



MÜHENDİSLİK JEOLJİSİ

TÜRK MİLLİ KOMİTESİ

BÜLTENİ

2217 SAYI
YIL KASIM 1999

10. YILINDA ERGUVANLI'YI ANMA KOLLOKYUMU

YERALTI KAYA YAPILARINDA MÜHENDİSLİK JEOLJİSİ

İSTANBUL

YÖNETİM KURULU

Başkan	: Prof. Dr. Erdoğan YÜZER (İTÜ MADEN FAK.-İSTANBUL)
Genel Sekreter	: Prof. Dr. Okay EROSKAY (KÜLTÜR ÜNİV. İSTANBUL)
Sayman	: Dr. Erdal ŞEKERCİOĞLU (DSİ JEOTEKNİK HİZ.-ANKARA)
Üye	: Prof. Dr. Aziz ERTUNÇ (Ç. Ü. MÜH. FAK.- ADANA)
Üye	: Prof. Dr. Nejdett TÜRKK (D. E. Ü. MÜH. FAK.- İZMİR)
Üye	: Doç. Dr. Recep KILIÇ (A.Ü. FEN. FAK.-ANKARA)
Üye	: Doç. Dr. Reşat ULUSAY (HACETTEPE ÜNİV.-ANKARA)

YAYIN DANIŞMA KURULU

Prof. Dr. Ergün TOĞROL (İTÜ)
Prof. Dr. Aziz ERTUNÇ (ÇÜ)
Prof. Dr. Okay GÜRPINAR (İÜ)
Prof. Dr. Remzi DİLEK (KTÜ)
Prof. Dr. Fikret TARHAN (KTÜ)
Prof. Dr. Vedat DOYURAN (ODTÜ)
Prof. Dr. Mahir VARDAR (İTÜ)
Prof. Dr. Erçin KASAPOĞLU (HÜ)
Prof. Dr. Gültekin GÜNAY (HÜ)
Prof. Dr. Şakir ŞİMŞEK (HÜ)
Prof. Dr. Nejdett TÜRKK (DEÜ)
Doç. Dr. Reşat ULUSAY (HÜ)
Doç. Dr. Recep KILIÇ (AÜ)
Doç. Dr. Remzi KARAGÜZEL (SDÜ)

Bu sayının baskısı TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası tarafından gerçekleştirilmiştir.

YAZIŞMA ADRESİ

Prof. Dr. E. YÜZER
İTÜ Maden Fak. Uygulamalı Jeoloji Anabilim Dalı
Ayazaga Kampüsü, 80626 MASLAK-İstanbul Tele Fax: 0212 2856146

Prof Dr. Okay EROSKAY
İstanbul Kültür Üniversitesi
E5 Karayolu Üzeri, Şirinevler-İstanbul



10. Yılında ERGUVANLI Anısına

**YERALTİYAPILARINDA
MÜHENDİSLİK JEOLJİSİ KOLLOKYUMU**
15-16 Kasım 1999

PROF. DR. İHSAN KETİN KONFERANS SALONU
İTÜ AYAZAĞA KAMPUSU MADEN FAKÜLTESİ

KOLLOKYUM BAŞKANLARI

Prof. Dr. Naci GÖRÜR
(İTÜ Maden Fak. Dekanı)

Prof. Dr. Ertoğan YÜZER
(MİTMEK Başkanı)

**DÜZENLEME VE YÜRÜTME
KURULU**

Prof. Dr. Mahir VARDAR (Başkanı)
Prof. Dr. Okay EROSKAY
Prof. Dr. Nuh BİLGİN
Prof. Dr. Okay GÜRPINAR
Doç. Dr. Mustafa ERDOĞAN
Doç. Dr. Ali ERGUVANLI
Doç. Dr. Recep KILIÇ
Doç. Dr. Reşat ULUSAY
Yrd. Doç. Dr. Yılmaz MAHMUTOĞLU
Dr. Erdal ŞEKERCİOĞLU

**BİLİMSEL VE TEKNİK DANIŞMA
KURULU**

Prof. Dr. Ergin ARIOĞLU
Prof. Dr. Vedat DOYURAN
Prof. Dr. Turan DURGUNOĞLU
Prof. Dr. Aziz ERTUNÇ
Prof. Dr. Akın ÖNALP
Prof. Dr. Kutay ÖZAYDIN
Prof. Dr. Ahmet SAĞLAMER
Prof. Dr. Fikret TARHAN
Prof. Dr. Ergün TOĞROL
Doç. Dr. Hasan TOSUN
Prof. Dr. Necdet TÜRK
Doç. Dr. İlyas YILMAZER
Dr. Müh. Başar ARIOĞLU
Dr. Müh. Karhan DADAŞBİLGE
Yük. Müh. Celal AKIN
Yük. Müh. Tufan DURGUNOĞLU
Yük. Müh. Ceyhan KALAFATOĞLU
Yük. Müh. Erdal TÜRDO

