17.60	16.4	89.9%	58.3%	5.0%
ERT 202	54 + 185		blok	fay kili	Metakristalin Tem.											
RN 202	54 + 184.75		blok	fay kili	Metakristalin Tem.	ML / OL					%39.90	%26.10	13.8	%90	%56.20	%4
ERT 177 34.5 - 35.0	54 + 176.8	ERT 177	karot	fay kili	Metakristalin Tem.	SC		2.658		%17.10	%30.90	%16.60	14.3	%68.00	%30.70	0.0%
ERT 177 45.2 - 45.5	54 + 166.1	ERT 177	karot	fay kili	Metakristalin Tem.	CH		2.57		%25.80	%55.70	%28.30	27.4	89.4%	57.9%	21.0%
ERT 177 45.6 - 45.8	54 + 165.7	ERT 177	karot	fay kili	Metakristalin Tem.	CL		2.666		%18.60	%45.00	%17.10	27.9	%83.60	%55.60	%18.00
ERT 177 48.7 - 48.9	54 + 162.6	ERT 177	karot	fay kili	Metakristalin Tem.	SC		2.607		%21.90	%46.80	%20.80	26	%76.00	%38.20	%67.00
ERT 177 52.0 - 52.3	54 + 160.3	ERT 177	karot	fay kili	Metakristalin Tem.	CL		2.725		%18.50	%44.60	%18.60	26.00	93.5%	62.6%	15.0%
ERT 177 57.0 - 57.3	54 + 154.3	ERT 177	karot	fay kili	Metakristalin Tem.	CL		2.672		%26.90	%48.00	%24.30	23.70	87.3%	58.2%	18.0%
ERT 177 57.0 - 57.3	54 + 154.3	ERT 177	karot	fay kili	Metakristalin Tem.	SC		2.666		%20.00	%46.70	%22.80	23.90	79.5%	47.4%	13.0%
ERT 177 58.3 - 59.0	54 + 153	ERT 177	karot	fay kili	Metakristalin Tem.	SC		2.748		%19.80	%42.70	%23.80	18.90	74.2%	38.4%	6.0%
ERT 177 61.0 - 61.3	54 + 150.3	ERT 177	karot	fay kili	Metakristalin Tem.	SC		2.710		%25.80	%78.10	%38.40	53.00	99.4%	93.6%	51.0%
ERT 177 66.0 - 66.3	54 + 145.3	ERT 177	karot	fay kili	Metakristalin Tem.	SC		2.699		%19.00	%31.40	%23.00	11.40	90.8%	44.9%	0.0%
ERT 243/B 4.0 - 4.2	54 + 140.9	ERT 243/B	karot	fay kili	Ana fay zonu	MH / OH		2.680		%28.60	%91.40	%38.40	39.7	%95.00	75.9%	%63.9
ERT 243/B 5.0 - 5.2	54 + 140.0	ERT 243/B	karot	fay kili	Ana fay zonu	CH		2.755		%32.40	%87.60	%38.10	49.50	98.3%	90.3%	-
ERT 243/C 5.5 - 6.1	54 + 138	ERT 243/C	karot	fay kili	Ana fay zonu	CH		2.669		%28.60	%89.70	%37.20	52.50	99.6%	91.7%	42.0%
ERT 177 74.0 - 74.5	54 + 137.3	ERT 177	karot	fay kili	Ana fay zonu	SC		2.694		%23.50	%33.70	%19.10	14.6	%85.70	44.6%	0.0%
ERT 243 6.7 - 7.0	54 + 136.5	ERT 243	karot	fay kili	Ana fay zonu	CH		2.501	1.924	%33.00	%91.00	%24.00	10.7			
ERT 243 7.0 - 8.5	54 + 135.2	ERT 243	karot	fay kili	Ana fay zonu	MH / OH		1.919		%32.40	%69.30	%41.70	56.6			
ERT 243 8.0 - 8.4	54 + 135.2	ERT 243	karot	fay kili	Ana fay zonu	CH		2.416	2.155			%18.00	37.0			
ERT 243 8.5 - 9.0	54 + 134.65	ERT 243	karot	fay kili	Ana fay zonu	CH			1.929	%32.00	97.0%	27.0%	70.0			%69
ERT 243/C 9.2 - 9.8	54 + 134.5	ERT 243/C	karot	fay kili	Ana fay zonu	CH		2.740		%23.40	70.4%	%31.80	38.6	96.8%	%81.50	%60
ERT 177 77.3 - 77.5	54 + 134	ERT 177	karot	fay kili	Ana fay zonu	OH		2.764		%16.40	35.4%	18.7%	16.7	95.2%	55.7%	%60
ERT 243 9.5 - 10.0	54 + 133.7	ERT 243	karot	fay kili	Ana fay zonu	OH		2.740	2.11	%30.30	87.0%	35.5%	51.5			
ERT 177 79.5 - 79.8	54 + 131.8	ERT 177	karot	fay kili	Ana fay zonu	MH / OH		2.698		%47.80	%87.50	%40.10	47.4	%69.80	%82.50	%36
ERT 243/C 12.0 - 12.5	54 + 127.5	ERT 243/C	karot	fay kili	Ana fay zonu	CH		2.586		%24.50	%74.40	%63.00	41.4	%69.70	%85.10	%37
ERT 243/C 16.5 - 17.0	54 + 127.5	ERT 243/C	karot	fay kili	Ana fay zonu	CH		2.748		%25.00	%70.50	%63.20	37.3	%69.50	%85.20	%31
ERT 177 84.0 - 84.3	54 + 127.3	ERT 177	karot	fay kili	Ana fay zonu	MH / OH		2.551		%33.30	%96.90	%49.30	47.6	%69.90	%62.90	%41
ERT 177 86.0 - 86.3	54 + 125.3	ERT 177	karot	fay kili	Ana fay zonu	MH / OH		2.57		%35.40	%85.50	%44.20	41.3	%69.20	%62.70	%51
ERT 177 86.0 - 86.3	54 + 125.3	ERT 177	karot	fay kili	Ana fay zonu	MH / OH		2.553		%34.20	%103.90	%46.00	57.9	%69.80	%95.40	%57
ERT 177 87.0 - 87.3	54 + 124.3	ERT 177	karot	fay kili	Ana fay zonu	MH / OH		2.696		%32.40	%72.70	%32.20	40.5	%94.50	%82.50	%40
ERT 177 88.5 - 89.0	54 + 122.8	ERT 177	karot	fay kili	Ana fay zonu	CH		2.73		%19.70	%46.40	%24.90	21.5	%87.30	%64.30	%12
ERT 177 91.5 - 91.7	54 + 119.8	ERT 177	karot	fay kili	Ana fay zonu	SC		2.744		%19.20	%53.00	%24.10	28.9	%69.50	%88.70	39.5%
ERT 177 100.0 - 100.3	54 + 111.3	ERT 177	karot	fay kili	Ana fay zonu	CL		2.723		%12.40	%30.80	%19.20	11.6			
ERT 177 101.0 - 101.2	54 + 110.3	ERT 177	karot	fay kili	Ana fay zonu	CL		2.744		%19.20	%53.00	%24.10	28.9	%69.50	%88.70	39.5%
ERT R 36/A	54 + 099.5		blok	fay kili	Ana fay zonu	MH / OH		2.548		%29.40	%95.40	%41.70	53.7	%69.90	%85.20	%55
ERT R 36/B	54 + 099.5		blok	fay kili	Ana fay zonu	CH		2.666		%20.80	%67.30	%42.40	34.9	%69.90	%86.90	%32
ERT R 36/C	54 + 099.5		blok	fay kili	Ana fay zonu	CL		2.655		%15.70	%48.10	%25.50	23.1	%69.80	%73.10	%15
ERT R 36 1.5 - 2.0	54 + 098.9	ERT R 36	karot	fay kili	Ana fay zonu	CH		2.531	1.947	%21.00	%71.00	%23.00	48	%86.60	%50.70	%13
ERT 338 10.30 - 10.80	54 + 030.9	ERT 338	karot	ezilmiş kava	Metakristalin Tem.	CH		2.559	2.235	%53.70	%24.90	%23.00	28.8			
ERT 338 11.40 - 11.80	54 + 029.80	ERT 338	karot	ezilmiş kava	Metakristalin Tem.	SC			2.097	%18.20	%42.60	%23.60	19			

Tablo 3.7.(Devam)Bolu tünellerinde blok,fay kili ve bozuşmamış numuneler üzerinde yapılan laboratuvar test sonuçları.

Örnek No	Kilometre	Sondaj	Tip	Lohas.	Tanımlama	Litolojik birim	Zemin sınıflandırması	Özg. ağı. (gr./cm3)	Bir. ağı. (gr./cm3)	Atterberg limitleri				Elek. Analizi	
										Su iç. (%)	WL (%)	WP (%)	PI (%)	<2 (%)	<0.002 (%)
RN-171	64 + 313.1	blok			fay kili	Fliş serisi	CL	2.729		29.20	63.8	61.9	18.6	86.00	0.002
RN-201	64 + 281.8	blok			fay kili	Metakrist. Tem	MH / OH	2.825		23.80	62.3	60.0	48.4	89.00	0.18
RN-201/A	64 + 281.8	blok			fay kili	Metakrist. Tem	SC	2.862		27.30	62.3	60.0	43	89.00	0.21
229 B	64 + 275			laban	fay kili	Metakrist. Tem	MH / OH	2.471		27.30	62.3	60.0	43	89.00	0.24
RN-288	64 + 192				fay kili	Ana fay zonu	MH / OH	2.471		27.30	62.3	60.0	43	89.00	0.18
EP3 2.0 - 2.3	63 + 189.20	EP3	karot		fay kili	Ana fay zonu	CH	2.74	2.02	22.60	62.0	62.9	40.5	88	0.00
EP3 2.3 - 2.7	63 + 189.20	EP3	karot		fay kili	Ana fay zonu	CH	2.73	2	22.5	62.0	62.6	26.7	89	0.00
EP3 3.2 - 3.7	63 + 189.20	EP3	karot		fay kili	Ana fay zonu	CH	2.73	1.98	22.7	62.1	62.6	44.3	89	0.00
EP3 3.9 - 4.4	63 + 189.20	EP3	karot		fay kili	Ana fay zonu	CH	2.72	2.02	22.4	62.3	62.7	46.8	89	0.00
EP3 4.70-5.50	63 + 189.20	EP3	karot		fay kili	Ana fay zonu	CH	2.722		22.7	62.3	62.7	43.9	89	0.00
EP3 8.0-9.0	63 + 189.20	EP3	karot		fay kili	Ana fay zonu	CH	2.738		19.30	62.5	62.5	39.8	88	0.00
EP3 8.0 - 9.0	63 + 189.20	EP3	karot		fay kili	Ana fay zonu	CH	2.68	1.872	22.6	62.3	62.7	51.5	89	0.00
EP3 11.10-11.60	63 + 189.20	EP3	karot		fay kili	Ana fay zonu	CH	2.683		23.4	62.3	62.7	51.5	89	0.00
EP3 12.55-13.00	63 + 189.20	EP3	karot		fay kili	Ana fay zonu	CH	2.482		23.1	62.6	63.2	54.1	89	0.00
EP3 17.8 - 18.30	63 + 189.20	EP3	karot		fay kili	Metakrist. Tem	CH	2.68		22.0	62.0	63.2	52	89	0.00
EP2 1.25 - 5.60	64 + 179.48	EP2	karot		fay kili	Metakrist. Tem	CL	2.622	2.175	12.7	62.7	62.2	15	88	0.00
EP2 10.75-11.80	64 + 179.48	EP2	karot		fay kili	Metakrist. Tem	CH	2.66	2.01	24.1	62.5	62.5	30	89	0.00
EP2 12.40 - 13.10	64 + 179.48	EP2	karot		fay kili	Metakrist. Tem	CH	2.665	2.087	20.7	62.1	62.4	37.1	89	0.00
ELT 303	64 + 176.20		blok		fay kili	Ana fay zonu	MH / OH	2.58	2.17	20.7	62.1	62.0	31	89	0.00
ELT 303 / A	64 + 176.20		blok		fay kili	Ana fay zonu	CH	2.439		23.2	62.7	62.0	57.8	89	0.00
ELT 278 30.0	64 + 175.1	ELT 278	karot		fay kili	Ana fay zonu	MH / OH	2.55	2.03		62.0	63.5	42.6	89	0.00
ELT 278 30.20	64 + 174.9	ELT 278	karot		fay kili	Ana fay zonu	MH / OH	2.578		23.1	62.4	64.1	52.9	89	0.00
ELT 301 9.0	64 + 170.7	ELT 301	karot		fay kili	Ana fay zonu	CH	2.523		23.0	62.6	63.8	57.7	89	0.00
ELT 311	64 + 168.2		blok		fay kili	Ana fay zonu	MH / OH	2.633		23.0	62.1	64.3	48.4	89	0.00
EP1 4.40 - 4.70	64 + 168	EP1	karot		fay kili	Metakrist. Tem	CH	2.66		23.2	62.2	64.9	48.3		
EP1 10.85 - 11.75	64 + 168	EP1	karot		exlinis kaya	Metakrist. Tem	CL - CH	2.72	2.13	22.9	62.1	64.9	21.5		
EP1 15.56 - 17.21	64 + 168	EP1	karot		exlinis kaya	Metakrist. Tem	CL	2.66	2.19	15.4	62.7	63.5	21.5		
ELT 301 18.5	64 + 161.20	ELT 301	karot		fay kili	Metakrist. Tem	MH / OH	2.492		25.7	62.8	63.8	46.7		
ELT 330	64 + 148.9		blok		fay kili	Metakrist. Tem	MH / OH	2.788		25.7	62.8	63.8	39.5	89	0.00
ELT 331	64 + 147.80		blok		fay kili	Metakrist. Tem	SC	2.75		23.6	62.9	62.2	14	89	0.00
ELT 339	64 + 139		blok		fay kili	Metakrist. Tem	OH	2.51	2	24.8	62.7	63.5	42		
ELT 339	64 + 139		blok		fay kili	Metakrist. Tem	MH / OH	2.62		23.9	62.8	63.3	35.1	89	0.00
ELT 389	64 + 089.30		blok		fay kili	Ana fay zonu	CH	2.668		23.9	62.8	63.3	35.1	89	0.00
ELT 369 22.70 - 23.00	64 + 088.1	ELT 369	karot		fay kili	Ana fay zonu	CH	2.644		23.9	62.8	63.3	35.1	89	0.00
ELT 369 31.80 - 31.95	64 + 079	ELT 369	karot		fay kili	Metakrist. Tem	CH	2.644		23.9	62.8	63.3	35.1	89	0.00
ELT 429 3.7 - 4.0	64 + 045.45	ELT 429	karot		fay kili	Fliş serisi	CL	2.692			62.6	62.4	32.6	89	0.00
EP5 2.8 - 4.05	64 + 044	EP5	karot		fay kili	Metakrist. Tem	SC/CL	2.73	2.22	12.2	62.0	62.1	26.4	89	0.00
EP5 12.45 - 12.9	64 + 044	EP5	karot		fay kili	Ana fay zonu	CH	2.53		20	62.0	61.8	21.1	89	0.00
EP5 13.9 - 14.4	64 + 044	EP5	karot		fay kili	Ana fay zonu	CH	2.53		20	62.0	61.9	37	89	0.00
EP5 21.6 - 22.05	64 + 044	EP5	karot		fay kili	Ana fay zonu	MH / OH	2.75	1.89	39.7	62.6	63.8	47.1	89	0.00
EP5 23.10 - 23.75	64 + 044	EP5	karot		fay kili	Ana fay zonu	CH	2.43			62.3	63.1	52	89	0.00
EP5 24.1 - 24.5	64 + 044	EP5	karot		fay kili	Ana fay zonu	CH	2.43			62.3	63.1	52	89	0.00
ELT 435 A	64 + 042.50		blok		fay kili	Fliş serisi	MH / OH	2.533		27.2	62.0	64.1	46.8	89	0.00
ELT 435 B	64 + 042.50		blok		fay kili	Fliş serisi	MH / OH	2.533		27.2	62.0	64.1	46.8	89	0.00
ELT 429 7.3 - 8.0	64 + 041.65	ELT 429	karot		fay kili	Fliş serisi	MH / OH	2.607		18.9	62.8	64.7	40.6	89	0.00
ELT 429 9.7 - 10.0	64 + 039.45	ELT 429	karot		fay kili	Fliş serisi	CL	2.661			62.5	63.5	17.4	89	0.00
ELT 429 12.8 - 13.1	64 + 036.35	ELT 429	karot		fay kili	Fliş serisi	CH	2.675			62.6	62.6	29.5	89	0.00

Tablo 3.7.(Devam)Bolu tünellerinde blok,fay kili ve bozuşmamış numuneler üzerinde yapılan laboratuvar test sonuçları.

Örnek no	Kilometre	Sondaj	Tip	Lokasyon	Tanımlama	Litolojik birim	Zemin sınıfı	Özgül ağırlık (gr./cm ³)	Birim ağırlık (gr./cm ³)	Su içeriği (%)	Atterberg limitleri			Etk analiz		
											Wl	Wp	PI	< 2 (%)	< 0.075 (%)	< 0.002 (%)
ERT 338 11.80 - 12.20	54 + 029	ERT 338	karot		ezilmiş kaya	Metakristalin Tem.	SC		2.123	%15.90	%42.60	%23.60	19			
ERT 338 14.20 - 14.60	54 + 027	ERT 338	karot		ezilmiş kaya	Metakristalin Tem.	SC		2.057	%20.10	%47.00	%26.00	21	%92.70	%42.60	%64
EPI13 3.4 - 3.8	53 + 877.85	EPI13	karot		fay kili	Fliş sensisi	CL	2.7	1.949	%24.00	%41.00	%19.00	21	97.0%	86.0%	%55
EPI13 4.15 - 4.5	53 + 877.85	EPI13	karot		fay kili	Fliş sensisi	CL/CH	2.72	2.1	%18.50	%45.80	%20.90	24.9	%98.70	%88.00	%37
EPI13 4.90-5.50	53 + 877.85	EPI13	karot		fay kili	Fliş sensisi	CL/CH	2.72	2.11	%19.50	%46.80	%21.40	25.4	%94.00	%85.00	%39
EPI13 7.7 - 8.10	53 + 877.85	EPI13	karot		fay kili	Fliş sensisi	CL	2.69		%20.00	%42.00	%18.00	24	99.0%	89.0%	%60
EPI13 8.8 - 9.1	53 + 877.85	EPI13	karot		fay kili	Fliş sensisi	CL	2.69		%20.00	%42.00	%18.00	24	99.0%	89.0%	%60
EPI13 15.00-15.30	53 + 877.85	EPI13	karot		fay kili	Fliş sensisi	CL	2.73	2.07	%19.20	%40.30	%18.40	21.9	%73.30	%79.20	%19
ERT A/64	53+807.4		blok		fay kili	Fliş sensisi	CH	2.632		%18.40	%63.40	%28.30	35.1	%99.10	%93.60	%32
ERT A/78 9.2 - 9.6	53 + 782.85	ERT A/78	karot		fay kili	Fliş sensisi	CL	2.704	2.175	%16.20	%36.80	%19.20	17.6	%99.50	%74.00	%21
ERT A/77 10.90 - 11.80	53 + 781.15	ERT A/77	karot		fay kili	Fliş sensisi	CH	2.677	2.165	%17.00	%53.20	%24.10	29.1	%97.80	%85.40	36.5%
ERT A/78 14.5 - 14.8	53 + 777.65	ERT A/78	karot		fay kili	Fliş sensisi	CL	2.698		%15.90	%46.80	%21.30	25.3	%98.80	%88.10	%37
ERT A/78 24.2 - 24.6	53 + 767.85	ERT A/78	karot		fay kili	Fliş sensisi	CL	2.712		%18.80	%49.90	%22.30	27.6	%97.50	%86.50	%38
ERT A/77 25.20 - 25.60	53 + 767.82	ERT A/77	karot		fay kili	Fliş sensisi	CL	2.696	2.164	%17.30	%46.90	%22.30	24.6	%97.90	%86.30	%39
ERT A/78 31.3 - 31.6	53 + 760.85	ERT A/78	karot		fay kili	Fliş sensisi	CL	2.711	2.203	%16.20	%42.40	%17.70	24.7	%98.80	%87.70	%33
ERT A/78 36.3 - 36.6	53 + 755.85	ERT A/78	karot		fay kili	Fliş sensisi	CL	2.719	2.122	%23.30	%47.40	%21.30	26.1	%96.60	%80.40	%32
ERT A/77 38.70 - 39.10	53 + 754.78	ERT A/77	karot		fay kili	Fliş sensisi	CH	2.708	2.22	%14.80	%50.70	%22.50	28.2			
ERT A/78 43.4 - 43.7	53 + 748.75	ERT A/78	karot		fay kili	Fliş sensisi	CL	2.647	2.163	%18.50	%47.80	%19.10	28.7	%98.90	%82.80	%31
ERT A/78 44.4 - 44.7	53 + 747.75	ERT A/78	karot		fay kili	Fliş sensisi	CL	2.644	2.221	%17.60	%43.70	%20.90	22.8	%98.20	%73.80	%27
ERT A/78 49.0 - 49.4	53 + 743.05	ERT A/78	karot		fay kili	Fliş sensisi	CL	2.652	2.181	%17.30	%47.20	%22.10	25.1	%99.50	%92.20	%39
ERT A/78 50.6 - 51.2	53 + 741.25	ERT A/78	karot		fay kili	Fliş sensisi	CH	2.672	2.146	%19.50	%39.20	%26.40	32.8	%98.60	%92.00	%46
ERT A/78 53.0 - 53.4	53 + 739.05	ERT A/78	karot		fay kili	Fliş sensisi	CL	2.687	2.161	%17.10	%49.40	%23.00	26.4	%98.10	%89.70	%35
ERT 338 10.30 - 10.80	54 + 030.9	ERT 338	karot		ezilmiş kaya	Metakristalin Tem.	CH	2.559	2.235	%14.70	%53.70	%24.90	28.8	%86.60	%50.70	%13
ERT 338 11.40 - 11.80	54 + 029.80	ERT 338	karot		ezilmiş kaya	Metakristalin Tem.	SC		2.097	%18.20	%42.60	%23.60	19			
ERT 338 11.80 - 12.20	54 + 029	ERT 338	karot		ezilmiş kaya	Metakristalin Tem.	SC		2.123	%15.90	%42.60	%23.60	19			
ERT 338 14.20 - 14.60	54 + 027	ERT 338	karot		ezilmiş kaya	Metakristalin Tem.	SC		2.057	%20.10	%47.00	%26.00	21	%92.70	%42.60	%64
ART 484	52 + 002.15		blok	blok	kil	Metasedimentler	CH	2.775		%19.70	%63.20	%29.40	33.8	%98.50	%85.00	%36
ART 497	52 + 014.45		blok	blok	kil	Metasedimentler	CL	2.768		%19.70	%68.20	%22.50	25.7	%98.00	%83.50	%13
ART 498	52 + 015.65		blok	blok	sandy - clay	Metasedimentler	SC	2.765		%8.30	%28.40	%14.00	14.4	%58.00	%31.50	%9
ART 500	52 + 016.75		blok	blok	kil	Metasedimentler	CL	2.741		%18.10	%49.90	%23.80	26.1	%96.50	%80.50	%14
ART 540	52 + 037.50		blok	blok	kumlu kil	Metakristalin Tem.	SC	2.759		%8.40	%26.70	%13.80	12.9	%85.60	%43.40	%2
ART R1	52 + 039.10		blok	blok	fay kili	Metakristalin Tem.	CL	2.671		%25.30	%48.60	%22.90	25.7	%89.10	%76.80	%22
ART R4	52 + 061.30		blok	blok	siltli kil	Metakristalin Tem.	CL	2.715		%13.60	%42.30	%19.70	22.6	%96.40	%77.30	%21
ART 532 32.4 - 32.5	52 + 081.95	ART 532	karot	karot	kumlu kil	Metasedimentler	SC	2.726		%14.60	%34.50	%16.20	18.3	%84.10	%67.10	%66
ART 567	52 + 084.00		blok	blok	kil	Metasedimentler	CH	2.71		%14.80	%68.60	%24.50	44.1	%93.00	%76.70	%39
ART 568	52 + 085.20		blok	blok	kil	Metasedimentler	CL	2.725	2.331	%9.70	%30.70	%15.90	14.8	%91.10	%65.40	%20
ART 569	52 + 086.30		blok	blok	kil	Metasedimentler	CH	2.551		%24.40	%120.50	%43.70	76.8	%98.70	%90.10	%46
ART 532/A 47.2 - 47.4	52 + 096.75	ART 532/A	karot	karot	kil	Metakristalin Tem.	CL	2.792		%13.60	%37.60	%17.60	20	%94.70	%68.10	%12
ART 680	52 + 294.50		blok	blok	fay kili	Metasedimentler	SC	2.781		%9.00	%26.00	%13.10	12.9	%82.20	%69.30	%15
ART 734	52 + 352.10		blok	blok	fay kili	Metasedimentler	SC	2.773		%11.00	%25.00	%11.50	13.5	%78.50	%64.10	%8
ART 1	52+391.00		blok	blok	fay kili	Metasedimentler	SC	2.788		%7.20	%22.80	%12.10	10.7	%85.20	%46.30	%13
ART 2/A	52 + 426.40		blok	blok	Metasedimentler	SC	2.775		%8.10	%23.30	%11.70	11.6	%69.30	%38.70	%6	
ART 2/B	52 + 426.40		blok	blok	fay kili	Metasedimentler	SC	2.775		%7.40	%23.30	%11.70	11.6	%69.30	%38.70	%6
ART 925	52 + 594.20		blok	blok	fay kili	Metasedimentler	SC	2.818		%5.50	%27.30	%11.90	15.40	%69.30	%44.50	%12

Tablo 3.7.(Devam)Bolu tünellerinde blok,fay kili ve bozuşmamış numuneler üzerinde yapılan laboratuvar test sonuçları.

Örnek No	Kilometre	Sondaj	Tip	Lokas.	Taamlama	Litolojik birim	Zemin anlaması	Org.ç. (gr/cm ³)	Bir.ç. (gr/cm ³)	Su iç. (%)	Wl (%)	WP (%)	PI	<2 (%)	<0.075 (%)	<0.002 (%)
EP11 190 - 19-4	63 + 843.9	EP11	karot		fay kili	Flig serisi	MH / OH	2.7	1.91	30.9	%75.10	%28.10	40	%99.20	%89.30	%4
ELT 591 33.2 - 33.4	63 + 843.9	ELT 591	karot		fay kili	Flig serisi	CH	2.579			%43.50	%19.90	23.6			
ELT 628 47.5 - 47.77	63 + 838	ELT 628	karot		fay kili	Flig serisi	CL	2.691			%40.50	%20.20	29.3			
ELT 628 52.1 - 52.8	63+833	ELT 628	karot		fay kili	Flig serisi	CL	2.605			%43.50	%20.20	29.3			
ELT 637 1.00-1.30	63+825	ELT 637	karot		fay kili	Flig serisi	CH	2.461			%74.20	%24.20	20			
ELT 638 0.45-0.70	63+824.6	ELT 638	karot		fay kili	Flig serisi	MH / OH	2.609			%58.00	%23.80	26			
ELT 637 2.45-2.65	63+824.2	ELT 637	karot		fay kili	Flig serisi	MH / OH	2.655			%58.00	%23.80	26			
ELT 638 3.70-4.00	63+823.6	ELT 638	karot		fay kili	Flig serisi	CH	2.535			%71.90	%33.60	44.3			
ELT 638 4.40-4.60	63+823.5	ELT 638	karot		fay kili	Flig serisi	CH	2.649			%71.90	%33.60	44.3			
ELT 637 4.20-4.45	63+823.2	ELT 637	karot		fay kili	Flig serisi	MH / OH	2.608			%50.90	%29.90	51			
ELT 638 6.40-6.60	63+822.9	ELT 638	karot		fay kili	Flig serisi	CH	2.624			%56.60	%24.40	37.2			
ELT 637 7.30-7.50	63+822.9	ELT 637	karot		fay kili	Flig serisi	MH / OH	2.634			%87.20	%41.00	46.2			
ELT 637 5.30-5.60	63+822.6	ELT 637	karot		fay kili	Flig serisi	CH	2.589			%73.70	%27.50	46.2			
ELT 638 8.85-9.00	63+822.2	ELT 638	karot		fay kili	Flig serisi	CH	2.562			%73.70	%27.50	46.2			
ELT 638 9.40-9.70	63+822.2	ELT 638	karot		fay kili	Flig serisi	CL	2.663			%35.10	%19.00	16.1			
ELT 637 8.5-8.75	63+820.8	ELT 637	karot		fay kili	Flig serisi	CL	2.68			%30.80	%17.70	13.1			
ELT 637 12.90-13.30	63+818.3	ELT 637	karot		fay kili	Flig serisi	CH	2.604			%90.30	%33.60	56.7			
ELT 637 14.65-14.85	63+817.4	ELT 637	karot		fay kili	Flig serisi	CH	2.636			%58.90	%24.40	24.5			
ELT 645 4.00 - 4.50	63 + 815.85	ELT 645	karot		fay kili	Flig serisi	CH	2.685			%38.70	%20.40	18.3			
ELT 645 11.20 - 11.70	63 + 815.85	ELT 645	karot		fay kili	Flig serisi	CH	2.69			%68.40	%29.40	39			
ELT 637 11.8-18.00	63+815.7	ELT 637	karot		fay kili	Flig serisi	CH	2.621			%73.40	%22.60	47			
ELT 662/A 3.10-3.50	63+790.7	ELT 662/A	karot		fay kili	Flig serisi	CH	2.698			%47.60	%22.10	25.5			
ELT 667/1	63+787.55		blok		fay kili	Flig serisi	CH	2.542	2.001	27.7%	%92.60	%35.70	56.9			
ELT 667/2	63+787.55		blok		fay kili	Flig serisi	CH	2.547	2.047	26.8%	%80.80	%35.90	44.9			
ELT 662/A 9.00-9.30	63+785.2	ELT 662/A	karot		fay kili	Flig serisi	CH	2.616	1.996	30.7%	%90.30	%37.20	53.1			
ELT 662/A 13.00-13.20	63+781.4	ELT 662/A	karot		fay kili	Flig serisi	CH	2.677	2.179	21.1%	%57.70	%27.20	30.5			
ELT 662/A 34.6-35.00	63+760.2	ELT 662/A	karot		fay kili	Flig serisi	CH	2.687	2.264	18.1%	%53.30	%23.50	28.8			
ELT P6	63 + 777.45		blok		kumlu kil	Flig serisi	CH	2.678	1.995	24.8%	%90.6%	%31.90	58.7			
ELT P18	63 + 764.30		blok		kumlu kil	Flig serisi	CL	2.412	1.930	26.9%	%5.3%	%40.8%	54.5			
ELT P25	63 + 756.80		blok		kumlu kil	Flig serisi	CL	2.556	1.930	12.3%	%46.80	%22.40	24.4			
ELT P39	63 + 741.70		blok		kumlu kil	Flig serisi	SC	2.579	2.206	10.0%	%38.8%	%22.6%	16.2			
ELT P43	63 + 717.40		blok		fay kili	Flig serisi	MH / OH	2.342	1.894	%32.60	%80.70	%43.30	37.4			
ELT P67	63 + 710.80		blok		fay kili	Flig serisi	MH / OH	2.72	1.980	%23.10	%74.30	%40.60	33.7			
ELT P68/A	63 + 709.60		blok		fay kili	Flig serisi	MH / OH	2.809	1.952	%26.20	%77.30	%45.50	31.8			
ELT P68/B	63 + 709.60		blok		fay kili / breşi	Flig serisi	MH / OH	2.809	1.977	%24.20	%77.30	%45.50	31.8			
ELT P82/A	63 + 694.90		blok		fay kili	Flig serisi	MH / OH	2.633	1.896	%27.45	%8.4%	%42.9%	45.5			
ELT P82 / B	63 + 694.90		blok		fay kili	Flig serisi	MH / OH	2.633	1.896	%27.45	%8.4%	%42.9%	45.5			
ELT P109A	63 + 663.50		blok		kumlu kil	Flig serisi	SC	2.642			%41.40	%23.40	18			
ELT P109B	63 + 663.50		blok		kumlu kil	Flig serisi	SC	2.642			%41.40	%23.40	18			
ELT P126	63 + 663.70		blok		fay kili	Flig serisi	SC	2.68	1.808	%24.60	%56.30	%39.30	17			
ELT P146	63 + 621.40		blok		fay kili	Flig serisi	CH	2.538			%14.00	%21.00	43			
ELT P 163	63 + 599		blok		fay kili	Flig serisi	SC	2.514			%20.50	%37.20	27.10			
ELT P 176	63 + 591		blok		fay kili	Flig serisi	MH	2.670	1.880		%64.30	%37.00	32.00			
ELT P 176 0.00-5.00	63 + 592.30		karot		kumlu kil	Flig serisi	SC	2.418			%27.50	%69.00	%37.00	29.60		
ELT P 176 9.00-9.50	63 + 592.30		karot		kumlu kil	Flig serisi	SC	2.482			%14.90	%27.10	%47.30	85.8%		
ELT P 176 12.0 - 14.0	63 + 592.30		karot		kumlu kil	Flig serisi	SC	2.463			%20.50	%65.90	%46.40	19.50		
ELT P 176 20.90 - 22.0	63 + 592.30		karot		kumlu kil	Flig serisi	SC	2.457			%16.00	%65.90	%46.40	19.50		
ELT P 176 22.0 - 23.30	63 + 592.30		karot		kumlu kil	Flig serisi	SC	2.423			%22.70	%60.30	%38.10	22.20		
ELT P 176 26.25 - 27.0	63 + 592.30		karot		kumlu kil	Flig serisi	SC	2.438			%24.70	%73.60	%48.30	25.10		
ELT P184	63 + 584		blok		fay kili	Flig serisi	MH	2.537			%29.40	%48.30	30.30	97.2%		
ELT P 193	63 + 576.90		blok		fay kili	Flig serisi	CH	2.512	1.864		%24.80	%48.30	30.30	97.2%		
ELT P195	63 + 572.80		blok		fay kili	Flig serisi	CH	2.512			%32.80	%48.30	30.30	97.2%		
ELT P 212	63 + 555.55		blok		fay kili	Flig serisi	CH	2.670			%26.10	%102.80	%50.60	52.2		
ELT P 213	63 + 554.55		blok		fay kili	Flig serisi	MH	2.680	1.743		%28.40	%46.20	38.10	89.8%		

Tablo 3.7.(Devam)Bolu tünellerinde blok,fay kili ve bozuşmamış numuneler üzerinde yapılan laboratuvar test sonuçları.

Örnek No	Kilometre	Sondaj	Tip	Lokas.	Tanımlama	Litolojik birim	Zemin sınıflaması	Öz. ağı. (gr./cm ³)	Bir. ağı. (gr./cm ³)	Su ıçer. (%)	Wl (%)	WP (%)	PI	<2 (%)	<0.075 (%)	<0.002 (%)
EP6 5.5 - 5.9	64 + 035	EP6	karot		fay kili	Fliş serisi	CH	2.62								
EP6 9.55 - 10.30	64 + 035	EP6	karot		fay kili	Fliş serisi	CL	2.7	2.02	22.5	%77.00	%22.00	45	99.0%	89.0%	70.0%
EP6 10.3 - 10.7	64 + 035	EP6	karot		fay kili	Fliş serisi	CL	2.71	2.11	14	%82.80	%17.20	15.6	%92.00	%91.80	%83.0
ELT 429 18.6 - 19.0	64 + 30.55	ELT 429	karot		fay kili	Fliş serisi	CH	2.645			%74.10	%25.90	41.4	%97.40	%79.80	%82.2
ELT 429 23.0 - 25.3	64 + 24.15	ELT 429	karot		fay kili	Fliş serisi	CH	2.613			%55.50	%44.50	29.4	%95.00	%73.50	%83.50
ELT 456 9.4 - 9.6	64 + 011.80	ELT 456	karot		fay kili	Fliş serisi	CH	2.686			%70.70	%29.30	40.1	%99.00	%83.20	%83.00
ELT 456 17.6 - 17.8	64 + 003.60	ELT 456	karot		fay kili	Fliş serisi	CH	2.69			%75.40	%24.60	43.3	%99.10	%90.20	%89.00
ELT 456 23.5 - 23.6	63 + 997.80	ELT 456	karot		fay kili	Fliş serisi	CH	2.681			%70.20	%29.80	38.5	%98.40	%88.80	%88.00
ELT 456 25.4 - 25.5	63 + 996.40	ELT 456	karot		fay kili	Fliş serisi	CH	2.575			%71.60	%28.40	38	%98.80	%89.60	%89.50
ELT 488 0.6 - 0.9	63 + 987.75	ELT 488	karot		fay kili	Fliş serisi	CH	2.707			%49.10	%50.90	21.8	%97.40	%82.20	%84
ELT 488 9.0 - 9.2	63 + 979.35	ELT 488	karot		fay kili	Fliş serisi	CL	2.712			%45.40	%54.60	24.6	%99.30	%90.30	%83
ELT 488 15.2 - 15.5	63 + 973.15	ELT 488	karot		fay kili	Fliş serisi	CL	2.671			%47.90	%52.10	24.6	%98.20	%84	%87
ELT 488 21.7 - 22.0	63 + 966.65	ELT 488	karot		fay kili	Fliş serisi	CH	2.673			%48.20	%51.80	23.3	%99	%90	%84
ELT 488 27.6 - 27.8	63 + 960.75	ELT 488	karot		fay kili	Fliş serisi	CH	2.687			%51	%49.00	25.1	%98.80	%89.70	%83.50
ELT 542 12.5 - 12.7	63 + 918.7	ELT 542	karot		fay kili	Fliş serisi	CL	2.701			%46.30	%53.70	22.8	%94.10	%76	%82.50
ELT 542 15.3 - 15.6	63 + 915.9	ELT 542	karot		fay kili	Fliş serisi	CL	2.694			%49	%51.00	24.2	%98.20	%88.40	%80.50
ELT 542 18.4 - 18.6	63 + 912.8	ELT 542	karot		fay kili	Fliş serisi	CL	2.659			%48.60	%51.40	23.8	%97.90	%86.50	%83
ELT 542 22.0 - 22.2	63 + 909.2	ELT 542	karot		fay kili	Fliş serisi	CL	2.621			%48.20	%51.80	23.6	%99.00	%89.40	%83.9
ELT 563 2.3 - 2.5	63 + 904.7	ELT 563	karot		fay kili	Fliş serisi	CL	2.68			%45.40	%54.60	26.7	%94.70	%81.50	%83.6
ELT 563 6.0 - 6.2	63 + 901	ELT 563	karot		fay kili	Fliş serisi	CL	2.669			%46.90	%53.10	28.4	%97.40	%85.70	%83.8
ELT 563 11.3 - 11.5	63 + 895.7	ELT 563	karot		fay kili	Fliş serisi	CL	2.68			%47.10	%52.90	27.5	%96.30	%84.80	%83.50
ELT 563 16.0 - 16.2	63 + 891	ELT 563	karot		fay kili	Fliş serisi	CL	2.665			%47.90	%52.10	28.1	%96.20	%83.50	%83.80
ELT 563 25.7 - 26.0	63 + 881.3	ELT 563	karot		fay kili	Fliş serisi	CH	2.665			%51.40	%48.60	30.7	%98.80	%90	%83.50
ELT 587 A	63 + 880.4		blok		fay kili	Fliş serisi	CH	2.672	2.15	%17.60	%82.40	%17.60	25.3	%98.40	%89.40	%83.30
ELT 587 B	63 + 880.4		blok		fay kili	Fliş serisi	CH	2.665		%22.00	%78.00	%22.00	26.4	%98.10	%85.00	%82.7
ELT 587 C	63 + 880.4		blok		fay kili	Fliş serisi	CH	2.668	2.163	%16.90	%83.10	%16.90	24.7	%96.80	%88.30	%84.2
ELT 628 5.8 - 6.1	63 + 879.7	ELT 628	karot		fay kili	Fliş serisi	MH / OH	2.638			%80.50	%19.50	33			
ELT 628 13.1 - 13.5	63 + 872.3	ELT 628	karot		fay kili	Fliş serisi	SC	2.596			%51.10	%48.90	14.8			
ELT 628 15.0 - 15.35	63 + 870.45	ELT 628	karot		fay kili	Fliş serisi	SC	2.592			%50.60	%49.40	19			
ELT 628 18.15 - 18.35	63 + 867.5	ELT 628	karot		fay kili	Fliş serisi	SC	2.665			%48.70	%51.30	15.8			
ELT 628 19.5 - 20.0	63 + 865.8	ELT 628	karot		fay kili	Fliş serisi	CH	2.68			%68.80	%31.20	39.6			
ELT 591 12.5 - 12.7	63 + 864	ELT 591	karot		fay kili	Fliş serisi	CL	2.663			%46.80	%53.20	24.8	%99.20	%90.10	%83.6
ELT 628 25.3 - 26.0	63 + 859.8	ELT 628	karot		fay kili	Fliş serisi	CH	2.685			%56.60	%43.40	33.3			
ELT 611	63 + 853.9		blok		fay kili	Fliş serisi	CH	2.6			%81.20	%18.80	48.3			
ELT 591 24.3 - 24.5	63 + 852.2	ELT 591	karot		fay kili	Fliş serisi	CH	2.584			%86.00	%14.00	53.7	%98.90	%87.40	%84.7
EP12 6.60 - 7.15	63 + 849.80	EP12	karot		fay kili	Fliş serisi	CH	2.64	2	20.8	%63.00	%37.00	39.7	%98.30	%86.00	%84.4
EP12 9.50 - 10.10	63 + 849.80	EP12	karot		fay kili	Fliş serisi	CL	2.72	2.14	18.2	%42.20	%57.80	24.5	%90.10	%77.00	%82.1
EP12 12.70 - 13.10	63 + 849.80	EP12	karot		fay kili	Fliş serisi	CL	2.675	2.21	16.6	%43.80	%56.20	25.4	%81.90	%60.0%	%82.2
ELT 591 28.8 - 29.0	63 + 847.7	ELT 591	karot		fay kili	Fliş serisi	CH	2.604			%64.40	%35.60	35.6	%98.40	%87.00	%81.2
EP9 2.0 - 2.5	63 + 845.30	EP9	karot		fay kili	Fliş serisi	CH	2.65	2.02	23.2	%65.40	%34.60	39.5	%98.00	%82.10	%84.6
EP9 5.15 - 5.90	63 + 845.30	EP9	karot		fay kili	Fliş serisi	CH	2.68		%22	%75.00	%25.00	52	%97.00	%85.00	%84.6
EP9 6.0 - 6.6	63 + 845.30	EP9	karot		fay kili	Fliş serisi	CH	2.69		0.25	%55.00	%45.00	33	%95.00	%85.00	%87.1
EP9 7.00 - 7.50	63 + 845.30	EP9	karot		fay kili	Fliş serisi	CH	2.614	2.132	21.8	%53.50	%46.50	31.8	%94.60	%79.20	%83.5
EP9 10.4 - 10.9	63 + 845.30	EP9	karot		fay kili	Fliş serisi	CH	2.67	1.96	23.7	%67.70	%32.30	40.3	%97.60	%85.80	%84.4
EP9 16.5 - 16.95	63 + 845.3	EP9	karot		fay kili	Fliş serisi	CH	2.68		28	%74.00	%26.00	40.3	%94.00	%83.00	%85.1
EP11 5.4 - 5.94	63 + 845.9	EP11	karot		fay kili	Fliş serisi	CH	2.72	1.92	32	%69.20	%30.80	37.9	%99.00	%86.00	%85.3
EP11 16.2 - 16.45	63 + 843.9	EP11	karot		fay kili	Fliş serisi	CH	2.61	1.708	0.36	%76.00	%24.00	45	100.0%	88.0%	%88

Tablo 3.7.(Devam)Bolu tünellerinde blok,fay kili ve bozuşmamış numuneler üzerinde yapılan laboratuvar test sonuçları.