TEŞEKKÜR

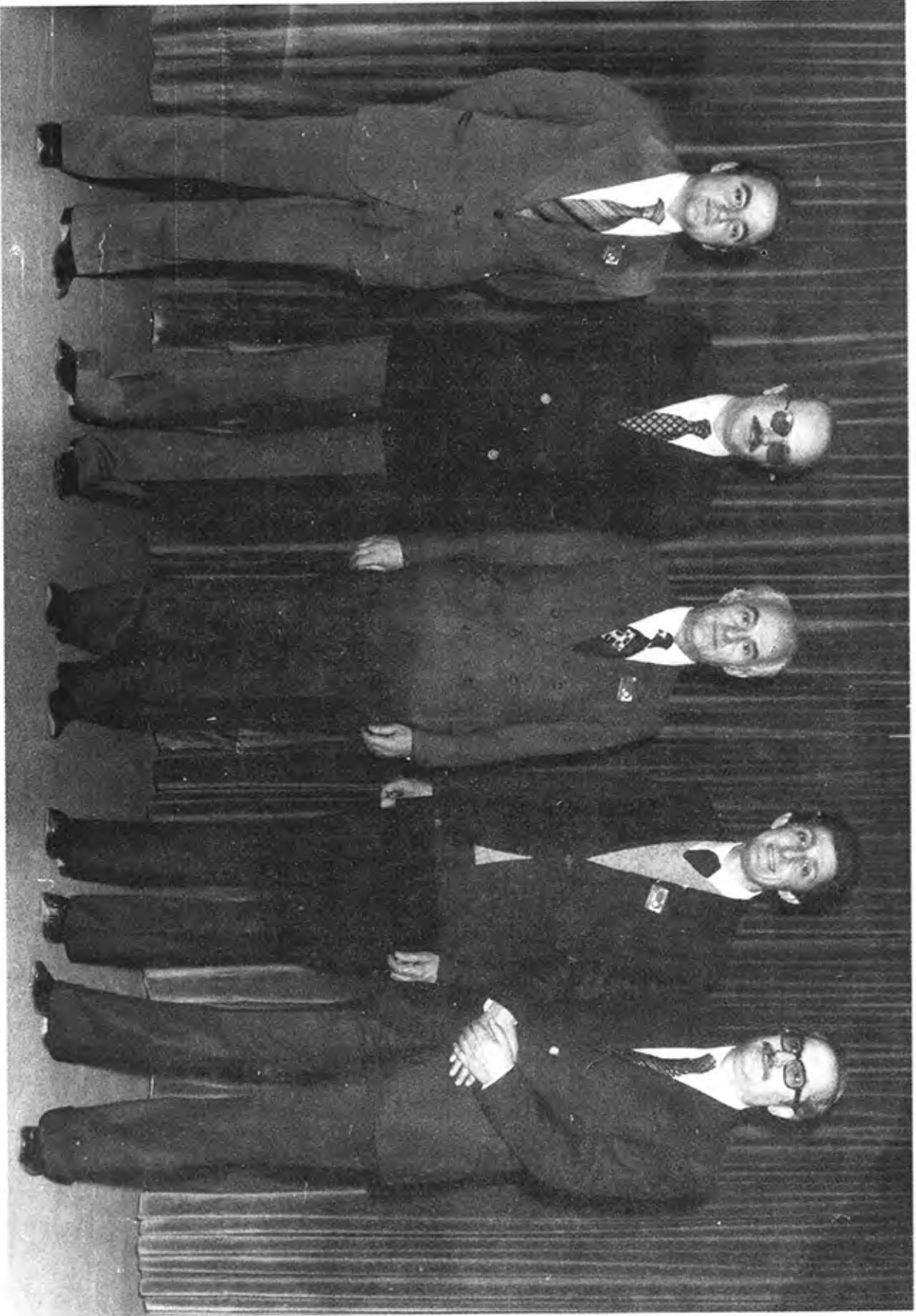
"10. Yılında ERGUVANLI MÜHENDİSLİK JEOLJİSİ KOLLOKYUMU"nda bildiri sunan, toplantıya gelerek katkı sağlayan ve kollokyumun sosyal etkinliklerine destek veren aşağıdaki kurum, kuruluş ve kişilere en içten teşekkürlerimizi sunarız.

- İTÜ Rektörlüğü
- Yurt Madenciliğini Geliştirme Vakfı
- Yapı Merkezi Holding
- Ytong A.Ş.
- Geoteknik A.Ş.
- Yüksel Proje A.Ş.
- Zetaş A.Ş.
- Gülsan A.Ş.
- Tekyapım A.Ş.
- Sial A.Ş.
- Canoğulları Madencilik A.Ş.
- Akdağlar Madencilik A.Ş.
- Ertaşlar Denizcilik A.Ş.
- Lafarge Aslan Çimento A.Ş.
- Set Beton A.Ş.
- Jeoloji Y.Müh. Erkan TARHAN
- Jeoloji Müh. Cumhur DURAL