Örnek No	Kilometre	Sondaj	Tip	Lokaa.	Tanımlama	Litolojik birim	Zemin sınıfı	Öz. ağı. (gr./cm ³)	Bir. ağı. (gr./cm ³)	Su iç. (%)	Wl (%)	WP (%)	PI	<2 (%)	<0.075 (%)	<0.002 (%)
ELTP216	63 + 549.35		blok		fay kili	Fliş serisi	CH	2,434		%22.10	%60.80	%29.90	30.90	97.2%	73.7%	0.0%
ELTP221	63 + 546.70		blok		fay kili	Fliş serisi	MH	2,432	1,959	%21.40	50.0%	28.0%	22.0	%99.40	50.9%	0.0%
ELTP229	63 + 539.10		blok		fay kili	Fliş serisi	CH	2,720	1,803	%31.66	%69.00	%41.00	28.0	%100.00	%88	%4
ELTP231	63 + 537		blok		fay kili	Fliş serisi	CH	2,690		%19.70	%60.00	%30.00	30.0	%97.00	%66	%43
ELTP245	63 + 522.25		blok		fay kili	Fliş serisi	CH	2,358		%29.66	70.1%	31.9%	32.2	95.0%	66.0%	%6
ELTP252	63 + 514		blok		fay kili	Fliş serisi	MH	2,680	1,868	%29.66	70.1%	31.9%	32.2	95.0%	66.0%	%6
ELTP286	63 + 478.5		blok		fay kili	Fliş serisi	CH	2,423		%26.40	71.4%	32.8%	38.6	96.1%	75.1%	%11
ELTP306	63 + 458.0		blok		fay kili	Fliş serisi	MH	2,570		%25.60	76.0%	44.2%	31.8	98.6%	65.8%	5.5%
ALT377	61 + 926		blok		fay breşi	Metakris. Tem.	SM	1,873		%9.30				51.8%	16.2%	%40
A 3 8.00	61 + 931.0	A 3	karot	invert	fay kili	Metakris. Tem.	CL	3,000	2,204	%10	22.0%	14.0%	8.0		62.0%	
B 3 3.00	61 + 947.90	B 3	karot	invert	siltli kil	Metasediments	SC	2,731		%6.90	20.0%	10.4%	9.6	73.8%	34.7%	%40
B 3 14.80	61 + 947.90	B 3	karot	invert	kil	Metakris. Tem.	CL	2,978		%8.00	23.0%	14.0%	9.0		32.0%	
B 3 20.00	61 + 947.90	B 3	karot	invert	siltli kil	Metakris. Tem.	SC	2,779	2,214	%11.00	21.0%	12.0%	9.0		36.0%	
D 1 4.40	61 + 953.30	D 1	karot	invert	siltli kumlu	Metasediments	SM	2,700		%8.00	15.0%	12.0%	3.0		35.0%	
D 1 17.20	61 + 953.27	D 1	karot	invert	fay kili	Metakris. Tem.	CL - ML			%10.30	16.8%	10.0%	6.8	91.0%	31.6%	4.5%
C 1 3.50	61 + 964.00	C 1	karot	invert	siltli kumlu	Metasediments	SM - SC	2,742		%6.00	18.0%	13.0%	5.0		32.0%	
ALT439	61 + 998		blok		kil	Metakris. Tem.	CL	2,315	2,315	%13.50	25.2%	13.4%	11.8	87.0%	56.2%	%25
ALT441	62 + 001		blok		kil	Metakris. Tem.	CL	2,268	2,268	%20.80	43.0%	18.8%	24.2	92.3%	71.7%	%32
ALT495	62 + 063		blok			Metasediments		2,348		%14.00						
ALT 1 15.00	62 + 119.5	ALT 1	karot		fay kili	Metakris. Tem.	SC	2,808		%2.20	21.0%	11.9%	9.1	79.7%	41.6%	%40
ALT 1 16.60	62 + 121.1	ALT 1	karot		fay kili	Metakris. Tem.	CL	2,891		%6.70	26.3%	14.2%	12.1	95.3%	38.6%	%40
ALT 1 23.80	62 + 128.3	ALT 1	karot		kil	Metakris. Tem.	SC	2,848		%1.80	22.4%	13.3%	9.1	71.8%	32.4%	%40
ALT 536	62 + 133.15		blok		kil	Metakris. Tem.	CH			53.7%	53.7%	27.0%	26.7	99.7%	90.3%	
ALT 1 30.30	62 + 134.80	ALT 1	karot		kil	Metakris. Tem.	CL	2,808		%9.40	20.3%	22.1%	18.2	82.4%	55.1%	
ALT 1 39.20	62 + 143.70	ALT 1	karot		fay kili	Metakris. Tem.	SC	2,864		%8.20	27.9%	18.5%	9.4	67.5%	35.7%	%40
ALT 1 50.80	62 + 155.3	ALT 1	karot		fay kili	Metakris. Tem.	SC	2,799		%13.70	26.9%	15.6%	11.3	93.3%	49.2%	%40
ALT R/25	62 + 181.50		blok	Pilot	fay kili	Metakris. Tem.	CH	2,679		%13.80	54.8%	24.5%	30.3	97.8%	80.7%	%33
ALT R/26	62 + 182.45		blok	Pilot	fay kili	Metakris. Tem.	MH/OH	2,637		%17.80	75.8%	35.7%	40.1	99.3%	90.6%	%43
ALT 629	62 + 192.85		blok	Bench	fay kili	Metasediments	SC	2,738		%5.70	28.8%	16.2%	12.6	57.9%	16.6%	%40
ALT 711	62 + 365.50		blok		fay kili	Metasediments	SC	2,717		%5.60	25.0%	14.2%	10.8	78.4%	30.7%	%46
ALT 735	62 + 393.50		blok		fay kili	Volcanic rock	CL	2,807		%10.30	25.2%	11.9%	13.3	85.8%	35.6%	%14
ALT 782/1	62 + 447.80		blok		fay kili	Metasediments	CL	2,808		%13.30	23.8%	12.4%	11.4	82.0%	32.8%	%18
ALT 782/1	62 + 447.80		blok		fay kili	Metasediments	SC	2,791		%6.90	22.7%	11.2%	11.5	80.7%	40.2%	%12
ALT 789	62 + 455.50		blok		fay kili	Metasediments	SC	2,810		%7.50	20.6%	9.9%	10.7	80.1%	36.0%	%10
ALT 791	62 + 457.90		blok		fay kili	Volkanik	SC	2,736		%9.60	22.6%	11.3%	11.3	81.1%	38.9%	%6
ALT 806	62 + 475.50		blok		fay kili	Metasediments	SC	2,796		%5.70	19.1%	9.9%	9.2	73.7%	33.8%	%11
ALT P9	62 + 503.20		S tüp		fay kili	Metasediments	SC	2,788		%7.20	26.0%	13.0%	13.0		24.3%	%40
ALT P17	62 + 511.30		S tüp		Ezilmiş kaya	Metasediments	SC	2,697		%5.50	32.4%	13.6%	9.8	61.0%	30.6%	%40
ALT P18	62 + 512.30		blok		Ezilmiş kaya	Metasediments	SC	2,692		%8.10	23.4%	10.5%	12.9	66.0%	30.6%	%40
ALT P55	62 + 554.25		blok		Ezilmiş kaya	Metasediments	SC			21.3%	21.3%	11.5%	9.8	63.0%	33.8%	%40
ALT P61	62 + 566.45		blok		fay kili	Metasediments	GC			21.8%	13.2%	8.6	34.1%	14.4%	14.4%	%4
ALT P63	62 + 570.45		blok		Ezilmiş kaya	Metasediments	CL	2,711		%8.80	30.5%	14.3%	16.2	85.3%	58.7%	%4
ALT P86	62 + 600.60		blok		fay kili	Metasediments	SC	2,611		%11.40	33.8%	19.4%	14.4	57.3%	17.7%	%40
ALT P90	62 + 609.80		blok		kumlu kil fliş	Metasediments	SC	2,776		%6.10	18.4%	9.4%	9.0	66.1%	33.6%	%5
ALT P94	62 + 618.65		blok		kumlu kil fliş	Metasediments	SC	2,757		%4.70	22.7%	11.0%	11.7	72.0%	40.4%	%40
ALT P104	62 + 638.45		blok		kumlu kil fliş	Metasediments	SC	2,770		%5.90	19.3%	10.8%	8.7	60.7%	31.6%	%40
ALT P125	62 + 677		blok		fay kili	Metasediments	SC	2,763		%6.70	33.3%	13.2%	20.3	68.6%	46.4%	%10
ALT P150	62 + 736.35		blok		Ezilmiş kaya	Carb. Sandstone	CH	2,594		%20.60	67.9%	27.7%	39.8	82.8%	58.5%	%9
ALT P155	62 + 743.45		blok		Ezilmiş kaya	Metasediments	SC	2,784	2,53	%9.40	22.5%	11.1%	11.4	75.4%	46.2%	%86
			blok		Ezilmiş kaya	Metasediments	SC	2,570		%7.30	22.1%	11.3%	10.8	62.9%	32.3%	%40

minimum %5.5 maksimum %120.5, plastik limit ortalaması, %14.95, minimum %9.4 maksimum %44, plastiklik indeksi ortalama, %15.2, minimum %8.6 maksimum %77'dir. Elek analiz sonuçları ise; < 2'den ortalama %75.2, minimum %51.8 maksimum %99.7, < 0.075'den ortalama %46.5, minimum %14.4 maksimum %90.3, < 0.002'den ortalama %9.7, minimum %0 maksimum %86'dır.

Metasedimentlerde yapılan X-RD mineral analiz sonucuna göre; tüm kayada, %52 kil, %29 mika, %9 kuvars, %3 feldspat, %3 kalsit, %4 dolomit saptanmıştır. Kil mineralizine göre; %58 illit, %23 simektit, %16 kaolonit, %3 klorit saptanmıştır. Bu test sonucu ortalama değildir.

Ayrıca Metakonglomera ve Metakumtaşı'nda yapılan testlerden şu sonuçlar alınmıştır (ISRM,1981): Kayaçların birim ağırlıkları 25.5 kN/m³, tek eksenli sıkışma dayanımları; 63 MPa, E modülü; 99.5 ve 21.7 GPa, Poisson oranı; 0.37'dir. Bu kayaçlara ait ortalama çekilme değeri 7.5 MPa, doğal makaslama dayanımı 12.35 MPa, içsel sürtünme açısı da 46.7⁰ olarak bulunmuştur.

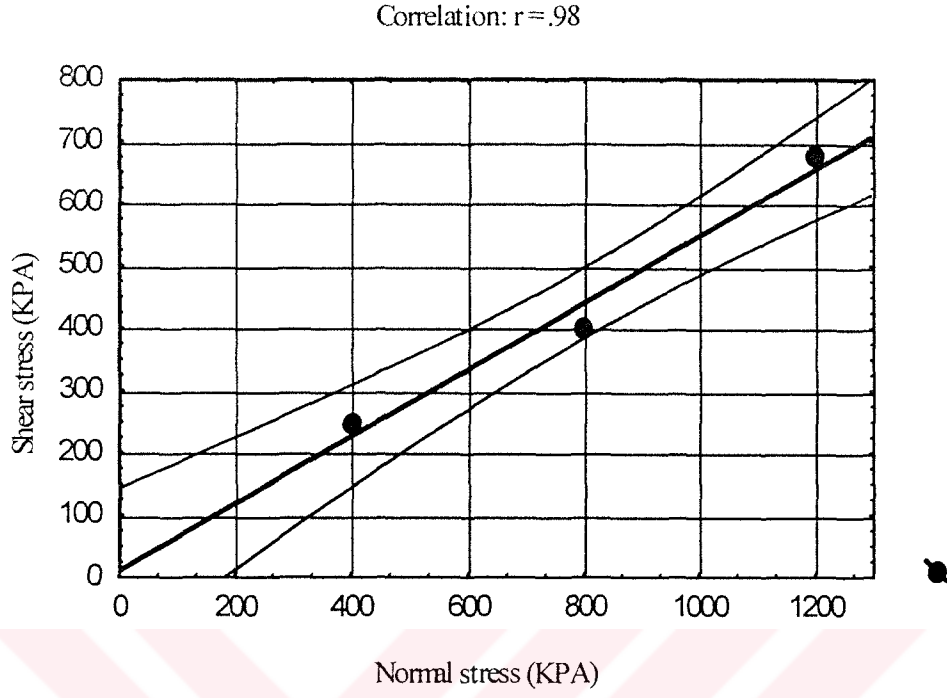
Fay zonundan alınan tek örnekte yapılan testlere göre şişme basıncı; 10-23 Kpa bulunmuştur.

Üç örnek üzerinde yapılan direk kesme deneyinden; C=0-40 Kpa arasında, Ø=17-39⁰ arasında bulunmuştur. Direk kesme deneyinden elde edilen sonuçlar farklılık göstermesine rağmen sonuçlar birbirine yakındır (Şekil 3.61-63.).

Genelde direk kesme, kil mineral analizleri ve oturma testleri Elmalık tünel'de yoğun olarak yapılmıştır (Şekil 3.64-65.).

Breşik kireçtaşı: Bu birim üzerinde yapılan nokta yük test sonucu 16.000 Kpa ve tek eksenli basınç dayanımı 45.000 Kpa bulunmuştur.

Karbonatlı kumtaşı test yapılmamıştır.



En yüksek Kohezyon: 11 KPa

Sürtünme açısı: 28°

Doğal birim ağırlık: 2.457 2.454 2.514

Su içeriği (%): 9.8 8.6 8.5

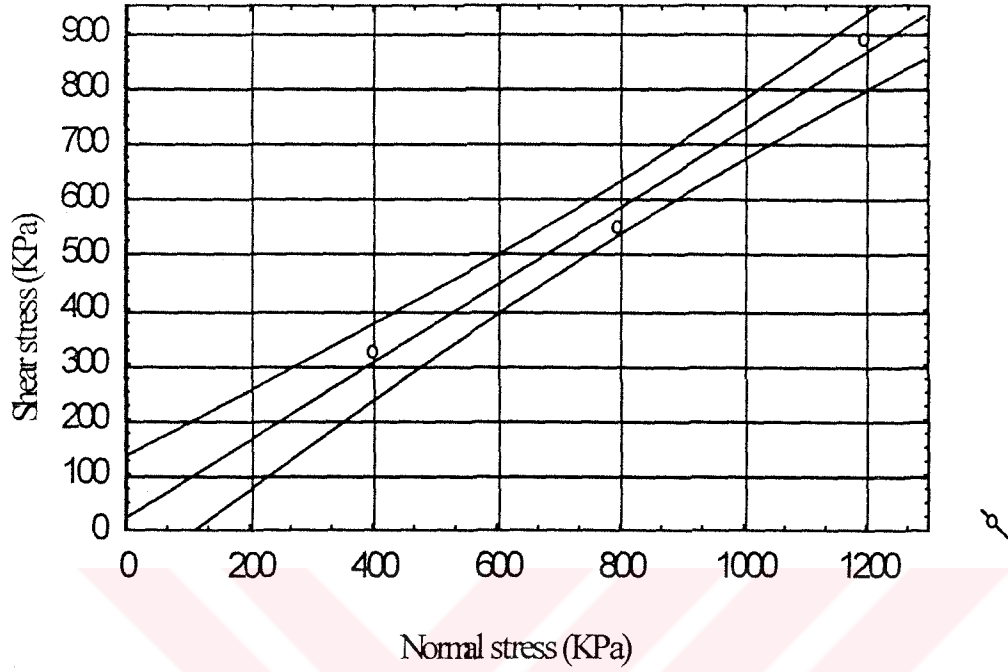
Likit limit: 27.30 %

Plastik limit: 11.90 %

Plastisite indeksi: 15.40

Şekil 3.61. Asarsuyu girişi sağ tünelde km: 52+594.20'den alınan numune üzerinde yapılan direk kesme test sonuçları.

Correlation: $r = .99$



Asarsuyu Girişi, Sağ Tüp

Örnek No:ART 2/C, Ezilmiş Metasediment (SC zemin tipi)

Konsolide drenajsız kesme testi

Kohezyon: 43 KPa

Sürtünme açısı: 35

Doğal birim ağırlık: 2.381 2.420 2.444 gr/cm³

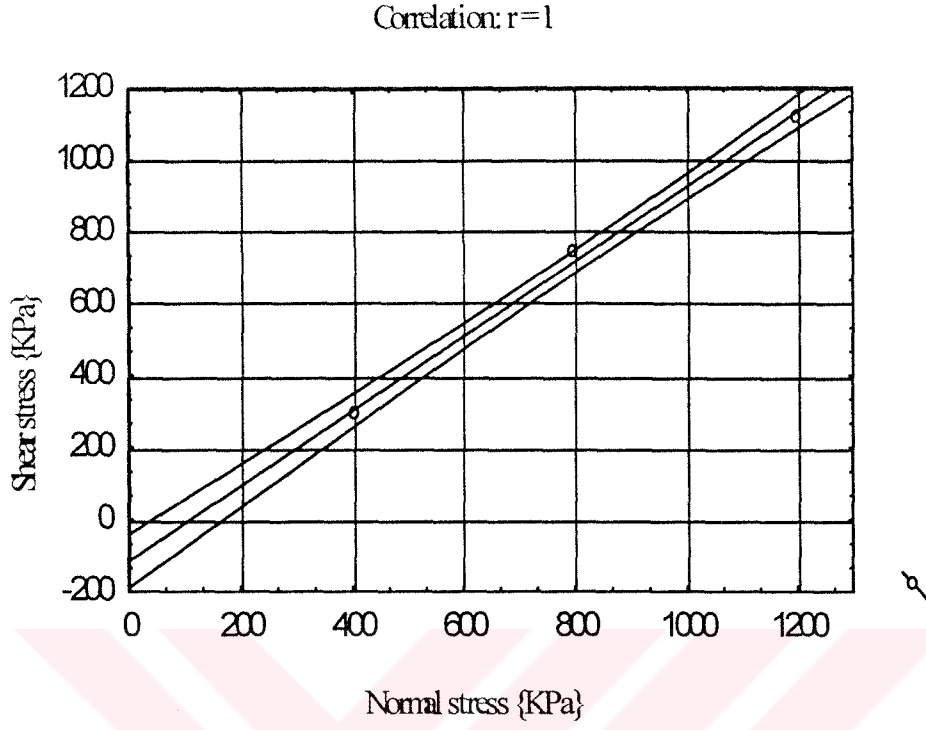
Su içeriği: 7% 7.1% 5.6%

Likit limit: 23.3

Plastik limit: 11.7

Plastisite indisi: 11.6

Şekil 3.62. Asarsuyu girişi sağ tünelde km: 52+426.40'dan alınan numune üzerinde yapılan direk kesme test sonuçları.



Asarsuyu Sol Tüp, Sol Altyarı

Örnek No: ALT 791 {blok}

Konsolide drenajsız kesme testi

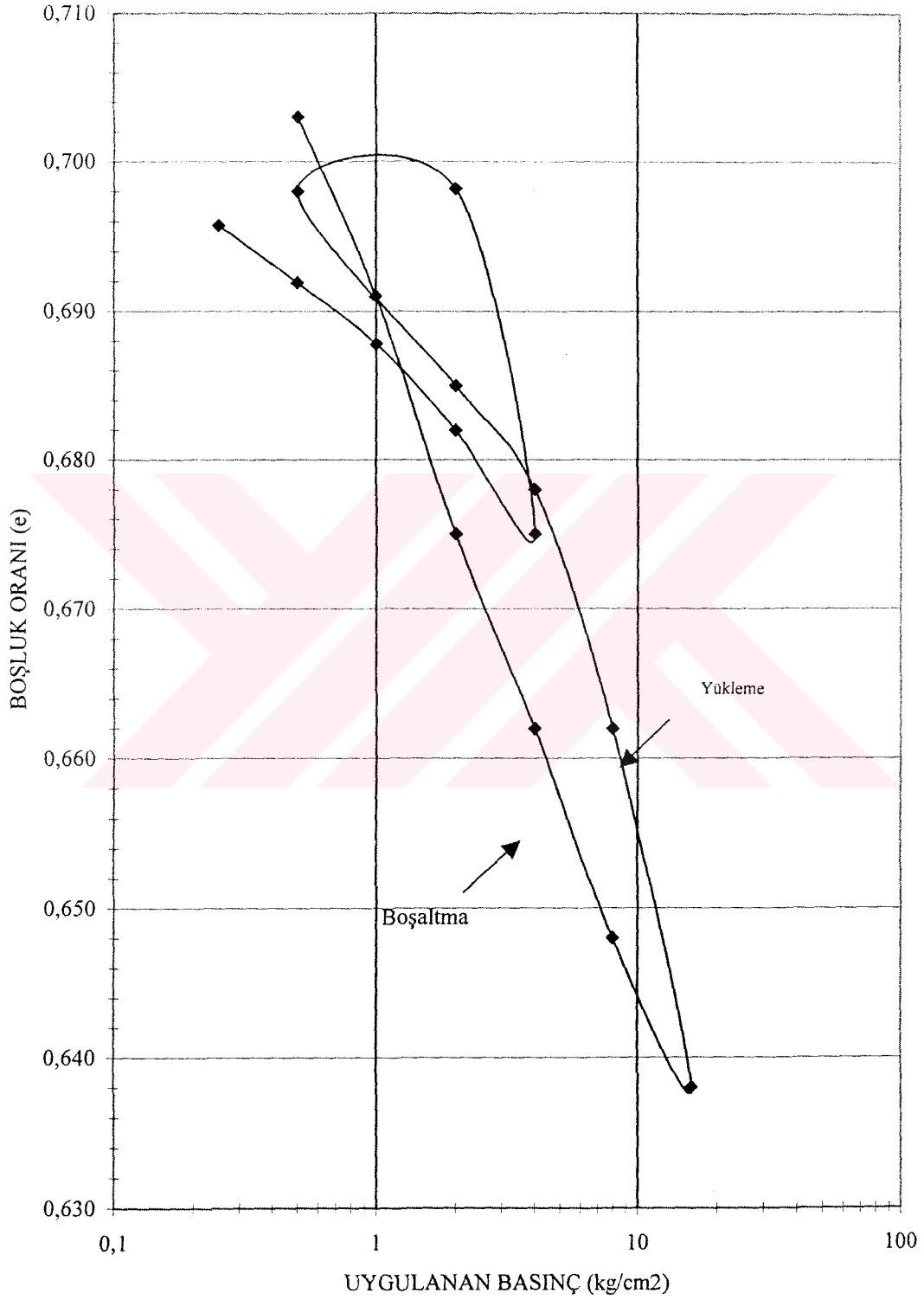
Kesme hızı: 0.1 mm/min.

Kohezyon: -115 KPa

Sürtünme açısı: 45

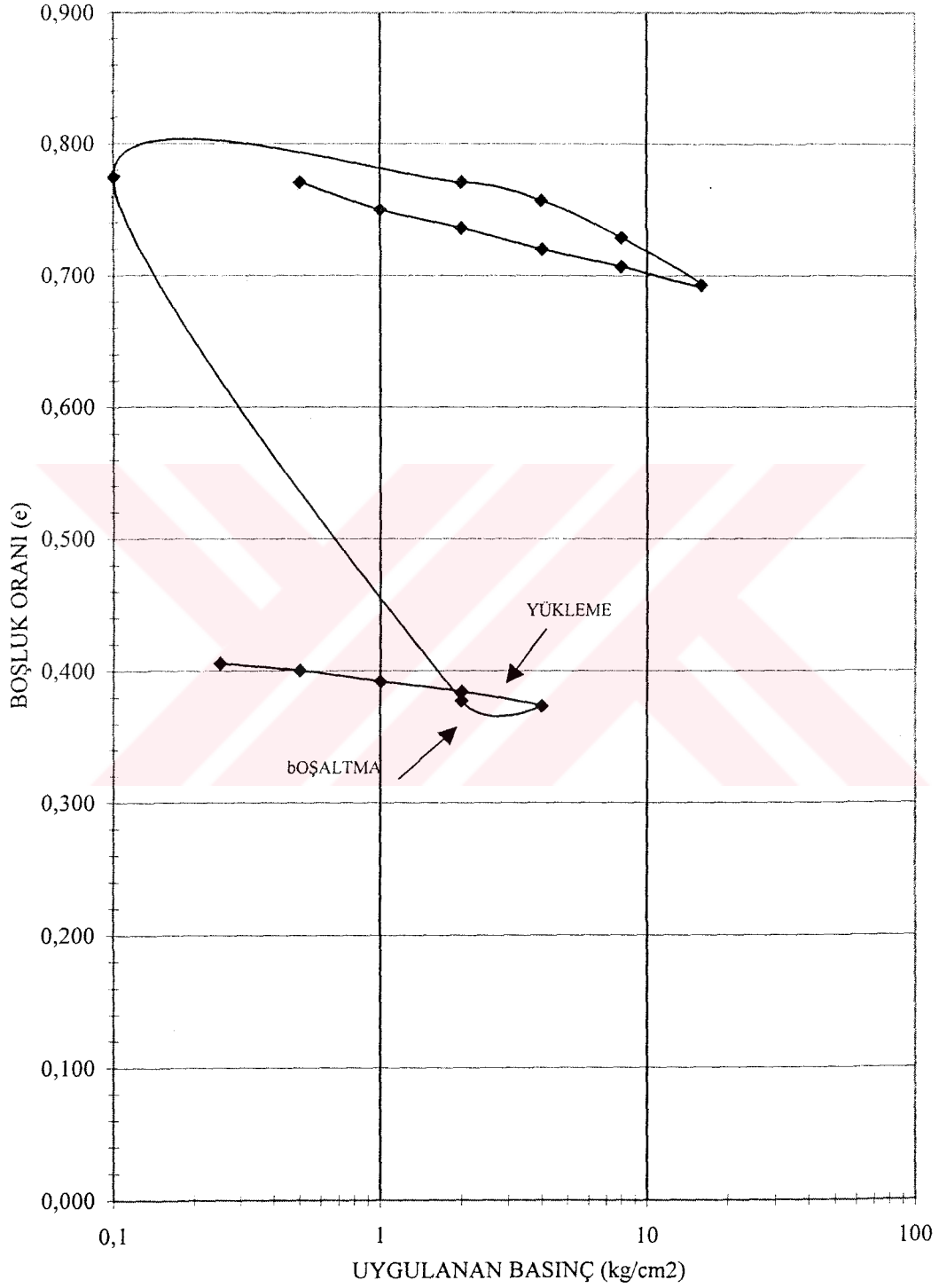
Şekil 3.63. Asarsuyu girişi sol tünelde km: 62+457.90'dan alınan numune üzerinde yapılan direk kesme test sonuçları.

ELMALIK GİRİŞİ PILOT TÜNELÖRNEK ELT P82A'nın
KONSOLIDASYON GRAFİĞİ (BLOK).KIRMIZIMSİ KAHVERENGİ
SİİTLİ Kİİİ FAY Kİİİ, İÇERİSİNDE SEDİİENTER KAYA
(KABA KUM BOYUTU). Km: 63+694.90



Şekil 3.64. Elmalık girişinde km: 63+694.90'da yapılan oturma test sonuçları.

ELMALIK GİRİŞİ SOL TÜP PİLOT TÜNEL.
ÖRNEK ELT P68A (BLOK)'nın KONSOLİDASYON
GRAFİĞİ. KIRMIZIMSİ KAHVERENGİ SİLTİLİ KİLLİ FAY KİLİ,
İÇERİSİNDE SEDİMENTER KAYA PARÇACIKLARI.
(KABA KUM BOYUTU) Km: 63+764.30



Şekil 3.65. Elmalık girişinde km:63+764.30'da yapılan oturma test sonuçları.

3.7. Yeni Avusturya tünel açma yönteminin zellikleri

Bolu Dağı tüneli içerisinde bulunduğu zor jeolojik koşullar içerisinde NATM'a (Yeni Avusturya Tünel Açma Yöntemi) göre ÖNORM B2203 kaya sınıfında açılmaktadır.Bu sistem ampirik ve gözlemseldir.Yerinde yapılan jeomekanik ölçümlerin amacı ise (nivelman, deformasyon, gerilme, uzama, kaya bulon ve ankraj ölçümleri gibi) yeraltı kazılarındaki stabilite şartlarını izleyerek, iksa sistemlerini belirlemeye yöneliktir.

Bu metodun temel kavramı olarak, tüneli çevreleyen zeminin sadece bir yük olarak kabul edilmesi, aynı zamanda taşıyıcı halka olarak etkinlik göstermesi söylenebilir. Yani zemin kendisini taşıyan önemli bir iksa elemanı haline getirmesinden bahsedilebilir.Tünelin statik olarak bir halka gibi davranması için ilk iksanın tam ring yapması, yani kapanması gereklidir.Kayanın kuvvet altında şekil değiştirmeleri, kazı sırasında kaya mukavemetinde bir azalma meydana getirmeyecek kadar küçük, fakat kemerlenmeye kafi gelecek kadar büyük olmalıdır.Statik taşıyıcı halkayı en uygun şekilde oluşturmak için zamanın "ilk iksa+kaya"nın davranışı üzerindeki etkisini doğru olarak tesbit etmek gerekir.İşte ilk iksa elemanları dediğimiz; pşkrtme beton, hasır elik/elik fiber, elik kuşak ve bulon" gibi elemanların grevide tünel yüzeyini bağlayarak sağlamlaştırmaktır.

Bu bölüm içerisinde, tünel kazısı ile ilgili olarak, karşılaşılan kaya ortamının jeoteknik ve jeolojik özelliklerine göre, tünel yapımının etkisi altındaki davranışları kaya sınıflarının ve iksa elemanlarının tanımlanmasını kapsamaktadır.

Bu yöntemin özelliklerini özetlersek aşağıdaki kabuller ortaya çıkacaktır (L.Mller , 1979):

- Dağ veya zemin esas taşıyıcı sistem olarak kabul edilir ve bunun için gerekli önlemler alınır.

- Tünel cidarının bir miktar deformasyon yapmasına izin verilir. Bu deformasyon miktarı iksanın yapılma zamanı ve rijidliği ile ayarlanır. Uygun kazı yöntemi önemlidir. İksa genelde püskürtme beton, hasır çelik, çelik kemer ve ankrajlarla yapılmaktadır (Vardar, 1975).
- Genelde kaplama üzerine birincil gerilmenin küçük bir oranı gelmektedir. Fakat güvenlik açısından bazı durumlar da göz önüne alınıp, taşıma gücü biraz daha yüksek iksa yapılabilir. Genelde kayalarda gevşeme bekleniyorsa bunun ankrajlarla önlenmesi tercih edilir.
- Kaplama mümkün olduğu kadar fleksibil olmalı ve bir basınç çemberi olarak çalışmalıdır. İksa kaplaması öyle teşkil edilmelidirki, çevresindeki kayaçla birlikte kompozit bir sistem olarak çalışabilsin.
- İnşaat sırasında kontrol ölçümleri buna bağlı olarak yeniden boyutlandırma ile iksa zamanlamasının kontrolü.

Tanımlanan kaya sınıfları esas itibarıyla kaya ortamının davranışını yansıttığından bunlar, sadece kaya parametrelerinden değil, örtü yükü, kazı kesitinin büyüklüğü, ilerleme boyu, kazı sırası, yeraltı suyu, jeoteknik ölçüm neticeleri vs. gibi sınıflandırmayı esastan etkileyebilecek bazı dış faktörlerin de dikkate alınmasıyla belirlenirler.

3.7.1. Tünel açımı esnasındaki kaya sınıflaması

Kaya sınıfları, tünel kazısının başlamasından önce ayna kazısındaki jeolojik yapının irdelenmesi sonucu yapılır. Ayna kazısındaki jeolojik birimlerin davranışı zamana bağlıdır. Bu nedenle belirlenen kaya sınıfı jeoteknik ölçüm sonuçları ve deformasyonların miktarına bağlı olarak revize edilebilir. Belirlenen kaya sınıfına ait iksa elemanlarının ayrıntısına ait pafta, müşavir firma Geoconsult tarafından yapılır.

Bu kaya sınıflaması ÖNORM B2203 kaya sınıflandırma sistemine göre belirlenen jeolojik koşullar ışığı altında yapılır (Tablo 3.8.). Değişen zemin şartlarına, jeoteknik ölçüm istasyonlarından alınan sonuçlara ve deformasyon miktarlarına göre kaya sınıfının değiştirilmesi mümkün olmaktadır.

Tablo 3.8. Bolu tünellerinde kullanılan kaya sınıflandırması* (NATM' a göre).

KAYA SINIFI TARİFİ	ÖNORM B2203 Ekim 1994 ve sonrası	ÖNORM B2203 Ekim 1994 ve öncesi*
A	A1 Stabil	A1 Stabil
	A2 Sonradan az dökülen	A2 Hafif aşırı sökülen
B	B1 Gevrek	B1 Hafif gevrek
	B2 Çok gevrek	B2 Gevrek veya baskılı
	B3 Taneli	
C	C1 Dağ atma	C1 Baskılı
	C2 Baskılı	
	C3 Çok baskılı	C2 Çok baskılı
	C4 Akıcı	L1 Gevşek zemin yüksek kohezyon
	C5 Şişen	L2 Gevşek zemin düşük kohezyon

Bolu Dağı tünellerinde uygulanan sekiz adet kaya sınıflaması mevcuttur. Aşağıda bu sınıflara ait jeolojik şartlar özetlenmiştir :

1. “A” sınıfı olarak gösterilen kaya kütleleri genellikle stabil olup elastik davranış gösterirler. Bu sınıf içerisindeki kaya ortamı genelde önemsiz eklem yapılarına sahiptirler. Bu tür sınıfta elastik deformasyonlar hızla azalır. Serbest kaya parçaları temizlendikten sonra sökülme olma eğilimi yoktur veya önemsiz hafif aşırı sökülmeler olabilir. Deformasyonlar küçüktür ve hızla azalırlar. Su etkisi yoktur.

2. “B” sınıfı olarak gösterilen kaya kütlelerinin davranışı, yapısal kenetlenme ve/veya çekme mukavemeti azlığından ötürü hızlı gevşeme ve ayrışmaya müsaittir. Hemen hemen tüm çevrede, boşluk civarındaki ikincil gerilmeler, kaya kütlelerinin mukavemetini biraz aşmakta, bununla beraber bu zafiyet mekanizması içerilere ulaşmamaktadır. Gevrek kaya kütleleri olarak anılan bu sınıfta iksa yapımının gecikmesi halinde artan aşırı sökülmeler meydana gelir. Deformasyonlar küçük olup hızla azalmaktadır. Bu sınıf içerisinde elastik olmayan zonlarda bulunabilir. Tünel iksasının hemen konulması halinde deformasyonlar düşük seviyede tutulmakta ve hızla sönümlenmektedir. Desteksiz durma süresi ve desteksiz açıklığı kısadır. Patlamadan kaynaklanan kayadaki gevşemeler ve kaya kütlelerinin düşük mukavemeti tünel tavanında ve yan duvarların üst kısımlarında sökülmelere neden olur. Zamanında iksa yapılamaması veya iksa elemanlarının yetersiz olması halinde derinlere ulaşan gevşemeler ve buna bağlı olarak kopmalar meydana gelir.

Su etkisi genellikle önemsiz fakat ayrılmış ve ayrılmış kaya kütleleri içerisindeki fazla su akışı kaya kütlelerinin dayanımı üzerinde önemli etkiler oluşturur.

3. “C” sınıfı olarak gösterilen kaya kütlelerinin davranışı genellikle, kaya basıncının yeniden dağılımı süreci ve/veya deplasman sınırları sonunda hasıl olan gerilmelerin kaya mukavemetinden daha büyük olduğunu göstermektedir.

Yüksek ön gerilmeler kırılkan kaya kütlelerinde elastik enerji depolanmasına neden olur. Bu enerjinin aniden yer değiştirmesiyle kayada kesme ve kaya yapısının ezilmesi ile birlikte kırılmalar olur. Kaya kütlelerindeki kırılmalar derinlere ulaşır.

Kaya kütlesinin aşırı gerilmelere maruz kalması ile kaya yapısının kabarıp dökülmesi, burkulma, kesme ve boşluğa doğru plastik hareket gibi zafiyet mekanizmaları oluşur.

Kaya kütlesinin plastisite ve viskozitesi, zamana bağlı belirgin deformasyon davranışı arzemesine ve neticede büyük deformasyonlara yol açar.

Baskılı kaya kütlesi olarak adlandırılan C2 kaya sınıfında, çevreleyen kaya kütlesi içerisinde derine uzanan plastik zonlar ve basınç veren davranışı ile karakterize edilir. Bu kaya kütlesinde orta derecede fakat belirgin olarak uzun süren ve yavaş son bulan deformasyonlar gözlenir. Plastik davranışlı yüksek kohezyonlu kaya kütlelerinde gerilme gözlenir.

Kaya kendi ağırlık yüklerinin aktif hale geçmesi ve önemli miktarda gevşeme basıncı, sadece büyük deformasyonlara izin verildiğinde meydana gelirken kaya kütlesine zarar verecek derecedeki gevşeme ve ayrışma, kaya mukavemetinde büyük miktarda azalmaya sebebiyet verir. Açılan boşluktaki büyük deformasyonlar ve uzun vadede zamana bağlı deplasman davranışı, zeminin elastik olmayan, plastik ve viskoz davranışına bağlıdır.

Çatlamaya veya dökülmeye elverişli kaya kütleleri ve şişme özelliği gösteren bileşenleri olan kaya kütleleri bu gruba girer.

Bu grup, aynı zamanda ayrılmış veya bozuşmuş kayalar, gevşek zemin ve organik zeminler gibi kaya kütlelerini kapsamaktadır. Kaya kütlesinin düşük özellikleri, kohezyon miktarına ve/veya gevşeme basıncını takiben aşırı gerilmelere bağlı olarak, elastik veya plastik aşırı gerilme meydana getirir. İksa elemanları sık sık aşırı gerilmelere uğramaktadır.

Davranış ve kendini tutma süreleri, su sızıntılarından önemli ölçüde etkilenirler.

4. “L” sınıfı zemin kütlesi, düşük kohezyonlu kısa dönem duraylı zemin kütleleridir. Kemer ve ayda iksasız açıklıkların sınıflandırılmasıyla zemin kütlesi sınırlı bir süre duraylı kalmaktadır. Bazen de iksa yapmadan ve kazı ile aynı anda, aynaya püskürtme betonu atmadan desteksiz durma süresi yoktur. Galeri sistemi uygulanabilecek sistemde suyun zemin davranışı üzerindeki etkisi çok önemlidir. “L” olarak adlandırılan sınıf ise “gevşek zemin tünelciliği” ile ilgilidir.

Bu kaya sınıflarının yanında fazla deformasyon gösteren, fay ve bindirme zonlarında bulunan zeminler (fay killeri) için C kaya sınıfının revize edilmiş hali olan “CM” kaya sınıfı uygulanmaktadır.

3.7.2. Tünel açımı esnasında uygulanan kazı yöntemleri

Aşağıda Bolu tünellerindeki kaya sınıflarına göre farklılık gösteren kazı yöntemlerini ve kazı kesitlerini inceleyeceğiz :

1. “A2” kaya sınıfında, gerçekte, büyük kazı profili hallerinde kazı, genellikle üstyarı ve altıyırı kazısı şeklinde sürdürülür. Delme-patlatma kazı yöntemi kullanılır (Şekil 3.66.). İlerleme boyu yumuşak patlatma şartları ve yapım tekniğine bağlı olarak onaylı paftada belirtilen patlatma paternine göre seçilir. Üstyırı kazısında 2.5-3.5m., altıyırıda 4 m. ile sınırlanmaktadır. Üstyırı kazısı ile altıyırı kazısı arasındaki mesafe maksimum 35 m. olmalıdır. Kazı kesiti 132.52 m²’dir.
2. “B1” kaya sınıfında, kazı enkesiti üstyırı kazısı ve altıyırı kazısı olarak bölünecektir. İlerleme boyu üstyırı kazısında 2-3 m. arasında, altıyırıda ise 4 m. olacaktır. İlerleme boyu uzunluğu zeminin desteksiz durma süresine, desteksiz açıklığa, destekleme elemanı yerleştirme süresine bağlı olarak ayarlanmalıdır. Üstyırı kazısı ile altıyırı kazısı arasındaki mesafe maksimum 35 m. olmalıdır. Kazı için delme-patlatma gereklidir. Kazı kesiti 135.04 m²’dir.
3. “B2” kaya sınıfında, kazı tünel kesitine bağlı olarak bölünür. İlerleme boyu desteksiz durma süresi, desteksiz açıklığa bağlı olarak belirlenir. Üstyırı kazısının

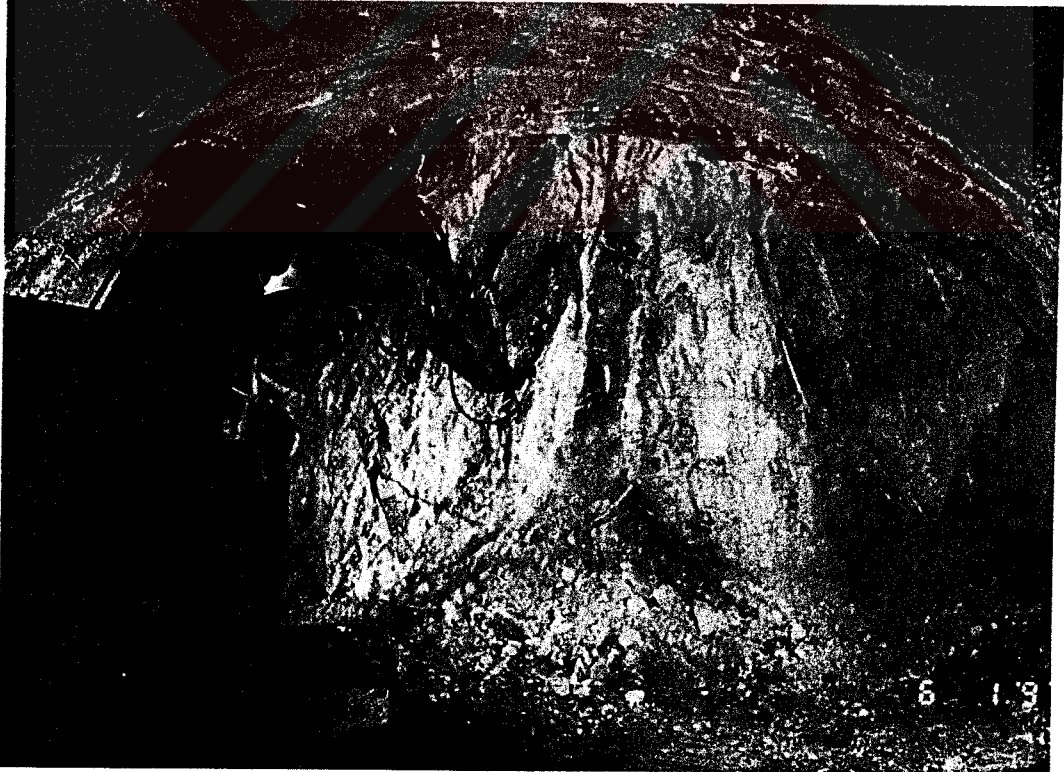
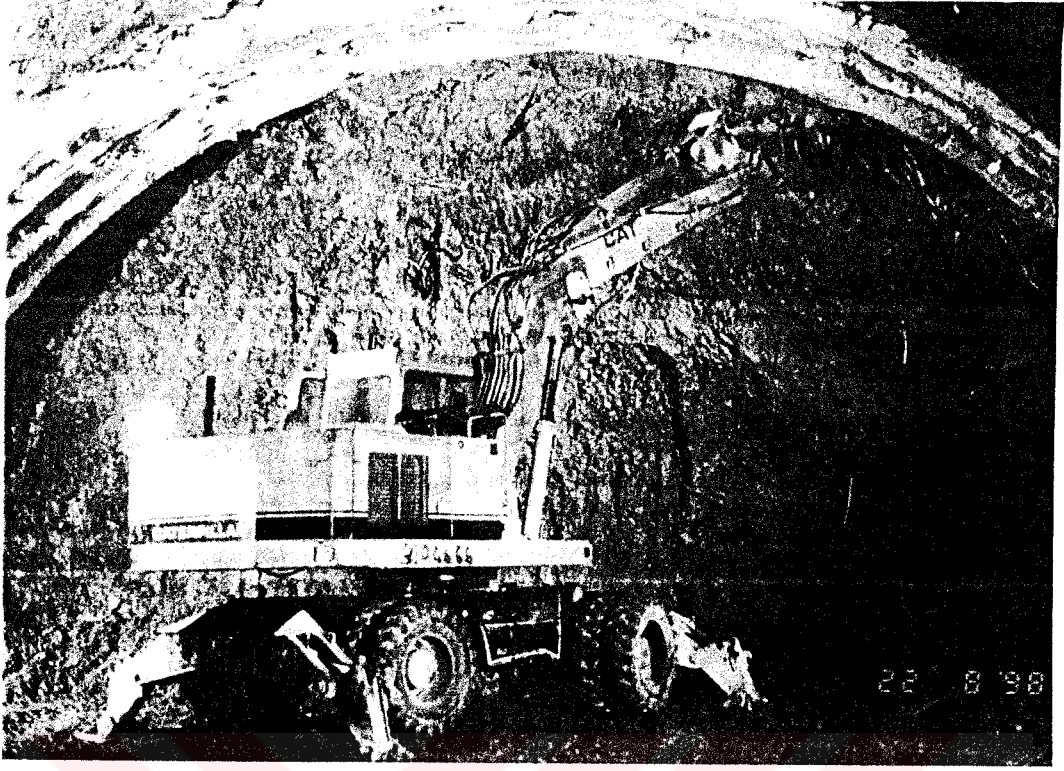


Şekil 3.66. Bolu Tünellerinde patlatma ile yapılacak kazı için ayanaya patlayıcı madde doldurulması.

da 2-5 m., altyarıda ise 3.5 m.'den fazla olmayacaktır.Kazı genellikle yumuşak patlatma ile yapılır.Kazı kesit alanı, 138.61 m²'dir. "B2" kaya sınıfında jeolojik şartlara bağlı olarak tabanlı kazılar yapılır.Bu durumda taban kazısı patlatma veya mekanik kazı metodları ile yapılır. Üstyarı kazısı ile altyarı kazısı arasındaki mesafe maksimum 35 m. olmalıdır.Bu durumda kazı kesit alanı, 160.86 m² olarak değişmektedir.