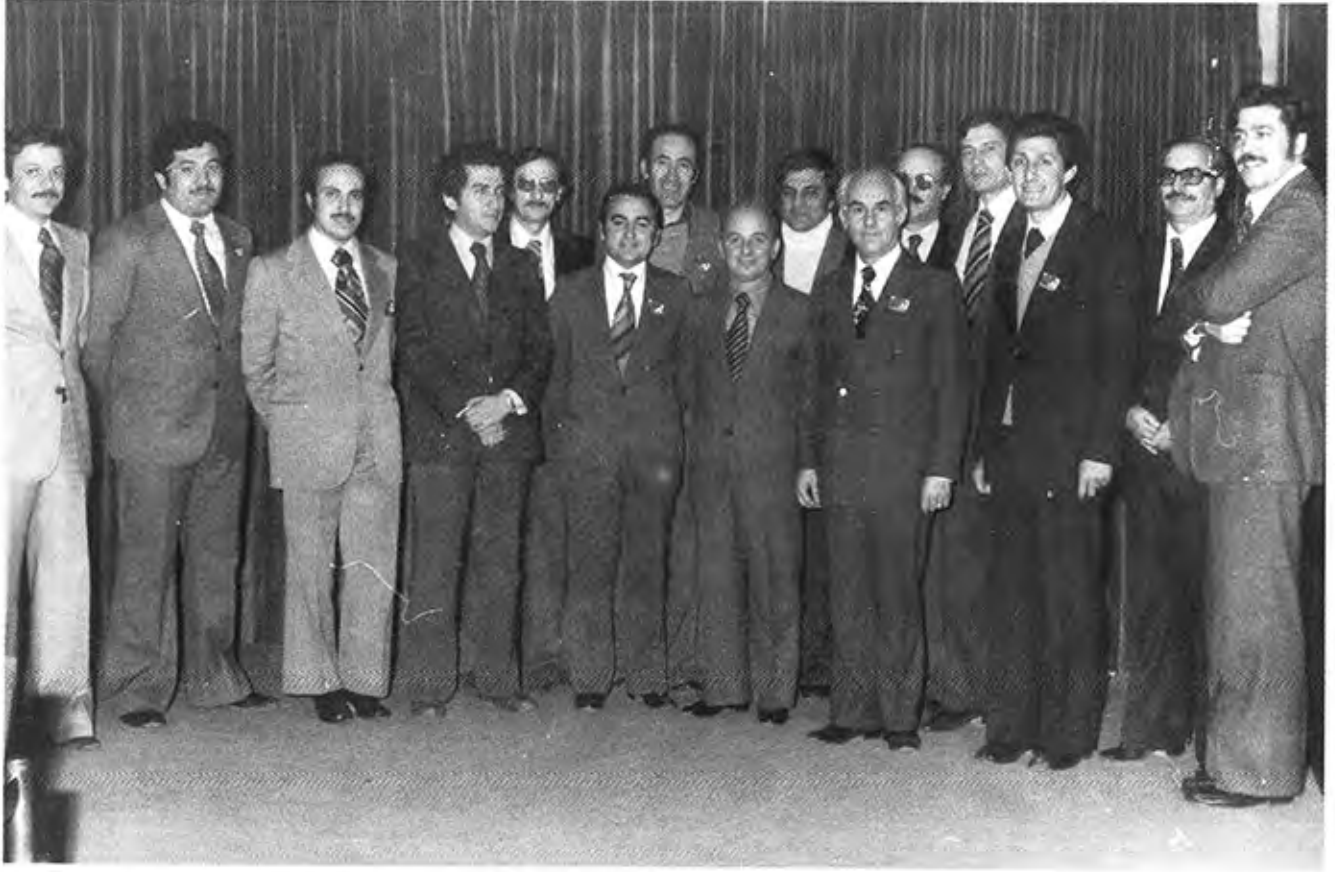
Kollokyum
Düzenleme ve Yürütme Kurulu

İÇİNDEKİLER CONTENTS

- ◆ Yönetim Kurulu Yazısı O. Eroskay
- ◆ Mühendislik Jeolojisinin Türkiye'deki Mimarı E. Yüzer
Founder of Engineering Geology in Turkey
- ◆ Prof. Dr. Kemal Erguvanlı E. Arıoğlu
- ◆ Zemin Mekaniği ve Mühendislik Jeolojisi İlişkileri Üzerine Düşünceler R. Ülker
Considerations on Relationship Between soil mechanics and Engineering Geology
- ◆ Türkiye'deki Yeraltı Kaya Yapılarının Tasarım ve Uygulamasında Mühendislik Jeolojisinin Yeri ve Önemi M. Vardar
The Place and Importance of Engineering Geology on Design and Application of Underground Rock Structures in Turkey
- ◆ Deniz Kenarında Hafriyat A. T. Durgunoğlu
Excavation Near the Shore İ. Ekşioğlu
A. Mungan
- ◆ Yeraltı Kazılarında Bazaltın Ayrışma Derecesinin Destek Tipi Seçimine Etkisi A. Kocbay
The Effect of the Alteration Degree of the Basalt on the Selection of Support System in Underground Excavation R. Kılıç
- ◆ Kılıçkaya Barajı (Sivas) Göl Alanındaki Heyelanların Mühendislik Jeolojisi E. Karacan
Engineering Geology Investigation of the Landslides in Kılıçkaya (Sivas) Dam Reservoir Area F. Aral
O. Cerit
- ◆ Masif-Kırılgan Kaya Kütlelerinde Açılan Tünellerde Stabilité Sorunları E. Arıoğlu
The Stability Problems of Tunnels in Massive -Brittle Rocks B. Arıoğlu
C. Girgin
- ◆ Ayaş Tünelinde ve Baskılı Ortamlarda Tünel Açım Sorunları Y. Mahmutoglu
The Problems of Soft Ground Tunneling at Ayaş M. Vardar
E. Yüzer
- ◆ İstanbul Metrosunda Geçilen Kayaçların Yeraltı Kazıları Açısından Yorumu İ. Eriş
Evaluation of Rocks for Underground Excavation Along the Subway Route of İstanbul
- ◆ RMR Kaya Sınıflama Sistemine Göre Büyük Yeraltı Açıklıklarının Tahkimat Ö. Aydan
A Proposal For the Design of the Support System of Large Underground Openings According to RMR Classification System T. Kawamoto
- ◆ Volkanik Arazilerde Yer Seçimine Yeni Bir Yaklaşım R. Kılıç
A New Approach For Site Selection in Volcanics R.P. Bilgehan
- ◆ Beypazarı Trona Sahası Ana Giriş Desandresini Kesen Sondajlara Ait M. Y. Koca
Correlation of the Geotechnical Parameters of the main Drift Boreholes of Beypazarı Trona Field C. Kınal
- ◆ Basıncılı Su Tünel ve Şaftlarının Tasarım Esasları ve Ülkemizdeki Uygulamalar H. Tosun
Design Principles of Pressurized Tunnel and Shafts and Case Study in Turkey
- ◆ Boztepe Barajı (Malatya) Çevirme Tüneli Güzergahının Jeoteknik İncelemesi Z. Gürocak