4. "C1" kaya sınıfında, bölünmüş kazı ile ilerleme ile yapılır.Taban kazısı gereklidir.İlerleme boyu üstyarıda 1.5 m., altyarıda 2-2.5 m.'dir.Kazı düzgün patlatma veya mekanik kazı ile yapılmaktadır. Üstyarı kazısı ile altyarı kazısı arasındaki mesafe maksimum 35 m. olmalıdır.Kazı kesit alanı, 164.70 m² dir.
5. "C2" kaya sınıfında, üstyarı, altyarı ve taban kazısı olarak bölünmesi zorunludur.Üstyarı ayna kazısında bir destekleme gövdesi (çekirdek, göbek) gerekecektir.İlerleme boyu üstyarıda 0.8-1.20 m., altyarıda maksimum 1.5 m.'den fazla olmayacaktır.Kazı mekanik kazı yöntemi ile yapılacaktır.Kazı sonrası hemen yüzey püskürtme betonu ile kaplanması gerekmektedir.Üstyarı kazısı ile altyarı kazısı arasındaki mesafe maksimum 35 m. olmalıdır.Kazı kesit alanı 168.58-178.79 m. arasında değişmektedir.
6. "CM" kaya sınıfında, üstyarı, altyarı ve taban kazısı olarak bölünmesi zorunludur.Pek çok durumda üstyarı ayna kazısında bir destekleme gövdesi (çekirdek, göbek) gerekecektir.İlerleme boyu üstyarıda maksimum 1m., altyarıda maksimum 1.5 m.'den fazla olmayacaktır.Kazı mekanik kazı yöntemi ile yapılacaktır (Şekil 3.67.).Kazı sonrası hemen yüzey püskürtme betonu ile kaplanması gerekmektedir.Yoğun bir iksa paterni tüm kazı aynalarında gerekecektir. Deformasyon dereceleri, deformasyon boşlukları ve/veya büyük deformasyonlara cevap verebilecek iksa elemanlarının kullanımı olmuştur.İksa elemanları, kaya kütlelerinin üç eksenli gerilme durumunu devam ettirecektir.

İlerleme boyunun kısaltılması, süren boyunun uzatılması ve üst yarıda büyük bir destekleme gövdesinin bırakılması ve geçici taban kemer betonları gerekme-



Şekil 3.67. Bolu Tünellerinde mekanik kazı yöntemi.

dir.Üstyarı kazısı ile altyarı kazısı arasındaki mesafe maksimum 35 m. olmalıdır.Kazı kesit alanı, 200.39-217.060 m²'dir.

Elmalık Tünelde bu durumlar oldukça farklılık göstermekte olup;“C2” kaya sınıfında kazı kesit alanı 168.580–215.455 m²., “CM” kaya sınıfında 215.455-270.015 m² ve “L2” kaya sınıfında 167.840 m²'dir.Elmalık tüneline oluşan yüksek deformasyonlar ve karşılaşılan yüksek kohezyonlu killerden dolayı kazı sisteminde farklılıklar olmuştur.Örneğin; üçlü galeri yöntemi ve alt yarıdan sürülen pilot tüneller (Şekil 3.68.).

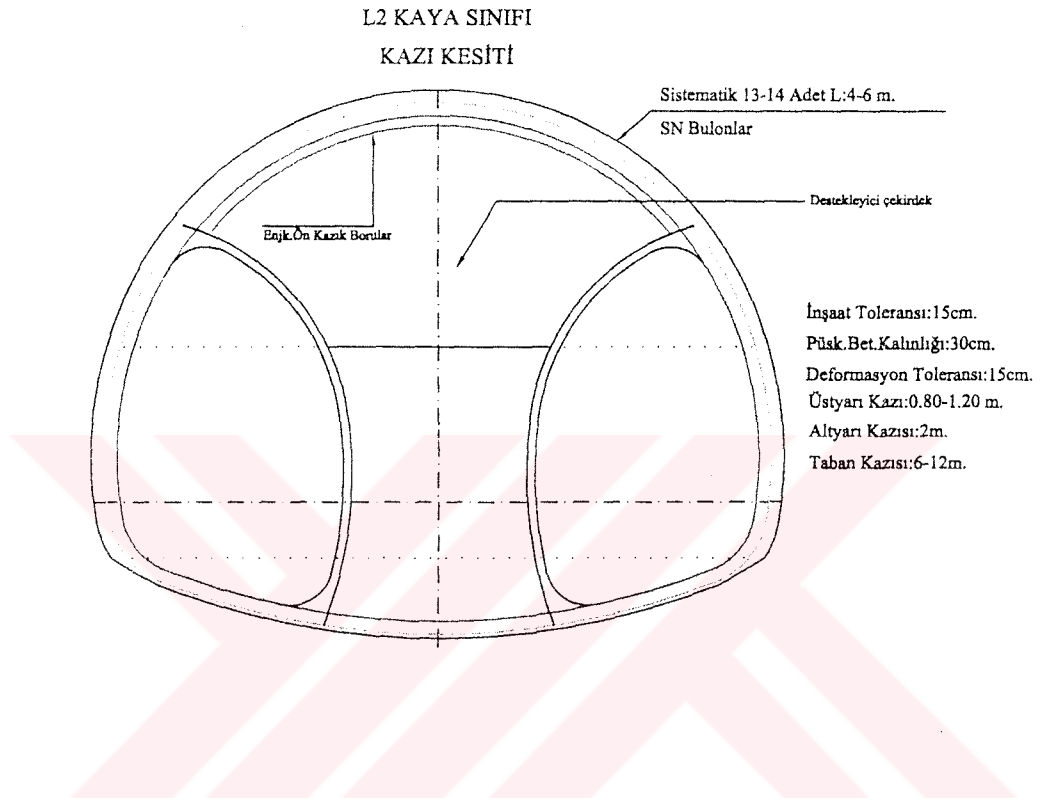
3.7.3. Tünel açımı sırasında uygulanan iksa elemanları

“A1” kaya sınıfında; sistematik iksa montajına gerek yoktur.Sadece yerel iksa elemanlarına gerek olabilir.Bolu Tünellerinde bu kaya sınıfında tünel açılmamıştır.

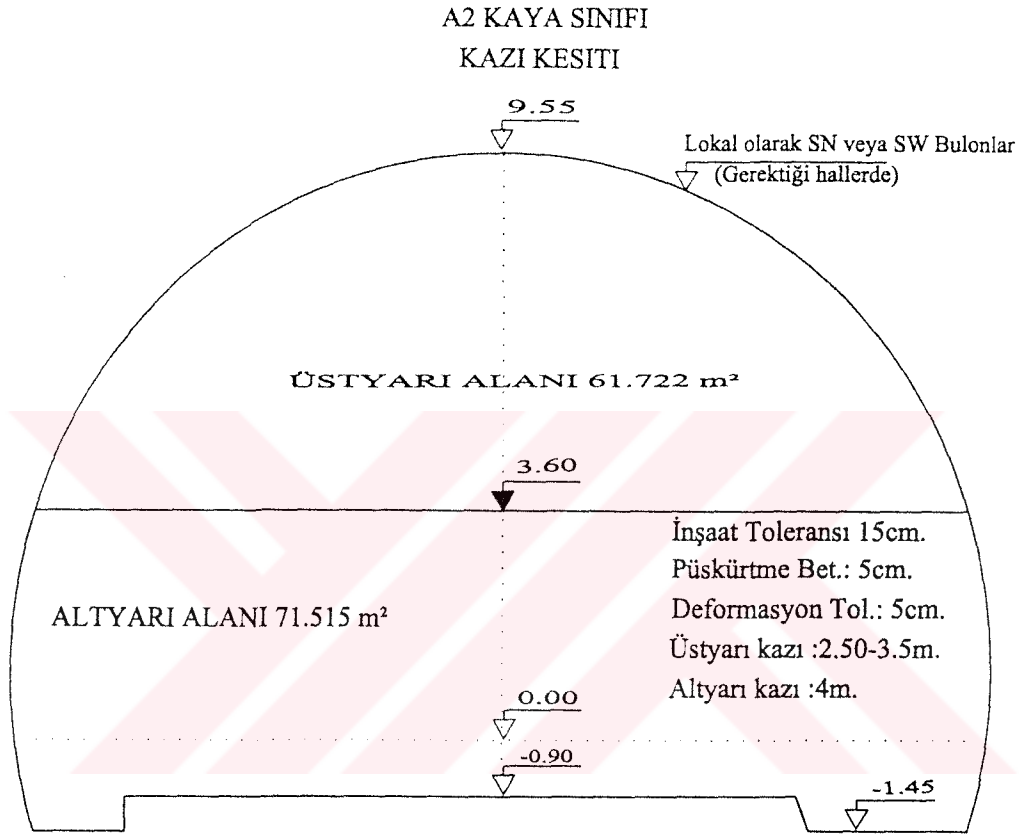
“A2” kaya sınıfında (Şekil 3.69.); tünel tavanında ve yan duvarların üst kısmında iksa elemanları gerekmektedir.Derhal iksa edilmesi gereken çökmeye meyilli kısımlar haricinde kaya bulonları , aynadan itibaren ençok bir ilerleme boyu geriden uygulanacaktır.Kaya bulonlama yönü, süreksizliklerin yönelimlerine göre seçilir.

Bu kaya sınıfında çelik kuşak veya tavan bağı kullanılmamıştır.Deformasyon toleransı ve püskürtme beton kalınlığı 5 cm. olup, püskürtme beton üstyarıda ve altyarıda lokal olarak uygulanmıştır.Üstyarıda 4 m. boyunda SN-SW bulon çakılmıştır.

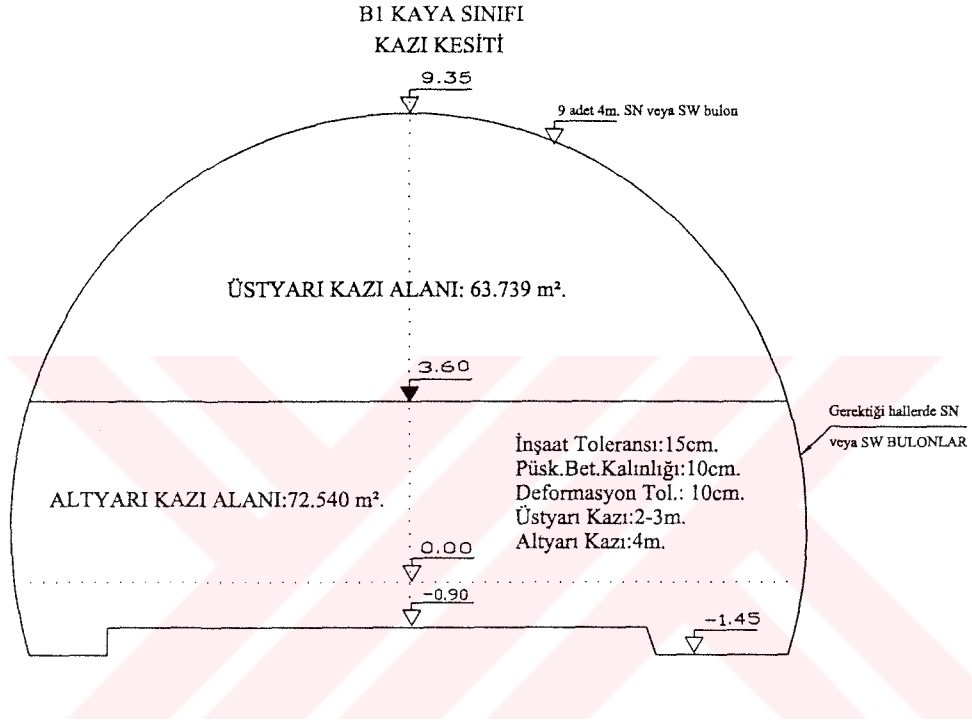
“B1” kaya sınıfında (Şekil 3.70.); sistematik iksa paterni gerekmektedir.İksa aynadan bir ilerleme boyu geriden monte edilecektir.Tehlikeli alanlar derhal iksa edilecektir.Bu kaya sınıfında tavan bağı kullanılmıştır. Deformasyon toleransı ve püskürtme beton kalınlığı 10 cm. olup ve çelik hasır kullanılmıştır.Altarı kazısından sonra yan duvarlarda uygulanan püskürtme beton kalınlığı 5 cm. olup, çelik hasır kullanılmamıştır.Üstyarı da 4 m. boyunda SN-SW-Süper SW bulon çakılmıştır, altyarıda bulon çakılmamıştır.



Şekil 3.68. Elmalık Girişinde uygulanan L2 kaya sınıfına ait kazı yöntemi.



Şekil 3.69. Bolu Tünellerinde uygulanan A2 kaya sınıfı aşamaları.



Şekil 3.70. Bolu Tünellerinde uygulanan B1 kaya sınıfı aşamaları.

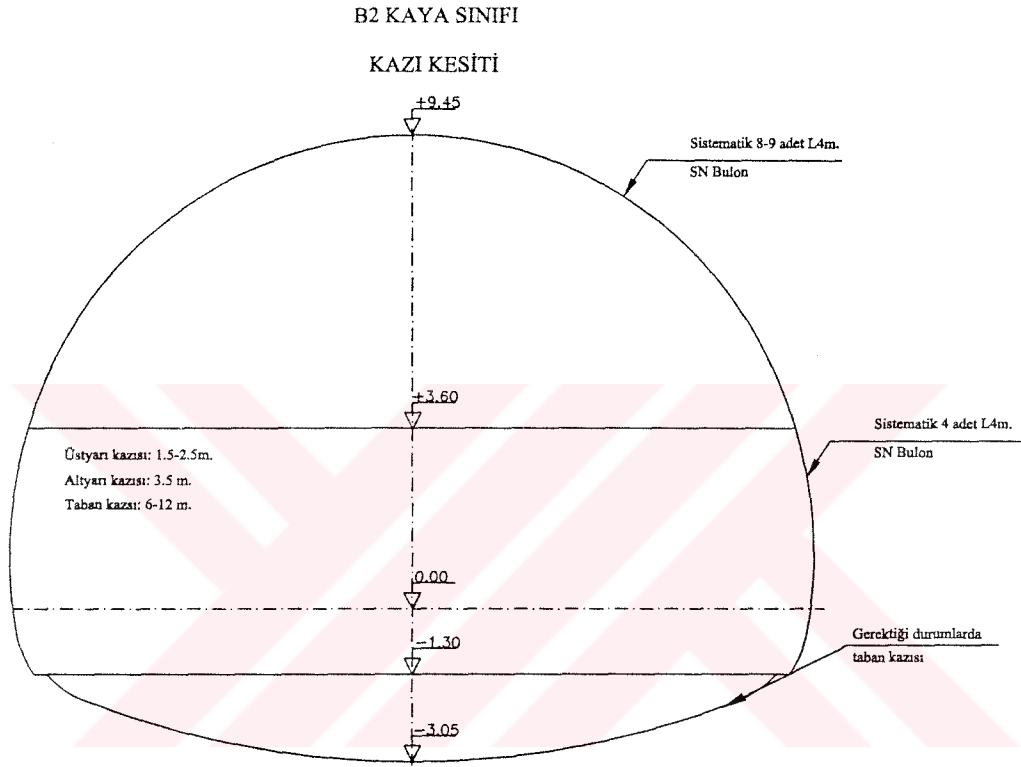
“B2” kaya sınıfında (Şekil 3.71.); tünel ve yan duvarlarda, aynanın ilerlemesinden önce monte edilecek iksa sistematik olmalıdır. Süren kullanımı yerel olarak kullanılabilir. Jeolojik şartlara göre, ayna kilometresinden 150 m. geriden taban betonu yapılması gerekebilir (Şekil 3.72.).

Bu kaya sınıfında deformasyon toleransı ve püskürtme beton kalınlığı 15 cm. olup çelik hasır kullanılmıştır. Altyarı kazısından sonra yan duvarlarda uygulanan püskürtme beton kalınlığı 15 cm. olup, çelik hasır kullanılmıştır. Üstyarıda ve altyarıda 4-6 m. boyunda SN-IBON tipi bulon çakılmıştır. Üstyarıda kullanılan çelik kuşak HEB100 tipinde olup, altyarıda çelik kuşak kullanılmamıştır. Süren boru (1.5” l=3m.) enjeksiyonlu ve enjeksiyonsuz olarak jeolojik şartlara göre kullanılmıştır.

“C1” kaya sınıfında (Şekil 3.73.) ; tüm tünel iksası sistematik olarak ve aynanın daha fazla ilerletilmesinden önce tatbik edilir. Tüm tavan kesimi üzerinde süren boru kullanımı gerekecektir. Süren için delme veya benzeri işlemlerinin aynadaki ve tavandaki kaya kütlesi üzerindeki olumsuz etkileri önlenecektir. Jeoteknik ihtiyaçlara uygun olarak 100-150 metreden daha geride olmamak üzere taban betonu gereklidir.

Bu kaya sınıfında deformasyon toleransı ve püskürtme beton kalınlığı 20 cm. olup çelik hasır kullanılmıştır. Altyarı kazısından sonra yan duvarlarda uygulanan püskürtme beton kalınlığı 20 cm.’dir. Üstyarıda ve altyarıda 6-9 m. boyunda SN-IBON tipi bulon çakılmıştır. Üstyarıda ve altyarıda kullanılan çelik kuşak HEB100 tipinde olup, altyarıda çelik kuşak kullanılmıştır. Süren boru (1.5” L=3-6 m.) enjeksiyonlu ve enjeksiyonsuz olarak jeolojik şartlara göre kullanılmıştır. Ayrıca bu kaya sınıfında taban kazısı yapılmıştır. Temel giriş betonu 30 cm. kalınlığında olup 30 N/ mm²’dir. Bunun üzerine 15 N/ mm²’lik dolgu beton doldurulur.

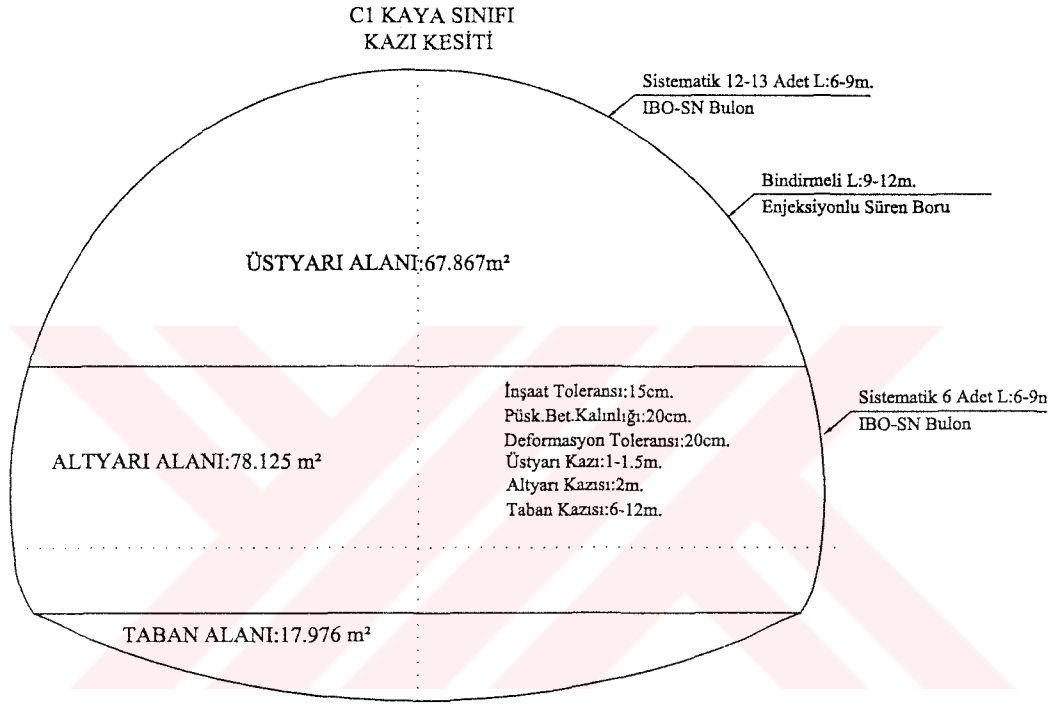
“C2” kaya sınıfında (Şekil 3.74.) ; tüm tünel iksası sistematik olarak, üstyarı ve gövde kazısı aynanın daha fazla ilerletilmesinden önce uygulanır. Tüm tavan kesimi üzerinde süren boru kullanımı gerekecektir. Süren için delme veya benzeri işlemlerinin aynadaki ve tavandaki kaya kütlesi üzerindeki olumsuz etkileri önlenecektir. Üstyarı kazısında alt bölümlere ayrılmış enkesit ve geçici ring yapıları gerekli



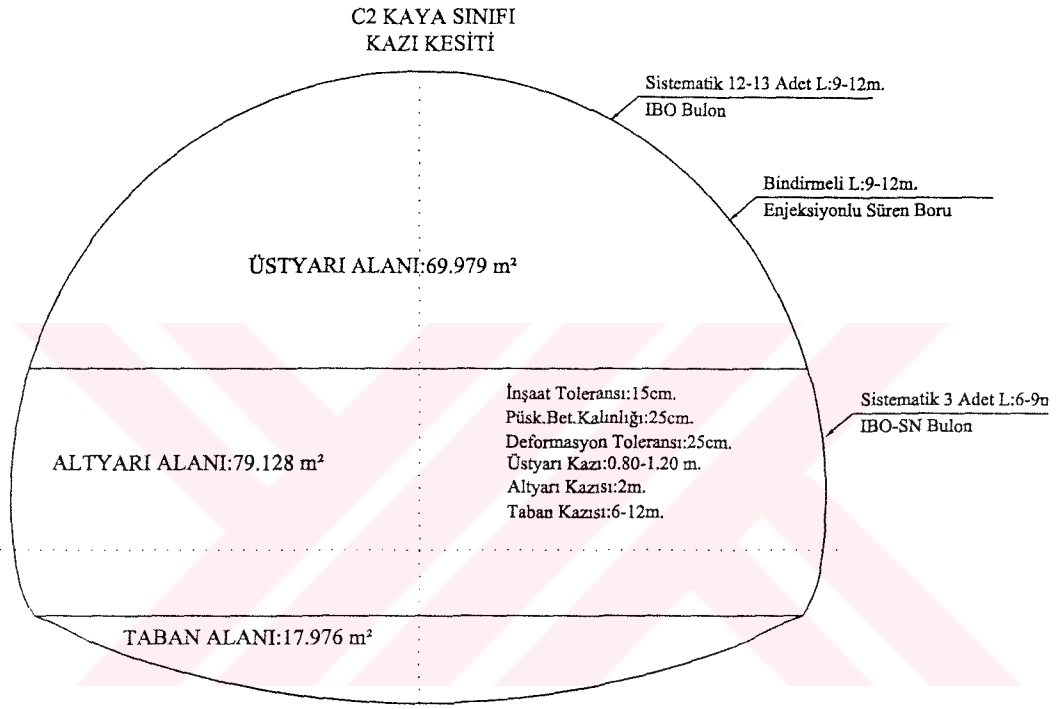
Şekil 3.71.Bolu Tünellerinde uygulanan B2 kaya sınıfı aşamaları.