Geotechnical Investigation of the Deversion Tunnel Alignment at Boztepe Dam (Malatya/Turkey) R. Kılıç



Mühendislik Jeolojisi Türk Milli Komitesi 2. Genel Kurulu Üyeleri (1978).



Mühendislik Jeolojisi Türk Milli Komitesi 1. Yönetim Kurulu Üyeleri (1978).



Mühendislik Jeolojisi Türk Milli Komitesi bugünkü Yönetim Kurulu Üyeleri (1998).

22 YILDA 17 BÜLTEN VE TÜRKİYE GERÇEĞİ

1976 yılında kurulan **Mühendislik Jeolojisi Türk Milli Komitesi** ilk bültenini, 1978 yılında çıkarmıştır. Amaç, her yıl en az bir bültenin çıkarılması iken, geçen 22 yıl içinde tüm çabalara karşın ancak 17 sayı çıkarılabilmekmiştir.

Ülkemizde salt bilimsel amaçlı bu tür uğraşların ne oranda başarıya ulaştığı bilinen bir gerçek... Sayısı 20'yi aşan **Jeoloji Mühendisliği Bölümü** olan ve her yıl yüzlerce mezunlarından azımsanmayacak bir bölümü **Mühendislik Jeolojisi'nin** çeşitli alanlarında çalışan bir ülkede, amacı onları bir çatı altında toplamak olan bu komitenin aidatını ödeyerek, **Uluslararası Bültenin** sayılarını ve bu **Türkçe Bülteni** almaya hak kazanan sadece 55 bireysel ve 5 kurumsal aktif üyesi var! Kuşkusuz bu sayılar, batı komşularımız ve diğer gelişmiş ülkelerle karşılaştırıldığında, her alanda alışageldiğimiz uçurumu gösteriyor! Deyim yerinde ise “bir avuç insan” yıllardır, inandıkları uğruna çabalayıp duruyor. Hem de her şeye rağmen, umutlarını yitirmeden, kendilerine boylarından büyük hedefler çizerek !.. Kuşkusuz bu inançta, komitenin seneler önce “Maya”sını çalan, merhum **Prof.Dr. Kemal ERGUVANLI** hocamızın unutulmaz emeği ve inada varan gayretleri var!..

Bu sayıya eklediğimiz 2 fotoğraf, bizleri “O yıllara” götürüyor!

Geçtiğimiz yıl, yaşadığı sürece bitmek tükenmek bilmeyen enerjisi, yoğun ve titiz çalışmaları ile ülkemizde mühendislik jeolojisi disiplininin kurulmasında, kökleştirilip geliştirilmesinde çok önemli katkılar sağlayan hocamızı kaybedişimizin 10. Yılı idi... 15-16 Kasım 1999 tarihlerinde **Prof.Dr. Kemal ERGUVANLI'nın** kurucusu olduğu **Uluslararası Mühendislik Jeolojisi Türk Milli Komitesi** ile, yıllarca hizmet verdiği,

İTÜ Maden Fakültesi birlikte bir **Kollokyum** düzenledi. Kollokyumun konusu, giderek artan derin kazılar, tüneller, metrolar gibi yer altı kaya yapılarının çeşitli aşamalarında gereken mühendislik jeolojisi çalışmaları olarak belirlendi... Kollokyuma, ülkemizin çeşitli üniversitelerinden ve uygulayıcı kuruluşlarından **100'den fazla** meslekdaşımız katıldı..Bu sayıda, kollokyumda sunulan ve başıma hazır hale getirilen bildirilerin çoğu yer alıyor..

Hocamızın öğrencileri olarak, onun yaşama sevincini ve bilime dayalı birleştirici, hoşgörülü ve somut çözümler getirici yanlarını, özellikle onu tanıma şansını elde edemeyen genç meslekdaşlarımıza yansıtmaya amaçlı yazılara da yer verdik bu sayıda... Bunlardan ilki, hocanın **“İnsanın değeri sağlığında bilinmeli”** diye özetlenebilecek **“doğru”**sunu yerine getirmek için **29-30 Eylül 1988'de** düzenlenen **“ERGUVANLI MÜHENDİSLİK JEOLJİSİ SEMPOZYUMU”**nda yer alan bir yazı.. **“Mühendislik Jeolojisinin Türkiye'deki Mimarı Prof.Dr. Kemal ERGUVANLI”** başlığını taşıyor.. 11'inci sayımızda yayınlanan bu yazıyı, virgülüne dokunmadan aynen yayınlıyoruz.. Sadece son cümleye **“... hocamızı Onuncu yılında tükenmiyen bir sevgi, gittikçe büyüyen bir özlemle anıyoruz”** diyerek, bugünkü duygularımızı dile getiren bir eklenti ile...

İkinci yazı, hocamızın değerli öğrencisi **Dr. Müh. Ersin ARIOĞLU'**na ait... İmzası olmasa bile, **ARIOĞLU'**nun kaleminden çıktığı buram buram belli olan, sevgi ve duygu yüklü bir anı demeti..

Ülkemizde **17 Ağustos 1999** ve **12 Kasım 1999** tarihleri, yaşanması hiç istenmiyen, izleri de yıllarca silinmiyecek **iki kara gün** olarak anılacak... Bu tarihlerden sonra, yerbilimleri değişik yönleri ile kamuoyunun gündemine geldi.. Ne yazık ki, neredeyse tüm gündemi, **“Türkiye bir deprem ülkesi, bilinmiyen zamanlarda, bilinmiyen yerlerde ama mutlaka depremler olacak! Önemli olan, yerimizi nasıl doğru seçer, nasıl doğru binalar yaparız!”** gerçek mesajının verilmesi yerine, Marmara Bölgesinde yaşayanlara adeta **“kabus”** yaşatan, **“Fay Haritaları”** oluşturdu. Bunlara günler, aylar

ayrıldı... Hala da sürüp gidiyor! Bu gerçek, toplumumuzda, içinde ancak “**Korku ve Dehşet**” ögesi fazla olan açıklamaların “**haber niteliği**” taşıdığını açıkça gösteriyor!

Geçen yıl **Nepal**’de yapılan Uluslararası Mühendislik Jeolojisi Sempozyumunda, Komitemizi, üyemiz **Doç.Dr. Atiye TUĞRUL** temsil etti. Bu toplantıda, **2003 yılı Eylül**’ünde, ülkemizin ev sahipliğini yapacağı bir Uluslararası Sempozyumu komite olarak düzenlemek istediğimizi önerdik. Kıvançla belirtelim ki, bu önerimiz uygun bulundu ve “**INDUSTRIAL MINERALS AND BUILDING STONES**” konusundaki bir sempozyumun, Uluslararası Komitenin desteği ile **2003 yılı Eylül**’ünde **İstanbul**’da düzenlenmesi kabul edildi. Bu heyecan verici gelişme, hepimize haklı bir gurur veriyor... Kuşkusuz, o ölçüde de sorumluluk yüklüyor. **2000 Haziran**’ında **Ankara**’da yapılacak **Genel Kurulumuzda** bu konuyu çeşitli yönleri ile tartışıp, hazırlıklarımızı planlamayı düşünüyoruz.

Milli Komitemiz **1981** yılında “**Engineering Geology of Soluble Rocks**” konusundaki Uluslararası bir sempozyum düzenleyerek ev sahipliği yapmış ve çok olumlu bir sınav vermişti.. 22 yıl sonra bir ikincisini ancak düzenleyebileceğiz demek ki!.. Bu da Türkiye’nin başka bir gerçeği!

Uluslararası Komitenin geçmiş dönem başkanı komşumuz Yunanistan’dan Atina Üniversitesinden **Prof.Dr. Paul MARINOS** idi... Kendisi ile Marmara Depremi dolayısı ile İstanbul’da düzenlenen bir sempozyumda biraraya gelme olanağını bulduk... Düzenleyeceğimiz **2003 Sempozyumu** için Uluslararası desteğin sağlanması konusunda “**Dost Sözü**” aldık!..

Kısacası, yukarıda sözünü ettiğimiz “**bir avuç insan**” , “**Türkiye Gerçeği**”ne rağmen, heyecan duyuyor, bunu yaygınlaştırmak için sorumluluk yükleniyor. Güvencemiz, başta siz değerli, vefakar üyelerimiz olmak üzere, tüm meslekdaşlarımız ve umulmadık zamanda, umulmadık işler yaptığını kanıtlayagelen, **Türk İnsanı!**. Yolumuz açık olsun!.