Şekil 3.72. Bolu tüneline B2 kaya sınıfında taban kazısı.



Şekil 3.73.Bolu Tünellerinde uygulanan C1 kaya sınıfı aşamaları.



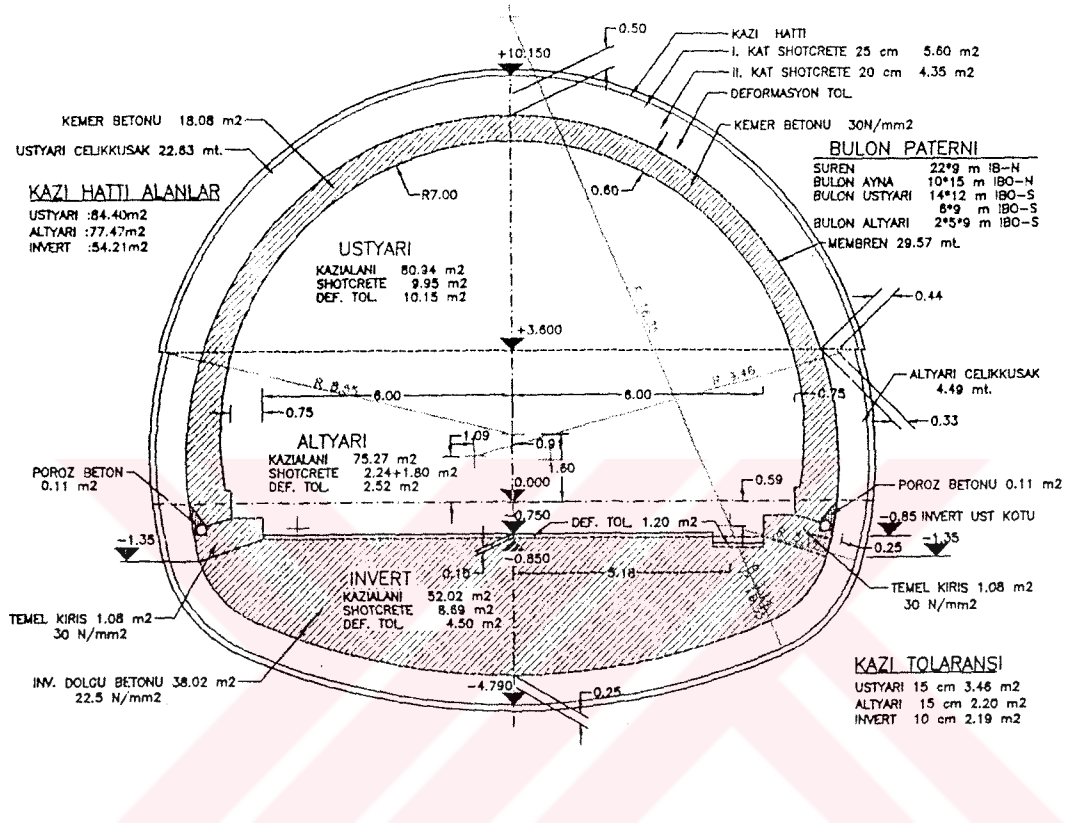
Şekil 3.74.Bolu Tünellerinde uygulanan C2 kaya sınıfı aşamaları.

olabilir.Üstyarı kazısı aynasından 25-50 m. geride taban kemerinin ring kapanması gerekebilir.

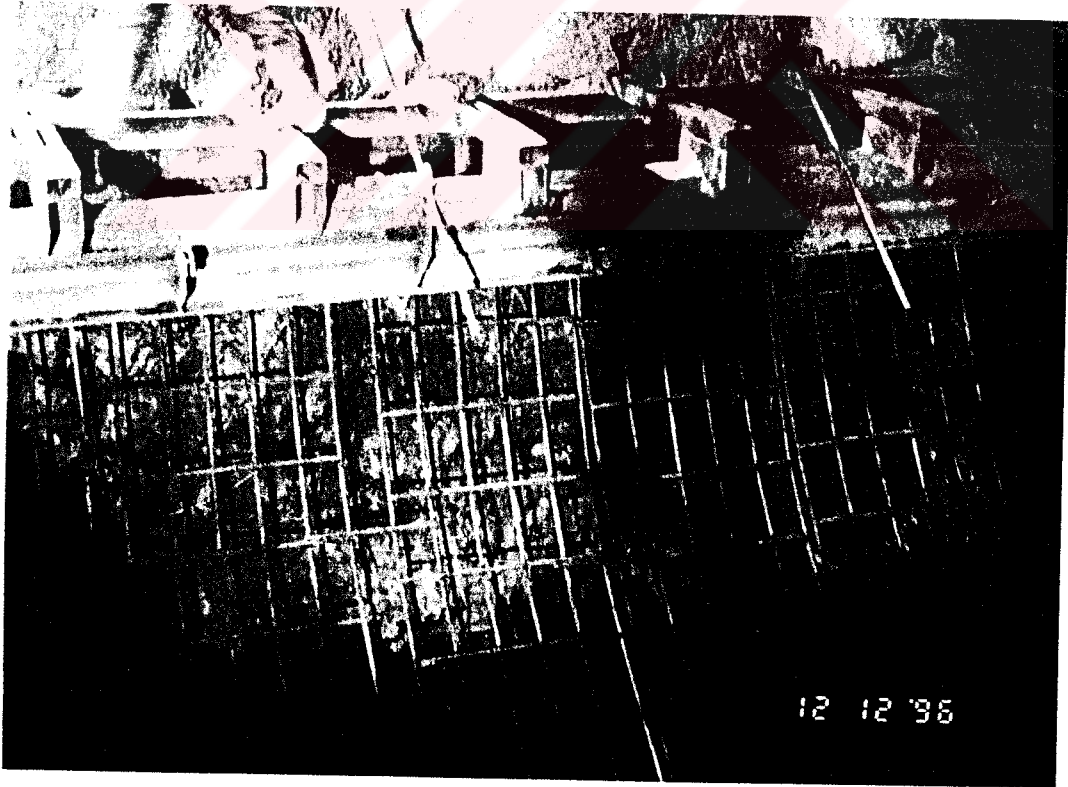
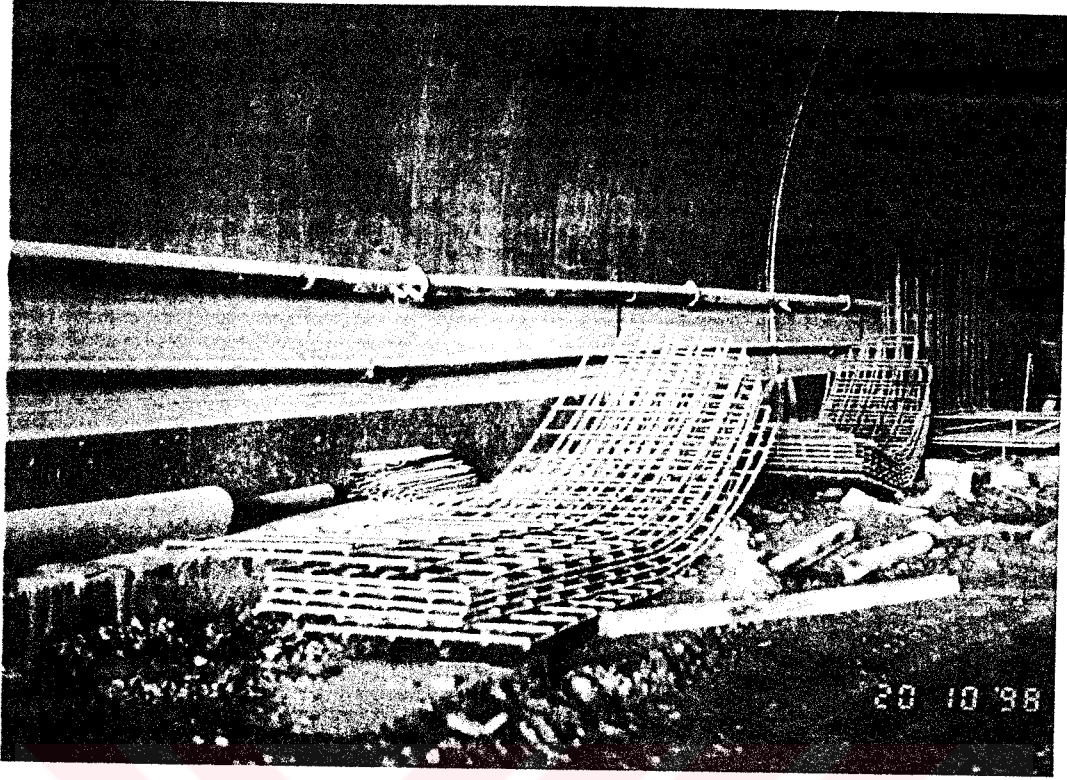
Bu kaya sınıfında deformasyon toleransı ve püskürtme beton kalınlığı 25 cm. olup çelik hasır kullanılmıştır.Altıyarı kazısından sonra yan duvarlarda uygulanan püskürtme beton kalınlığı 25 cm.'dir.Üstyarı da ve altıyarıda 6-9 m. boyunda SN-IBON tipi bulon çakılmıştır.Üstyarıda ve altıyarıda kullanılan çelik kuşak HEB100 tipinde olup, altıyarıda da çelik kuşak kullanılmıştır.Süren boru (1.5" l=3-6 m.) enjeksiyonlu ve enjeksiyonsuz olarak jeolojik şartlara göre kullanılmıştır.Ayrıca bu kaya sınıfında taban kazısı yapılmıştır.Temel kiriş betonu 30 cm. kalınlığında olup 30 N/ mm²'dir.Bunun üzerin 15 N/ mm²'lik dolgu beton doldurulur.

“CM” kaya sınıfında (Şekil 3.75.); Bu kaya sınıfında deformasyon toleransı 50 cm., püskürtme beton kalınlığı 45 cm. olup çelik hasır kullanılmamıştır.Altıyarı kazısından sonra yan duvarlarda uygulanan püskürtme beton kalınlığı 45 cm.'dir.Bu püskürtme beton içerisine 50 kg/m³ çelik fiber konulmuştur.Püskürtme beton mukavemeti 25 N /mm² (28 günlük).Bu püskürtme beton iki aşamada yapılır.1.katta 25 cm., 2. Katta 20 cm. olmak üzere toplam 45 cm. püskürtme beton atılır.Üstyarı da ve altıyarıda bulon boyları ve adetleri değişkenlik gösterebilir genelde 9-12 m. boyunda IBON-IBOS-IBI tipi bulon çakılmıştır.Üstyarıda ve altıyarıda kullanılan çelik kuşaklar jeolojik şartlara göre değişiklik göstermektedir.Bu kaya sınıfında 2HEB100, 2INP160 (fil ayaklı), 2INP200 (fil ayaklı), HEB140 (fil ayaklı) ve TH29 tipinde çelik kuşaklar kullanılmıştır.En iyi sonuç TH29 tipindeki çelik kuşaktan elde edilmiştir.Süren boru (3" l=12-18m.x 26 adet.) enjeksiyonlu olarak sistematik olarak kullanılmıştır.Süren uygulamasının sistematik olarak drenaj amaçlı yapıldığı kısımlar olmuştur.Ayrıca bu kaya sınıfında püskürtme beton taban kazısında; Ø20mm.-260.950 kg/ilerleme boyu demir donatı (Şekil 3.76.), 45 cm. püskürtme beton atılmıştır.Gerekli olan yerlerde tabana 6x6m. IBOS bulon çakılmıştır.Üzerine 30 N/mm² mukavemetli beton dökülmüştür (Dolgu betonu).

Ayrıca çok kısa alanda deformasyon slotları (4adet x 40 cm. her ilerleme boyu için.) ve mini kazıklar uygulanmıştır (Şekil 3.77.).Zaman zaman üstyarı tabanında donatılı geçici ters kemer püskürtme betonu uygulaması yapılmıştır.



Şekil 3.75.Bolu Tünellerinde uygulanan CM kaya sınıfı aşamaları.



Şekil 3.76.Bolu Tünellerinde donatılı taban kazısı ve kullanılan donatı.



Şekil 3.77.CM kaya sınıfında uygulanan deformasyon slotları.

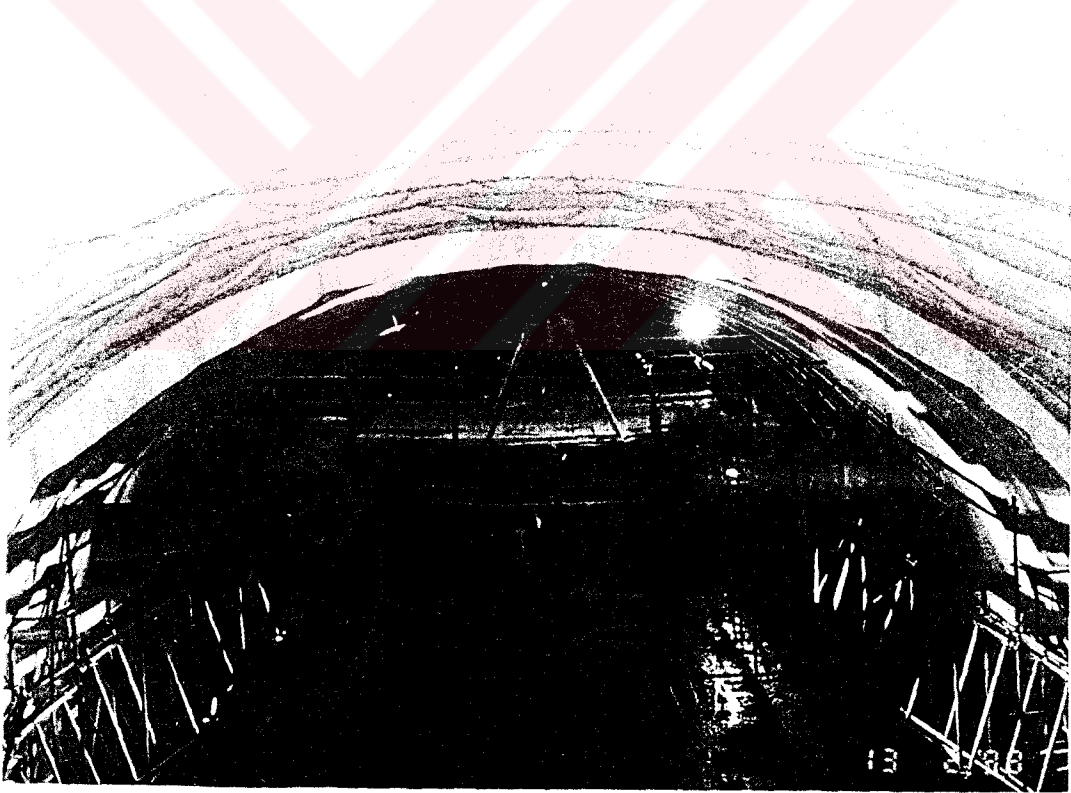
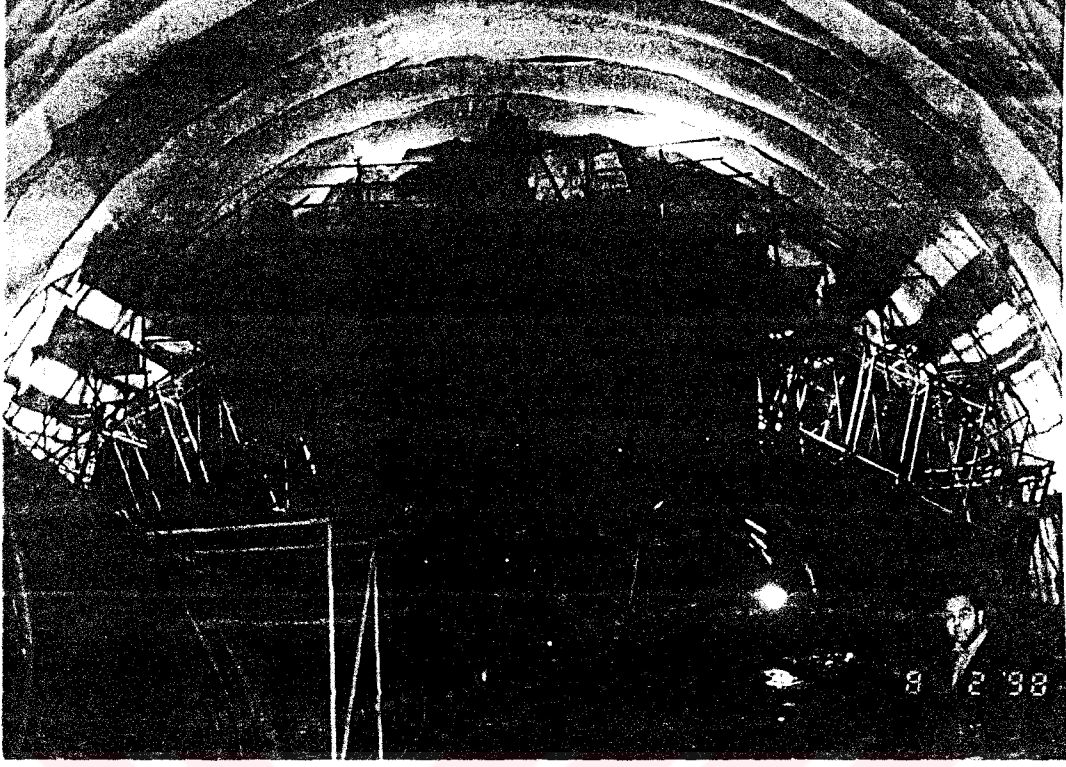
Bilinen NATM uygulamalarında, iç kaplama kazının güvenlik katsayısını arttırmak amacıyla uygulanmaktadır. Yani, iç kaplama genelde üzerinde kaya yükü bulunan zemin yükleri için projelendirilmemiştir. Bolu tüneline karşılaşılan son derece elverişsiz zemin koşulları yüzünden, daha güvenli bir projelendirme metodunun izlenmesi gerekmiştir. Kplama, ön kaplama ile kaya bulonlarının sınırlı olarak kırılmaları (ya deformasyonlardan ya da özelliklerindeki azalmadan dolayı hasar meydana gelmesi) nedeniyle, kaya dayanımında uzun dönemde azalmalar ve uzun dönemli kaya hareketlerine (ya sünme hareketleri ya da deformasyonlar devam ederken yerleştirme) göre projelendirilecektir. Bolu tünellerinde zemin şartlarının arzettiği önemli problemlerin çözümü için önerilen kavramlardan birinin kaya iksa iç kaplamasının aynaya yakın mesafede tam olarak uygulanması olduğu göz önünde tutulmalıdır. Bu kavramdan, su yalıtımının uygulamasındaki zorluklar yüzünden, deformasyon hızına bakılmaksızın iç kaplamanın bütünlüğünü temin ederek vazgeçilmiş ve değişik öneriler sunulmuştur. İç kaplama betonu uygulamasında koşul deformasyon miktarının (şerit ekstensometre ile) ayda 2 mm. veya < 2mm. olması durumudur.

Bolu tünellerinde uygulanan iç kaplama betonunun (Şekil 3.78.) özellikleri şunlardır; İç kaplama beton kalınlığı 40 cm. olup mukavemeti 30 N/mm²'dir. İç kaplama betonunda kullanılan su yalıtımı membranı 2 mm. kalınlığında, 30.50 m. uzunluğun-da, 2.05 m. genişliğindedir. Membran ile kullanılan keçenin, genişliği 2 m., kalınlığı 5 mm. ve birim ağırlığı 500 gr/m²'dir (Şekil 3.79.).

Deformasyonlu olan bir kısımda iç kaplama beton kalınlığının 70 cm. olarak uygulanması düşünülmüştür. Deformasyonun hızlı olduğu veya aşırı deformasyonlara maruz kalan kısımlarda donatılı iç kaplama betonu uygulanmıştır (Şekil 3.80.).



Şekil 3.78. Bolu Tünellerinde yapılan iç kaplama betonu.



Şekil 3.79. İç kaplama betonu öncesi yerleştirilen membran ve membran yapımında kullanılan çelik borulardan yapılmış iskele.



Şekil 3.80. Bolu Tünellerinde deformasyonlu bölgelerde uygulanan donatılı iç kaplama betonu.

3.7.4. Kullanılan iksa elemanlarının dağılımı ve karşılaşılan jeolojik koşullarla ilişkisi

Bolu tüneline her ne kadar ileri tasarım ve inşaat yöntemleri uygulanıyor ve Alp tünellerindeki tecrübeler göz önünde bulunduruluyor ise de, tüneldeki hareketliliği kontrol altına almak ve ilerleme kaydetmek karşılaşılan jeolojik koşullara göre son derece zor olmuştur. Karşılaşılan jeolojik koşullar tahmin edilenlerden oldukça farklı çıkmıştır.

Bu farklılıklara dayalı olarak beklenenden fazla deformasyonlar oluşmuştur. Bu deformasyonların önlenmesi ise eldeki iksa elemanları ile mümkün olmamıştır. Orjinal projede ortaya konan çözümler 25 cm.'lik bir deformasyon toleransına izin veren ve normal iksa elemanlarını ve miktarlarını öngörüyordu. Maliyet, işin ilerlemesi ve ekipmanla ilgili ihtiyaçlar bu esaslara göre belirlenmiştir. Ama hem Asarsuyu'nda hem Elmalık'ta verilen proje çözümlerinin tünel deformasyonunu kontrol etmede yetersiz kaldığı ve kazının stabilitesini sağlayamadığı koşullarla karşı karşıya gelinmiştir.

Bolu dağı tünellerinde karşılaşılan jeolojik koşullar ve uygulanan destek sistemi tablo halinde verilmiştir (Tablo 3.9.)

Tablo 3.9. Asarsuyu tüneline karşılaşılan jeolojik durum ve uygulanan destek sistemi ile olan ilişkisi.