Önümüzdeki 3 yılı, ülkemizdeki Mühendislik Jeolojisi çalışmalarını, yurtdışında, olabildiğince yoğun şekilde tanıtmakla geçirmekte yarar görüyoruz. Bu arada, Uluslararası Bültenin, Şubat 2000 sayısında, makaleleri yayınlanan üyelerimiz. S. DALGIÇ, F. BULUT, S. BOYNUKALIN, F. TARHAN ve E. ATAÖĞLU'nu kutluyoruz.

Bu sayımızı, son yıllarda olduğu gibi, yine **Jeoloji Mühendisleri Odamızın** çok değerli ve anlamlı destekleri ile çıkarıyoruz. Kendilerine teşekkürlerimiz sonsuz...

Bu vesile ile yeni göreve gelen Odalar Yönetim Kurulu Üyelerini, Başkan Sayın **Aydın ÇELEBİ**'nin şahsında kutluyor, içten başarılar diliyoruz.

Değerli Üyelerimiz,

Desteklerinizle ayakta durarak, **Mühendislik Jeolojisi Disiplinini** bir “**Gelenek**” olarak geleceğe taşıma sorumluluğunu duyanlar adına, başarı dileklerimizle birlikte selam ve sevgilerimizi sunuyoruz.

İstanbul
Nisan 2000

Mühendislik Jeolojisi
Türk Milli Komitesi
Yönetim Kurulu

MÜHENDİSLİK JEOLojİSİNİN TÜRKİYE'DEKİ MİMARİ

Prof. Dr. Kemal ERGUVANLI

FOUNDER OF ENGINEERING GEOLOGY IN TURKEY

Erdoğan YÜZER*



*Hayatta destlarla böyle birinci
şümlesi yaşamak, bu fani
insan için en büyük
mutluluktur.*

*1 Ekim 1988
Hidayet - İstanbul
Erguvanli*

Onuruna "Mühendislik Jeolojisi Sempozyumu" düzenlenen Prof. Dr. Kemal Erguvanli, ülkemizde Jeoloji mühendisliği disiplininin kurulmasında, kökleştirilip, geliştirilmesinde en büyük katkırı sağlayan hocamızdır. Bu nedenle Prof. Dr. K. Erguvanli'nin özgeçmişini sunmanın, bir anlamda Türkiye'de mühendislik jeolojisinin ve jeoloji mühendisliğinin gelişim sürecini belirleme ile özdeş olduğunu söyleyebiliriz.

1920 yılında İstanbul'da doğan Erguvanli, ilk ve orta öğrenimini, 1930-38 yılları arasında Darüşşafaka Lisesinde tamamlamıştır. Darüşşafakada çocukluktan, delikanlılığa geçiş döneminde geçirilen bu yılların ve etrafında oluşan ortamın, Erguvanli'nin bundan sonraki yaşamında, kendine özgü bir düşünüş ve yaşam felsefesini benimsemesinde ve engin bir insan sevgisi ile yoğrulmasında çok önemli katkıları olmuştur.

Yüksek öğrenimini 1944 yılında İstanbul Üniversitesi, Fen Fakültesinde tamamlamış ve aynı yıl İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Jeoloji Kürsüsüne asistan olarak girmiştir. 1944-48 yılları arasında, rahmetli hocamız Ord. Prof. Malik Sayar'ın yanında, uygulamalı Jeolojiye yönelik bir konuda (Hereke Pudingleriyle Gebze Taşlarının İnşaat Bakımından Etüdü ve Civarının Jeolojisi, 1949) doktora tezini hazırlamıştır. Bu tez, Yüksek Mühendis Mektebinden, Teknik, Üniversiteye dönüşen İstanbul Teknik Üniversitesinde yapılmış "İlk" doktora tezidir. Bu ilk doktora şeklinin 40 yıl sonra bugün de aynen kullanılması çok anlamlıdır. Erguvanli'nin bundan sonraki dönemlerde de bunun gibi birçok "İlk" olayı başlattığı görülecektir.

Teknik Üniversitedeki akademik görevinin İnşaat Fakültesi bünyesinde başlamış olması ve İnşaat mühendisleri ile yakın ilişkisi bulunması Erguvanli'nin "İnşaat İşlerinde

* Prof. Dr. İ.T.Ü. Maden Fakültesi Dekanı, Sempozyum Düzenleme Komitesi Başkanı.

Jeoloji", "Mühendislik Jeolojisi" ve nihayet "Jeoloji Mühendisliği" konularını Türk mühendislik dünyasının gündemine getirmesinde başlıca etken olmuştur. İnşaat mühendisleri ile başlayan bu ilişkileri, ilk yılların heyecanlı canlılığı ve hevesi içinde bugün de sürmektedir.

1948-52 arasındaki yıllar, bir yandan inşaat mühendisliği öğrencilerine "Jeoloji" öğretimi, bir yandan MTA adına Türkiye'nin çeşitli yörelerinde yapılan arazi çalışmaları, bir yandan da yine uygulamalı jeolojiye yönelik bir konuda (Bilecik Taşları ile Osmaneli Grölelerinin İnşaat Bakımından Etüdü ve Civarlarının Jeolojisi, 1952) doçentlik tezinin hazırlanması ile geçmiştir. Bu yıllarda, Türkiye'de jeoloji öğreniminin tarihsel gelişiminin Erguvanlı tarafından merak edildiğini ve araştırılmaya başlandığına da tanık oluyoruz. (Halil Ethem ve Jeoloji, 1948). Bu merak, daha sonraki yıllarda "Bilim Tarihi" tutkusuna dönüşerek sürmüş ve Türkiye madencilik ve yerbilimleri tarihi ile ilgili birçok araştırma ve yayının yapılmasını sağlamıştır (Jeoloji kongreleri ve Türkiye, 1950; Türkiye'nin ilk maden mühendisi, İbrahim Ethem Paşa, 1952; Dr. Abdullah Beyin Hayatı ve Eserleri, 1954, vb. Yayınlarına bak.)

1952 yılında İTÜ İnşaat Fakültesinde doçent olan Erguvanlı, bu üniversitenin beşinci fakültesi olarak, ilave edilen Maden Fakültesinin kuruluşuna (1953) önemli katkılarda bulunmuş ve bu yıldan itibaren, Maden Fakültesine geçerek, fakültenin, en genç öğretim üyesi olarak kurallarına katılmıştır.

1954-57 arasındaki yıllar, Londra Üniversitesi, Imperial College'de mühendislik jeolojisinin özel bir alanında, "Baraj Yeri ve Rezervuar Jeolojisi" konusunda araştırma yapmakla geçmiştir. Bu yıllarda, anılan üniversiteden ayrı bir diploma (D.I.C) almış (1956), Jeoteknik ve mühendislik jeolojisi konusunda verilen derslere katılmış, Uygulamalar yaptırmış, Türkiye hakkında konferanslar vermiştir (Türkiye Jeoloji ve Yapı Taşları, 1955, 1956).

K. Erguvanlı, Londra Üniversitesi, Imperial College'de yapmış olduğu "Geology of Selsset Reservoir" isimli çalışması ile, Londra Üniversitesinde "Mühendislik Jeolojisi" dalının açılmasına ve bu çalışmadan sonra da, 1957'den itibaren bu kolejde, mühendislik jeolojisi dalında, resmen lisans üstü çalışmaların yapılmasına ve diplomaların verilmesine öncü olmuştur.

Türkiye'ye mühendislik jeolojisi konusunda yeni bir dünya görüşü ile dönen Erguvanlı, aynı yıl İnşaat Fakültesi, Geoteknik Bölümü öğrencilerine "Mühendislik Jeolojisi" dersini vermeye başlamıştır. Böylelikle, 1957 yılı, ülkemizde inşaat mühendisliği öğreniminde, "Mühendislik Jeolojisi" dersinin "İlk Kez" programa alındığı yıl olmuştur.

İzleyen yıllarda mühendislik jeolojisinin, yapı malzemesi jeolojisi ve hidrojeoloji gibi konularında da çalışmalar yapan Erguvanlı, 1959 yılında profesör olmuş ve İTÜ Maden Fakültesinde yeni kurulan "Tatbiki (Uygulamalı) Jeoloji Kürsüsü"nün bir profesörü olarak görevine devam etmiştir.

Bu yıllar, Türkiye'de hafif yapı malzemesi ve seramik-porselen için hammadde araştırmalarının başlatıldığı bir dönemdir. İşte bu yıllarda Erguvanlı'yı bu çalışmaları da başlatanların önünde görüyoruz (İstanbul Porselen 1956-64, 1959 dan bu yana Ytong).

1960 ve sonrası Erguvanlı'nın mühendislik jeolojisi konusunda genç elemanların yetişmesine ayrı bir önem verdiği ve yoğun çaba harcadığı yıllar olmuştur.

Baraj jeolojisi ve hidrojeoloji konularında Elektrik İşleri Etüd İdaresi, Devlet Su İşleri (DSİ) 1957-61 ve Elektrik İşleri Etüd İdaresi (EİEİ) 1960-69 destekleri ile doktora çalışmalarının ve öğrenciler ile genç mühendislerden oluşan "Takım Çalışmaları"nın başlatıldığı dönem, bu yıllara rastlamaktadır.

Yine bu yıllarda, "Jeolog" ile inşaat mühendisi arasındaki diyalog kopukluğunu ortadan kaldıracak yepyeni bir formasyonda eleman yetiştirme gayretleri görülmektedir. Kuşkusuz, Erguvanlı, bu gayretli gösterenlerin yine başındadır ve Maden Fakültesi bünyesinde, Türkiye'de "İlk Kez", Jeoloji Mühendisliği Bölümünün açılması onurunda da en büyük pay sahibidir (1960).

1960'lı yıllar, ülkemizde bugün (GAP) olarak bilinen Güneydoğu Anadolu Proje alanını oluşturan Fırat ve Dicle nehirleri havzalarında büyük su yapılarının planlama çalışmalarının başlatıldığı dönemdir. İşte bu dönem çalışmalarında Erguvanlı'yı, genç jeoloji

mühendislerinden oluşan ekibin başında, Karakaya, Halfeti (Atatürk), Dicle-Kalkıcı, Ilisu baraj yerlerinin araştırılması ve rezervuar alanlarının jeolojik yönden incelenmesi için yaptığı çalışmalarda görüyoruz (1961-65, 1966-70, 1978-81). Erguvanlı, yıllar sonra, Türkiye'nin o günkü koşullarında geçen zahmetli ve gerçekten özveri ile olan bu dönemi (1961-68), meslek yaşantısının "En Mutlu Yılları" olarak sık sık anacaktır!