KARŞILAŞILAN JEOLJİK KOŞULLAR	KAYA SINIFI	UYGULANAN DESTEK SİSTEMİ
Az çatlaklı - yer yer orta decede çatlaklı , Çok sert - sert kaya dayanımında, taze - az ayrışmış, kapalı eklem sistemine sahip, süreksizlik dolgusu 1 - 2 cm.kil ve kuvars olan, yer yer etkin süreksizliklere sahip, süreksizlik devamlılığı; düşük - orta, çatlakların yüzey özellikleri; az pürüzlü, düzgün özelliklere sahip METAKRİSTALİN TEMEL.	A2	Çelik kuşak veya tavan bağı kullanılmamıştır. Deformasyon toleransı ve püskürtme beton kalınlığı 5 cm. olup , püskürtme beton üstyarıda ve altyarıda lokal olarak uygulanmıştır. Üstyarıda 4 m. boyunda SN – SW bulon çakılmıştır.
Az çatlaklı - çok çatlaklı, Çok sert - sert kaya dayanımında, taze - orta bozuşmuş, kapalı eklem sistemine sahip, süreksizlik dolgusu 3 - 5 cm. kil, kalsit ve kuvars olan, yer yer faylanmalardan dolayı şiddetli (1 - 20 cm.) derecede ezilmiş, süreksizlik devamlılığı; çok düşük - orta özelliklere sahip, çatlak aralığı; az açık - çok açık, çatlakların yüzey özellikleri; düzgün, az pürüzlü - pürüzlü, ondülasyonlu, amfibolit sokulumları bulunan, aşırı sökülmelemin olduğu, su durumu damlayan - akan METAKRİSTALİN TEMEL - BREŞİK MERMER - KARBONATLI KUMTAŞI	B1	Bu kaya sınıfında tavan bağı kullanılmıştır. Deformasyon toleransı ve püskürtme beton kalınlığı 10 cm. olup ve çelik hasır kullanılmıştır. Altıyarı kazısından sonra yan duvarlarda uygulanan püskürtme beton kalınlığı 5 cm. olup, çelik hasır kullanılmamıştır. Üstyarı da 4 m. boyunda SN – SW – Süper SW bulon çakılmıştır, altıyarıda bulon çakılmamıştır.
Orta derecede çatlaklı- çok çatlaklı, Sert - orta sert kaya dayanımında, taze - orta bozuşmuş, süreksizlik dolgusu 1 - 15 cm. kil, kalsit , kuvars ve limonit oksidasyonu olan , etkin faylanmaların olduğu ve bundan dolayı şiddetli (1 - 30 cm.) derecede ezilmiş, süreksizlik devamlılığı; çok düşük - orta özelliklere sahip, çatlak aralığı; orta kapalı - çok kapalı, çatlakların yüzey özellikleri; pürüzlü, ondülasyonlu, kayma yüzey-leri bulunan, Amfibolit sokulumları bulunan, aşırı sökülmelemin çok olduğu, su durumu damlayan - akan METAKRİSTALİN TEMEL - BREŞİK MERMER - KARBONATLI KUMTAŞI	B2	Bu kaya sınıfında deformasyon toleransı ve püskürtme beton kalınlığı 15 cm. olup çelik hasır kullanılmıştır. Altıyarı kazısından sonra yan duvarlarda uygulanan püskürtme beton kalınlığı 15 cm. olup, çelik hasır kullanılmıştır. Üstyarıda ve altıyarıda 4 - 6 m. boyunda SN – IBON tipi bulon çakılmıştır. Üstyarıda kullanılan çelik kuşak HEB100 tipinde olup, altıyarıda çelik kuşak kullanılmamıştır. Süren boru (1.5" l=3 m.) enjeksiyonlu ve enjeksiyonsuz olarak jeolojik şartlara göre kullanılmıştır.

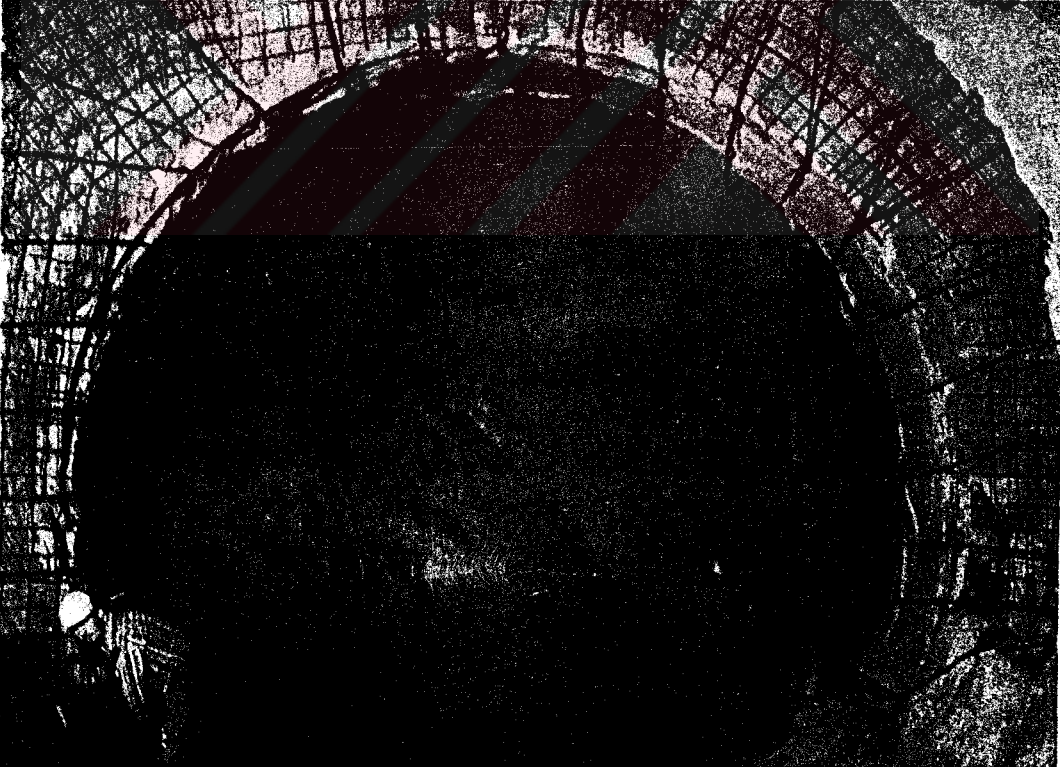
Tablo 3.9. (Devam) Asarsuyu tüneline karşılaşılan jeolojik durum ve uygulanan destek sistemi ile olan ilişkisi.

KARŞILAŞILAN JEOLJİK KOŞULLAR	KAYA SINIFI	UYGULANAN DESTEK SİSTEMİ
Çok kırıklı, Orta sert - zayıf kaya dayanımında , Az bozuşmuş - tamamen bozuşmuş , . süresizlik dolgusu 1 - 15 cm. kil, kalsit, ikenil kuvars ve oksit olan , etkin faylanmaların olduğu ve buna bağlı olarak şiddetli derecede ezilmiş ve bozuşmuş, yumuşak - katı, plastik özellikte fay kiline sahip, aşırı derecede kayma yüzeyli , mikro makaslama , fay breşi bulunan, şişme potansiyeline sahip ,su durumu nemli - damlayan , METAKRİSTALİN TEMEL - METASEDİMENTLER.	C1 - C2	Bu kaya sınıfında deformasyon toleransı ve püskürtme beton kalınlığı 20 - 25 cm. olup çelik hasır kullanılmıştır. Altyarı kazısından sonra yan duvarlarda uygulanan püskürtme beton kalınlığı 20 - 25 cm. 'dir. Üstüarı da ve altyarıda 6 - 9 m. boyunda SN - IBON tipi bulon çakılmıştır. Üstüarıda ve altyarıda kullanılan çelik kuşak HEB100 tipinde olup , altyarıda da çelik kuşak kullanılmıştır. Süren boru (1.5" l=3 - 6 m.) enjeksiyonlu ve enjeksiyonsuz olarak jeolojik şartlara göre kullanılmıştır. Ayrıca bu kaya sınıfında taban kazısı yapılmıştır. Temel giriş betonu 30 cm. kalınlığında olup 30 N/ mm ² 'dir. Bunun üzerim 15 N/ mm ² 'lik dolgu beton doldurulur.
Efektif faylardan dolayı yüksek derecede bozuşmuş-tamamen bozuşmuş, yüksek derecede ezilmiş- tamamen ezilmiş, faylar etkin ve kalınlıkları 1 - 40 cm. arasında değişen fay killeri ve fay breşlerinden oluşmuştur. Fay kili matrisi içinde metasilttaşı, rekrystalize kireçtaşı, kuvarsitlik kireçtaşı, şeyl, metakumtaşı, arkozik kumtaşı ve kuvarsit blokları gözlemlendi. Fay kili matrisi kumlu kil - siltli kilden oluşmuştur. Fay kili matrisi düşük-yüksek plastisite, katı-yumuşak özellik göstermektedir. Yoğun kayma düzlemleri, parlak, düzensel ve ondülasyonludur. Makaslama blokları sert kristalize kireçtaş-larından oluşmuştur. (Ø10- 30 cm.) Pirit mineralleri gözlemlendi. Bazı kısımlar efektif faylardan ve Andezit dayklarından dolayı çok zayıftır. Faylar etkin ve kalınlıkları 1 - 40 cm. arasında değişen fay killeri ve fay breşlerinden oluşmuştur. Yer yer tabakalı, laminalı ve foliasyonludur. Yüksek deformasyonlar gözlemlenmiştir. (maksimum 120 cm.)	CM	Bu kaya sınıfında deformasyon toleransı 50 cm., püskürtme beton kalınlığı 45 cm. olup çelik hasır kullanılmıştır. Altyarı kazısından sonra yan duvarlarda uygulanan püskürtme beton kalınlığı 45 cm. 'dir. Bu püskürtme beton içerisine 50 kg / m ³ çelik fiber konulmuştur. Üstüarı da ve altyarıda bulon boyları ve adetleri değişiklik gösterse de genelde 9 - 12 m. boyunda IBON - IBOS - IBI tipi bulon çakılmıştır. Üstüarıda ve altyarıda kullanılan çelik kuşaklar jeolojik şartlara göre değişiklik göstermek-tedir. Bu kaya sınıfında 2HEB100, 2INP160 (fil ayaklı), 2INP200 (fil ayaklı), HEB140 (fil ayaklı) ve TH29 tipinde çelik kuşaklar kullanılmıştır. En iyi sonuç TH29 tipindeki çelik kuşaktan elde edilmiştir. Süren boru (3" l=12 - 18 m. x 26 adet.) enjeksiyonlu olarak sistemati olarak kullanılmıştır. Süren uygulamasının sistemati olarak drenaj amaçlı yapıldığı kısımlar olmuştur. Ayrıca bu kaya sınıfında püskürtme beton taban kazısında; Ø20mm., 260.950 kg / ilerleme boyu demir donatı, 45 cm. püskürtme beton atılmıştır. Gerekli olan yerlerde tabana 6 x 6m. IBO-S bulon çakılmıştır. Üzerine 30 N/mm ² mukavemetli beton dökülmüştür (Dolgu betonu).

IV. SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu tezde, Bolu Dağı Tünelleri'nin jeolojik yapısı ile uygulanan destek sistemi arasındaki ilişkiyi ortaya çıkarabilmek amacı güdülmüştür. Buna göre elde edilen verilere ve yapılan gözlemlere göre sunulacak öneriler ve sonuçlar aşağıda verilmiştir:

1. Bolu Tünellerinde kazılan kısımlarda 7 farklı litoloji belirlenmiştir. Bu birimlere ait, tünel jeolojik açılım haritaları, plan haritaları, boy ve en kesitler hazırlanmış ve bunlar eklerde sunulmuştur.
2. Tünel güzergahındaki litolojiler Kuzey Anadolu Fay Zonu, düşük açılı fayların ve bindirmelerin etkisi ile oldukça fazla ezilmiş, bozmuşlardır.
3. Tünel güzergahının Elmalık tarafında karşılaşılan fay killeri genelde yüksek plastisite, yüksek şişme özelliği göstermekte olup yüksek deformasyonlara neden olmuştur (maksimum 200-300 cm.). Bunun sonucunda uygulanan destek sistemi elemanlarının arttırımı söz konusu olmuştur (Şekil 3.81.).
4. Asarsuyu Girişinde zemin sınıflaması Metasedimentlerde SC olup, orta plastik-düşük plastisite özelliğindedir. Şişme özelliğinden ziyade sıkışma olayı daha çok gözlenmiştir.
5. Asarsuyu Girişinde fay zonlarında oluşan maksimum deformasyon 120 cm.'dir (Beklenen oturmalar 25 cm.).
6. Bolu tünellerinde karşılaşılmış olan fevkaleda jeoteknik ve jeolojik koşullar; gerek Asarsuyu, gerekse Elmalık tünel aynalarında, tünellerin projelendirilmesi ve inşasında büyük zorluklara neden olmuştur. Püskürtme beton kırılması, çelik kuşakların bükülmesi, masif taban betonlarının kabarması gibi çok olay meydana



Şekil 3.81. Deformasyon olabilecek bölgelerde uygulanan ilave destek elemanları (çelik hasır,ayna bulonları ve kalınlığı fazla olan püskürtme).

gelmiştir.Özellikle dokanak boyunca gelişmiş fay killeri ve su deformasyonların oluşmasında etken olan en önemli parametrelerdir (Şekil 3.82-84.).

7.Bolu Tünelleri NATM (Yeni Avusturya Tünel Açma) metodunda ÖNORM B 2203 kaya sınıfına göre açılmaktadır.

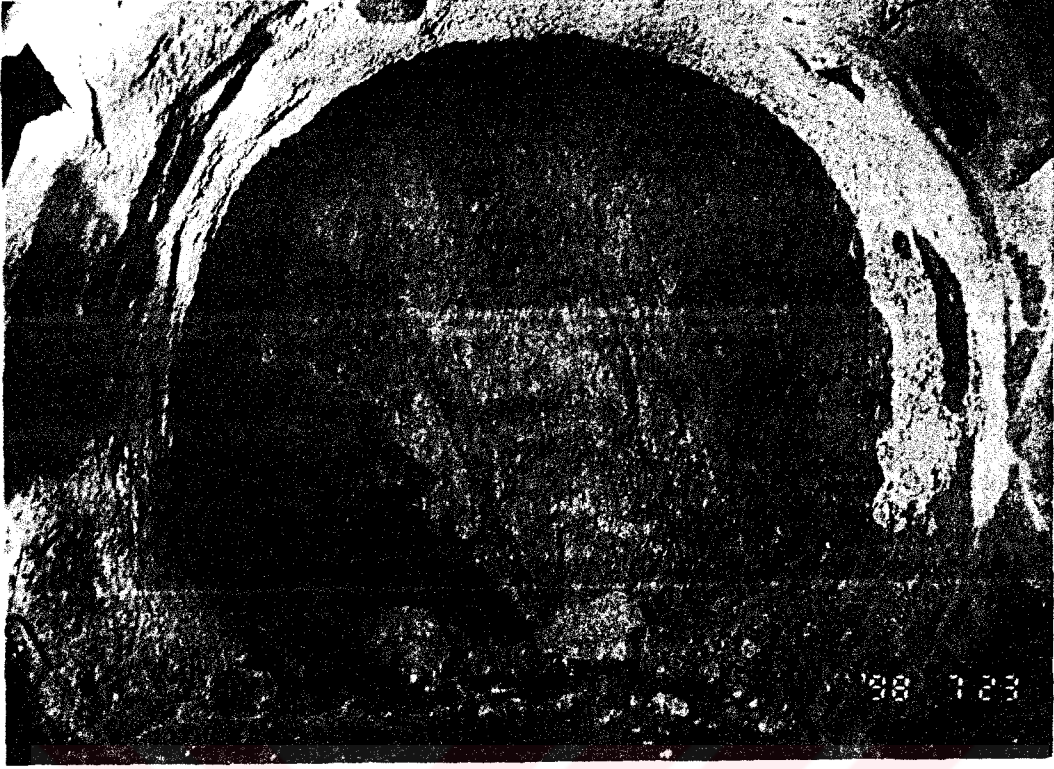
8.Aşırı oturma görülen yerlerde tarama işlemi yapılmıştır.Kabaran taban kısımlar kazılıp, yeniden yapılmıştır.Fazla miktarda destek sistemi uygulaması, kısa ilerleme uzunluğu ve erken ring kapatılması da ilerlemeyi yavaşlatmış, maliyeti arttırmıştır.

9.200 m. olarak öngörülen etkalınlığı Asarsuyu Tünellerinde ileride karşılaşılabilecek maksimum 210 m.'lik et kalınlığını hemen hemen kapsamaktadır.Elmalık tünelde hesaplama için düşünülen 150m.'lik etkalınlığı neredeyse 160 m. olan maksimum etkalınlığına tekabül etmektedir.Tünel yüzeyinde oturmalar kaydedilmiş olması bu 150 m.'lik kısmın emniyetli tarafta kalmadığını gösteriyor.

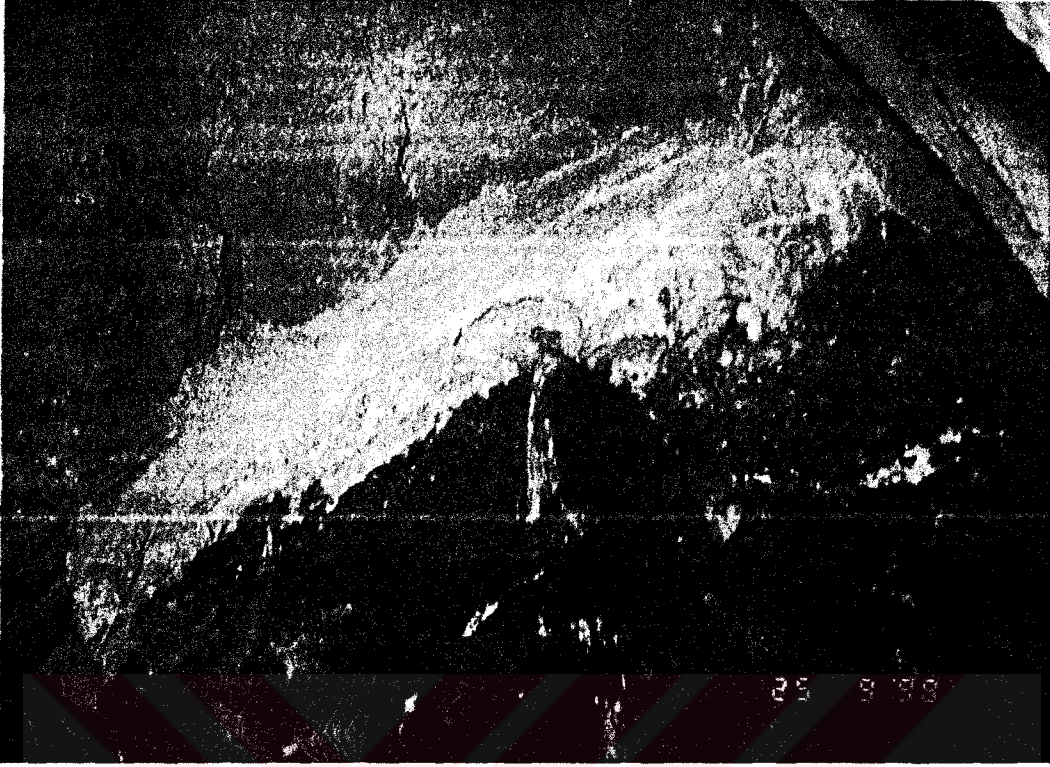
10.Deformasyonlara bağlı olarak eldeki destek sisteminin yeterli olmadığı fay zonlarında geliştirilen CM kaya sınıfı Asarsuyu Girişinde başarılı bir şekilde çalıştığı halde Elmalık Girişinde çalışmamıştır.

11.Tünelde ölçülen radyal gerilmeler sol yan duvarda ve tabanda sağ ayak altında yoğunlaşmaktadır.Buralarda ölçülen mutlak değerler sırasıyla 24.2 kg/cm² ve 33 kg/cm² olmuştur.Teğetsel gerilmeler değerlendirildiğinde tünelin sağ üst yarısında çok büyük (78 kg/cm²) kesit zorlanmalarının olduğu, sağ ayak altında ve tabanda önemsiz, sol yan duvarda ise orta şiddette teğetsel gerilmeler bulunduğu anlaşılmıştır.

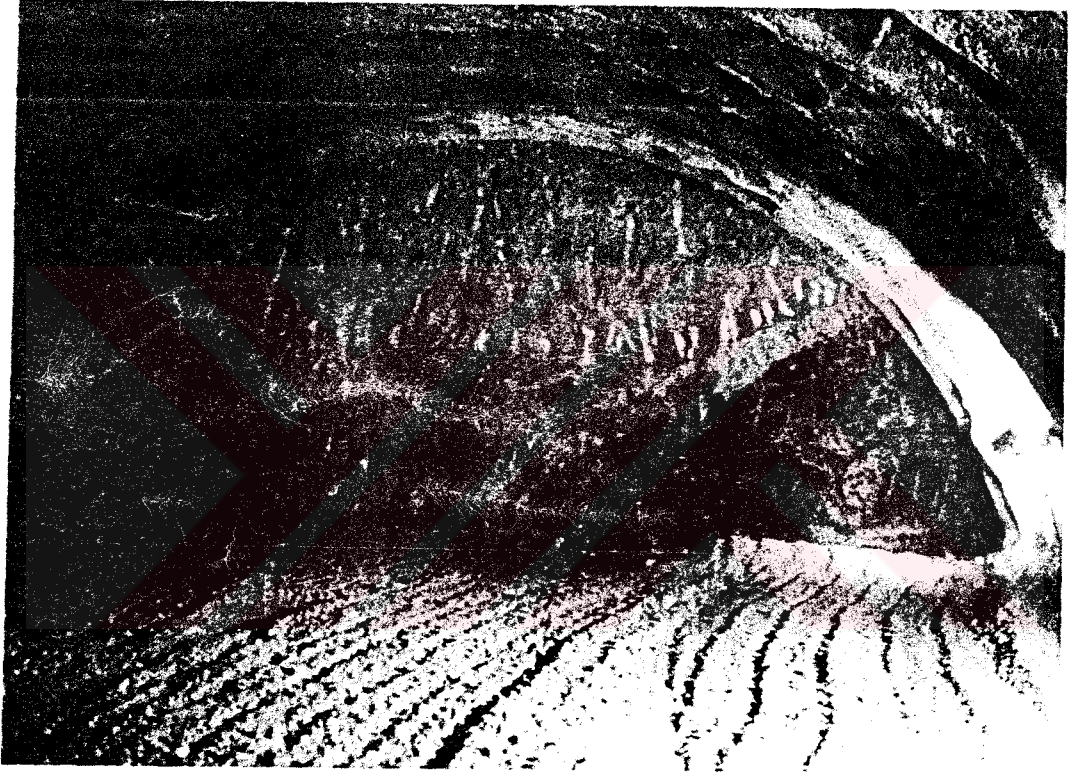
12.25.06.1997 tarihinde aşırı deformasyonların ve püskürtme betonundaki hasarların neden olduğu kritik durumu emniyete almak, yaklaşık 40 m. ilerleyen üst yarı kazısının çökmesini önlemek için Elmalık sağ tübünün üst yarısı çakılla doldurulmuştur.Sonunda, 27.06.1997 tarihinde Bolu Tünelinin Elmalık sağ tübünde (Km:54+095) aşırı deformasyonlardan dolayı püskürtme beton kaplaması ile tepe kitle halinde aşağı inmiştir.Üst yarıdaki göçük mekanizmasının incelenmesiyle fay



Şekil 3.82. Asarsuyu Girişinde deformasyona neden olan, dokanak boyunca gelişmiş fay killeri ve su.



Şekil 3.83. Asarsuyu girişinde karşılaşılan fay kili ve düzlemi.



Şekil 3.84. Asarsuyu girişinde metasediment-karbonatlı kumtaşı dokanağı.

kilinin zayıf malzeme parametreleri ile birlikte jeolojik özelliklerin hakim olduğu global bir zemin davranışının etkinliği sonucuna varılmıştır.

13.Deformasyon ölçümleri, ekstensometre, basınç ve gerilme ölçümleri yapılmaktadır.Bunların oluşumundaki jeolojik durumu ve ilerlemeyi de göz önünde tutarak devamlı olarak yorumlanması ve ölçümlerin sağlıklı bir şekilde alınması ileride karşılaşılabilecek aynı birimler ve destek sisteminin iyi bir biçimde değerlendirmesine olanak verecektir.Deformasyonun yoğun olduğu bölgelerde, deformasyonun sönümlenmesine bağlı olarak başlanan iç kaplama betonunun içine yerleştirilen jeoteknik aletler, kaplama betonu sonrası zeminin davranışının daha net anlaşılmasına olanak sağlayan farklı bir yöntemdir (Şekil 3.85.).

14.Bolu tünellerinde jeolojiye verilmesi gereken önem geç anlaşılmıştır.Sadece deformasyonların yoğun olan bölgelerin jeolojisi değil, genelin jeolojisine önem vermek gereklidir.Tünellerde yapılan haritalamaların amacı, kazının ilerisinde karşılaşılabilecek zemin şartlarının hemen tahmin edilmesi, projelendirilen iksaların uygunluğunun incelenmesi ve netice olarak, zemin deformasyonlarına ait jeoteknik izleme sonuçlarının da yorumlanmasıdır.

15.Tünellerde kaya sınıfının değiştirilmesinde jeolojik ve jeoteknik koşullar yer alıyorsa, kaya sınıfının jeoloji mühendisleri tarafından ele alınması daha akılcı olacaktır.Bu nedenle tünel jeoloji mühendisleri aktif konuma getirilmeli.

16.Aynada bulonlamanın sistematik değil, jeolojik şartlara göre yapılması, bu bulon delgilerinin plastik ortamlarda kuru olarak yapılması uygun olacaktır.Su ile killi zeminlerde yapılan delgiler sonucunda, kille dolgulu çatlaklarda su, deformasyonları, kaymaları ve şişmeyi körükleyecektir.

17.Asarsuyu Girişi sol tüpte kazılan kısımların ; %2 A2, %24 B2, %27 B1, %4 C1, %10 C2 ve %33 CM kaya sınıfı ile geçilmiştir.



Şekil 3.85. Asarsuyu girişinde iç kaplama beton içerisine yerleştirilmiş jeoteknik aletlerin ölçümü için hazırlanmış özel okuma ünitesi.

18.Tünellerde belirlenen bulon paterninin bazı kaya ortamlarında, kaya sınıfına uygun olmayan farklı boy, adet ve tipte uygulanması oluşturulacak elastik ortam için iyi bir durum değildir.Örneğin; SN bulonun çakılamadığı yerde IBO bulon çakılması.

19.Fiberli püskürtme beton kullanımı çok yerinde ve etkili bir karar.Çünkü daha önce yapılan, çelik hasır üzerine uygulanan püskürtme beton sonrası, çelik kuşak arkalarında boşluklar kaldığı saptanmıştır.Bu da iksa elemanlarının bütün olarak çalışmasını engeller.Fiberli püskürtme betonda ise, çelik kuşağın her yerine etki etmektedir (Şekil 3.86.).

20.Drenajı sağlanan yerlerde suyun tünel dışına sağlıklı aktarılamaması tünelin geri kısımları için uygun değildir.

21.Kaya sınıflarındaki değişimlerin çok kısa aralıkta yapılması, iksa elemanlarının yeterli çalışmasını engellemektedir.Örneğin; 2-3m.'de bir kaya sınıfı değiştirilmesi.

22.İç kaplama betonundan sonra uygulanan kontak enjeksiyonun, kaplama beton işlemi bittikten sonra iç kaplama betonu ile membran arasında kalabilecek boşlukların doldurulması açısından oldukça önemlidir (Şekil 3.87.).

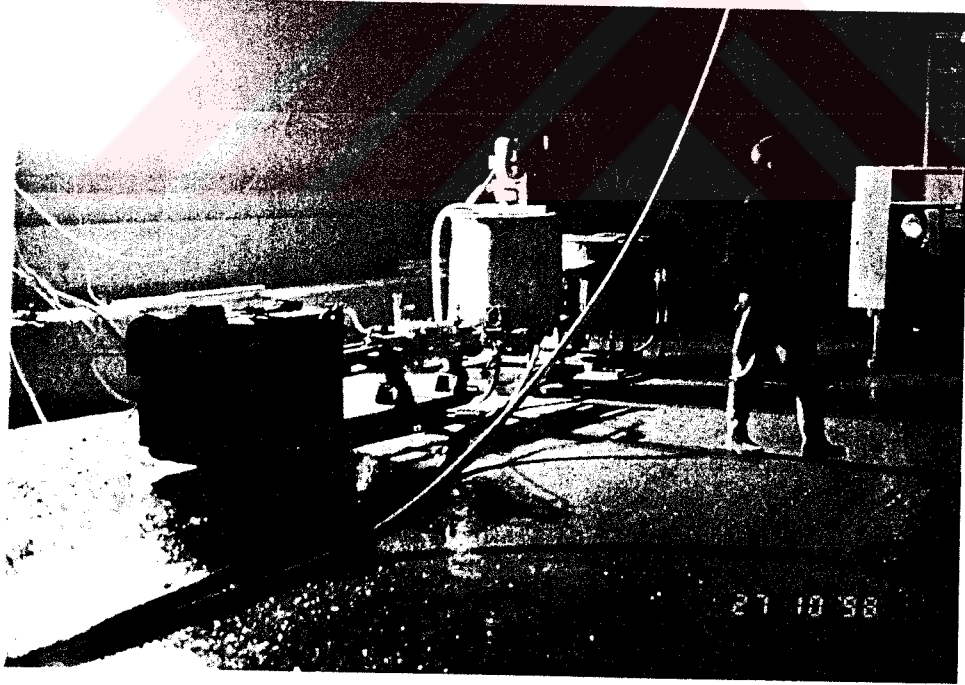
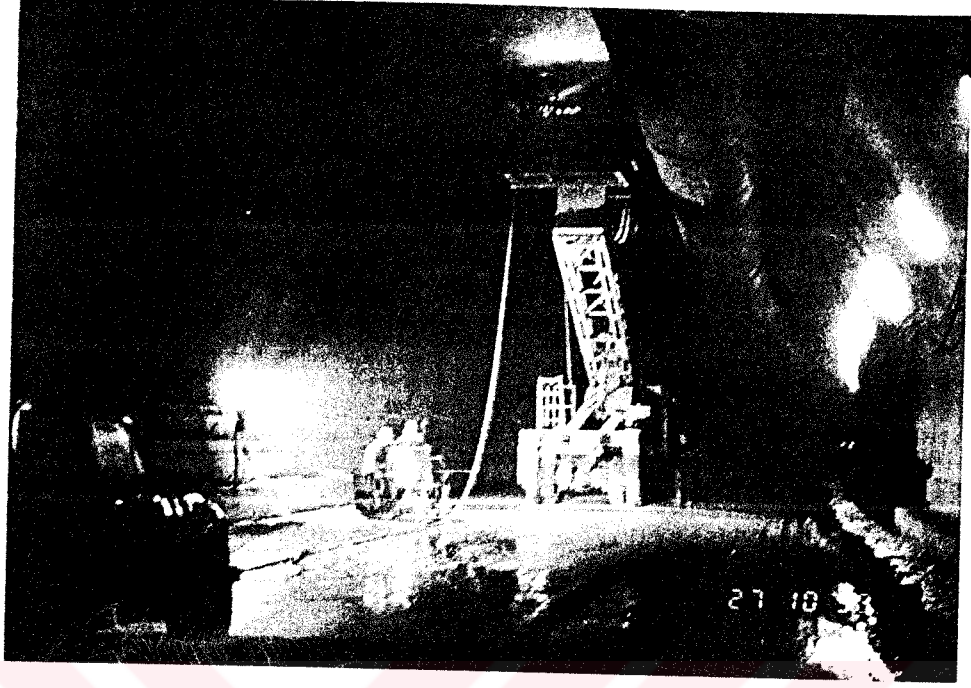
23.Aşırı deformasyona sebep olan, basınçlı suların bulunduğu kısımlarda açılan pilot tüneller (çok maliyetli olmasına rağmen) ana tünelin sağlıklı ilerlemesi açısından oldukça faydalı olmuştur (Şekil 3.88.). Elde edilen jeolojik ve jeoteknik veriler sayesinde yeniden projelendirmeler söz konusu olmuştur.

24.Bulonlarda yapılan çekme testleri,bulondaki uzamayı,bulonun hareketini ve çekme kuvvetlerini verecektir.(ISRM standartlarına göre).Buna göre seçilen bulonlar üzerinde “çekme test aleti” ile yapılan (Şekil 3.89.) testlerin %100'e yakını olumlu sonuç vermiştir.

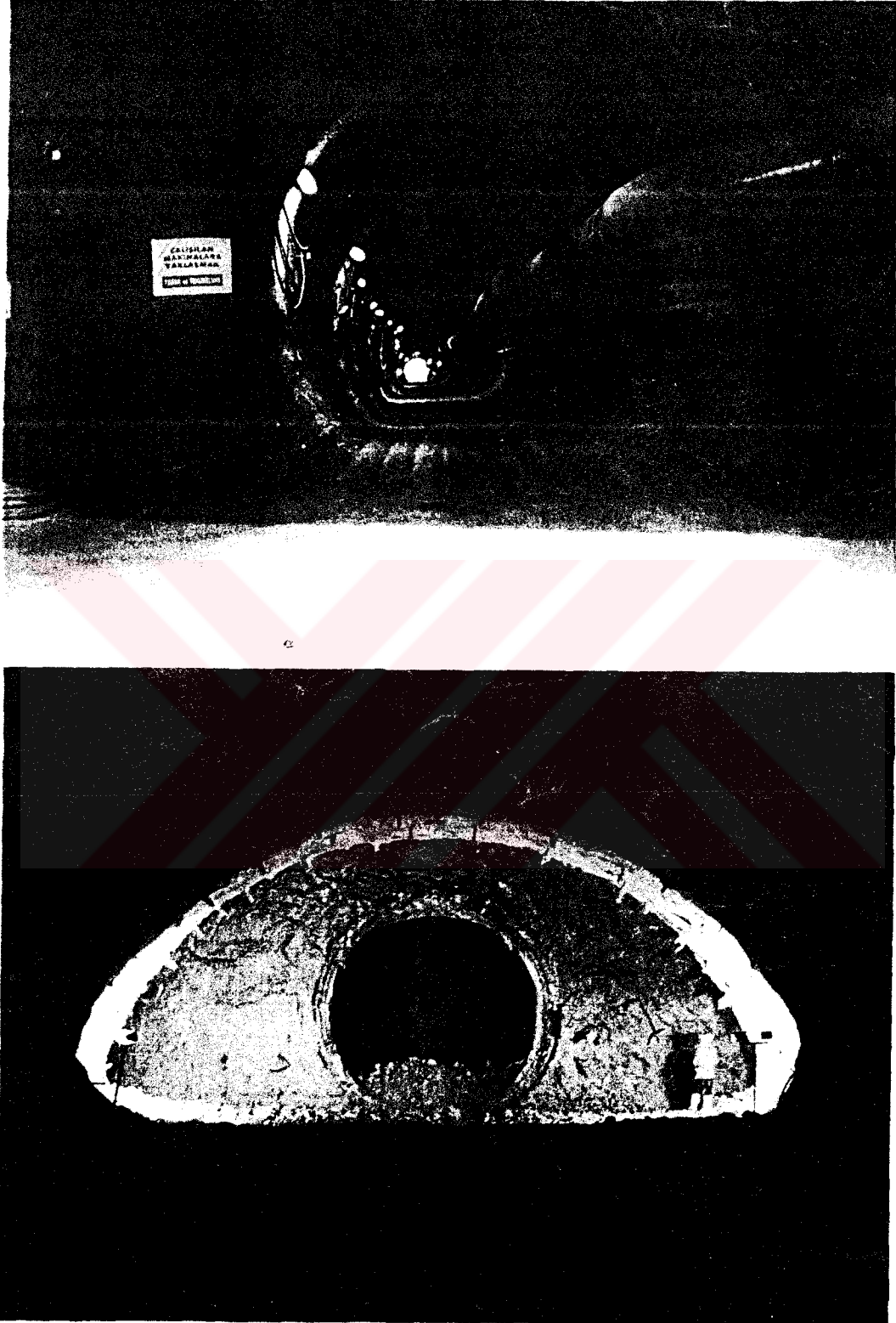
25.Tünelde yerleştirilen bulonlara verilen enjeksiyonun ne kadar önemli olduğu akıldan çıkartılmamalıdır.Bolu tünellerinde enjeksiyona verilen önem yeterlidir.



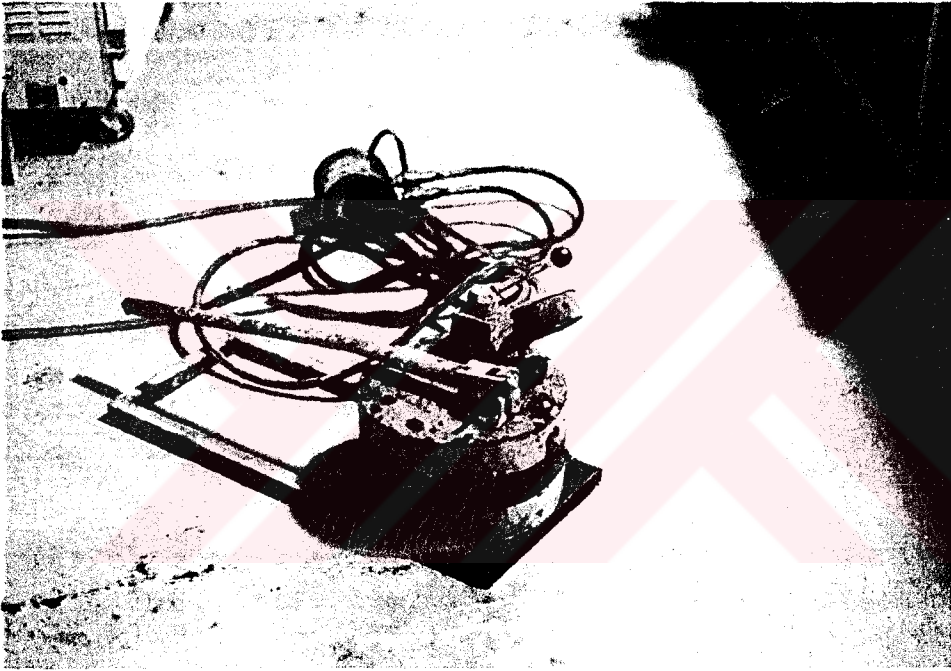
Şekil 3.86. Asarsuyu girişinde aynaya atılan fiberli püskürtme beton.



Şekil 3.87. İç kaplama beton sonrası yapılan kontak enjeksiyon.



Şekil 3.88. Jeolojik verilerin toplanması amacıyla açılan pilot tünel.



Şekil 3.89. Bulon çekme test aleti.

KAYNAKLAR

1. ASTALDI S.p.A.- BAYINDIR HOLDİNG A.Ş ORTAK GİRİŞİMİ , 1998. Laboratuvar Test sonuçları, Bolu.
2. BARKA, A., 1995. Updating Geological Research Results in The Bolu and Düzce Area, İTÜ Maden Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 9P., 14 figs., İstanbul.
3. BROWN, E.T., ISRM Suggested Methods.
4. DALGIÇ, S., 1994. Anadolu Otoyolu Bolu Dağı Geçişinin Mühendislik Jeolojisi, Doktora Tezi, İstanbul.
5. DSİ TEK.ARAŞ. VE KALİTE KONT. DAİRESİ BŞK.LİĞİ,1998.Asarsuyu tünellerinden alınan su örnekleri üzerinde yapılan trityum ve kimyasal test analiz sonuç raporu,Ankara.
6. GEOCONSULT,RAP.NO:45.110/2097, 1995. Bolu Tüneli Yeniden Projelendirilmesi Jeolojik Araştırma Raporu, Salzburg.
7. GEOCONSULT,GES.m.H., 1994. NATM Uygulamalı Yeraltı Tünel İşleri Teknik Şartnamesi, Salzburg.
8. HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ, 1996. Bolu Tüneli'nden Alınan Kaya ve Zemin Örnekleri Üzerinde Yapılan Deneylerin Sonuçlarına İlişkin Rapor, Ankara
9. HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ, Yerbilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi., 1998. Analiz Sonuçları, Ankara.
10. KARAYOLLARI GENEL MÜDÜRLÜĞÜ, NATM Uygulamalı Yeraltı Tünel İşleri Teknik Şartnamesi.
11. SCHUBERT, PETER., 1997. Bolu Tünellerinde Beklenen Jeolojik Şartlar ve Kabul Edilen Projenin Esasları Hakkındaki Rapor, Salzburg.
12. SCHUBERT, PETER., 1997. Bolu Tünellerine İlişkin Jeolojik-Jeoteknik Rapor, Salzburg.
13. SISGEO S.r.l COMPANY, Tunnel Monitoring, Instrumentation for Measuring and Monitoring Geotechnical and Geomechanical Parameters in Tunnels, Caverns and Underground Works,
14. ŞENTÜRK, C.H., 1997. Bolu Tunnel Left Tube Schematic Presentation of Drainage Holes Umbrella and Transversal Section Showing Drainage Holes In Brecciated Limestone.

15. ŞENTÜRK, C.H., 1997. Bolu Tüneli Jeolojik Açılım Haritası, Pafta no:45.110/S-028, Bolu.
16. ŞENTÜRK, C.H., 1998. Bolu Tunnel Asarsuyu Giriş Left Tube Actual Geological Outline, Bolu.
17. ŞENTÜRK, C.H., 1998. Bolu Tunnel Asarsuyu Giriş Right Tube Actual Geological Outline, Bolu.
18. ŞENTÜRK, C.H., 1998. Bolu Tunnel Right and Left Tube Plan View and Longitudinal Section, Pafta no:45.110/ S-039, Bolu.
19. ŞENTÜRK, C.H., 1998. Bolu Tüneli Asarsuyu Girişi Pilot Tünel Jeolojik Kesiti Km: 62+590-62+690, Bolu.
20. ŞENTÜRK, C.H., 1998. Bolu Tüneli Asarsuyu Girişi Pilot Tünel Jeolojik Kesiti Km: 62+494.40-62+590, Bolu.
21. ŞİMŞEK, O., ŞENTÜRK, C.H., YILMAZ, YALÇIN., 1999. Bolu Tüneli Sol Tüp Boy Kesiti, Bolu-Avusturya.
22. ULUSAY, R., AYDIN, Ö., ÜÇPİRTİ, H., 1996. Tünel Ekseni Boyunca Kaya Sıkıştırma Olasılığının ve Derecesinin Tahmini, Kaya Mekaniği Bülteni 12, Ankara.
23. VARDAR, MAHİR., 1997. Elmalık Ağzı Denetim ve Yönlendirme Ölçümleri, İstanbul.
24. YILMAZ, Y., 1997. Bolu Tüneli Jeolojik Açılım Haritası, Pafta no:45.110/S-025, Bolu.
25. YILMAZ, Y., ŞENTÜRK, C.H., 1997. Bolu Tüneli Jeolojik Açılım Haritası, Pafta no:45.110/ S-024, Bolu.
26. YILMAZ, Y., ŞENTÜRK, C.H., 1998. Bolu Mountain Left Tube Longitudinal Section, Bolu.
27. YILMAZ, Y., ŞENTÜRK, C.H., 1998. Bolu Mountain Right Tube Longitudinal Section, Bolu.
28. YÜKSEL & RENDEL ORTAK GİRİŞİMİ, 1996. Bolu Tünelleri, Tünel Kazı Sistemi Hakkında Ön Rapor, Bolu.
29. YÜKSEL & RENDEL ORTAK GİRİŞİMİ, 1997. NATM Projelendirmesi ile İlgili Müteahhit Talepleri için Mühendis'in Değerlendirmeleri, Bolu.

EKLER

- A. Bolu Dağı Tüneli Asarsuyu Girişi Jeolojik Açılım Haritası (Harita cilt'in arkasındaki cep kısmına yerleştirilmiştir.).
- B. Bolu Dağı Tüneli Sol Tüp Boyunca Alınan Jeolojik Boy Kesit (Harita cilt'in arkasındaki cep kısmına yerleştirilmiştir.).



ÖZGEÇMİŞ

1968 yılında Ankara’da doğdu. İlk, orta, lise öğrenimini Zonguldak iline bağlı Alaplı ilçesinde tamamladı. Liseyi ikinci olarak tamamladı ve 1986 yılında üniversiteye girdi. 1986 yılında girdiği KTÜ Jeoloji Mühendisliği bölümünden, 1987 yılında yatay geçişle İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği bölümüne geçti ve bu üniversiteden 1991 yılında Jeoloji Mühendisi olarak mezun oldu.

1996 yılında A.İ.B.Ü’de düzenlenen Kültür, Sanat, Spor etkinlikleri çerçevesinde düzenlenen “Bolu Dağı Tüneli’nin Jeoloji-Jeoteknik Sorunları ve Çözümleri” adlı konferansa katıldı ve teşekkür belgesi aldı.

1997 yılında A.İ.B.Ü’nin düzenlediği Ormancılık Haftası Konferanslar kapsamında “Kaynaşlı’nın Jeolojisi ve Sel Sorununa Yönelik Öneriler” adlı paneli sundu ve teşekkür belgesi aldı.

1993 yılında girdiği Astaldı S.p.A firmasında 5.5 yıl Tünel Jeoloji Mühendisi olarak çalıştı. 1998 yılı sonunda ayrıldığı bu şirketten sonra, Nurol-Tekfen-Yüksel Ortak Girişimi’nin üstlendiği Bolaman-Perşembe Bölünmüş Devlet Yolu işinde Tünel Vardiya Amiri olarak görev yapmaktadır.

Evli, bir çocuk babasıdır.

ÖZGEÇMİŞ
EĞİTİMİ
İŞ GÖRÜŞÜMLERİ