Yine bu yıllarda, Türkiye'de "İlk Kez" inşaat mühendisleri için "Mühendislere Jeoloji" (1964) ve "Mühendislik Jeolojisi" (1969) kitaplarının yayınlanması da Erguvanlıya nasib olmuştur.

1960-70 arasındaki dönem, Erguvanlı için mesleki açıdan olduğu kadar, yönetim görevleri açısından da yoğun geçen bir dönemdir. Nitekim, Hidrojeoloji Enstitüsü Müdürlüğü (1963-75), Tatbiki Jeoloji Kürsü Başkanlığı (1964-78), senato üyeliği (1964-82 aralıkları) ve Maden Fakültesi Dekanlığı (1966-68) bu dönemde başlatılan ve sürdürülen yönetim görevleridir.

Erguvanlı'nın 1960'ların sonlarında başlayan ve 1970'lerde devam eden gayretleri daha çok, Türkiye'deki mühendislik jeolojisi çalışmalarının Türkiye'de ve uluslararası alanlarda tanıtımına ayrılmıştır.

Uluslararası Mühendislik Jeolojisi Birliği'nin (IAEG) nin kurucularından olma (1964), Hidrojeoloji Türk Milli Komitesi üyeliği (1967-71), A.B.D.'de misafir profesör olarak bulunma (1970-71), Uluslararası Hidrojeoloji Derneği üyeliği (1968-70) ve başkan yardımcılığı (1973-76) bu yıllarda yürütülen görevlerdir. Yine bu yıllarda ülkemizde düzenlenen çok önemli iki uluslararası toplantının organizasyonunda Erguvanlı, önemli sorumluluklar yüklenmiştir (Büyük Barajlar ve 8. Hidrojeoloji Kongreleri). Bu dönemin en önemli girişi, Uluslararası Mühendislik Jeolojisi Birliği'nin, ülkemizde, Erguvanlı tarafından 1976 yılında faaliyete geçirilmesi olmuştur. Erguvanlı aynı yıl kurulan Mühendislik Jeolojisi Türk Milli Komitesi'nin, kuruluşundan bu yana başkanlığını, zevk duyduğu bir özveri ve kuşkusuz büyük bir başarı ile sürdürmektedir. Hocamızın, ülkemiz mühendislik jeolojisine yaptığı en büyük katkısı, uluslararası bilimsel ilişkilerimizin düzenlenmesini sağlayan bu komitenin kurulması ve daha da önemlisi faaliyetlerini kesintisiz sürdürmesi olmuştur diyebiliriz. Her yıl çıkardığı bir bülten ile mühendislik jeolojisinin güncel konularının kalıcılığını sağlayan bu komite, değişik zamanlarda ve uluslararası toplantıların da yapılmasını üstlenmiştir (Ulusal ve Uluslararası Eriyebilen Kayalar Sempozyumları (1980 ve 1981) içte ve dışta unutulmayan, anıları her yerde tatlı anlatılan bilimsel toplantılar olmuştur.

1980'lerden içinde bulunduğumuz yıllara kadar geçen dönemler de Erguvanlı hocamız için, öğretim, yönetim, yurt içindeki ve dışındaki mesleki çalışmalar ve mühendislik jeolojisinin tanıtımı için sarfedilen tükenmez gayretler içinde geçmiştir. Ecole des Mines de Paris'de bir sömestre misafir profesör olarak bulunma (1983), Libya'da (1981) Suudi Arabistanda, Cidde-Mekke-Taif (CMT area) de ve Taif-Mekke'de 1966, 1982 de ve İranda (1984), yeraltı suyu, baraj ve malzeme jeolojisi ile ilgili çalışmalar, İTÜ Fen-Edebiyat Fakültesi Dekanlığı (1982-84), İSKİ ve İstanbul Büyükşehir Belediyesi -Yapı Merkezi adına sürdürülen kanalizasyon tünelleri ve hafif metro mühendislik jeolojisi çalışmaları (1982-88), bunlardan başlıcalarıdır.

Erguvanlı'nın doktora ve doçentlik tezlerinde çalışmalarını yaptığı inşaat taşları konusundaki uğraşları günümüze kadar, çeşitlenerek sürmüştür. Yine "İlk Kez" rahmetli Ord. Prof. Malik Sayar hocamız ile birlikte hazırladıkları "Türkiye Mermerleri ve İnşaat Taşları, 1955 ve 1962 kitabı ile başlayan yayınları, ülkemizdeki taşçılığın ve mermerciliğin tarihsel gelişimi ile ilgili çok sayıda makale ve bildiri ile devam etmiştir. Uğraşı alanının hocamızın kendine özgü şiirsel anlatımı:

"Taş, Toprak, Su, İşimiz Bu".

dur. Gerçekten bu ifadede belirtildiği gibi, Erguvanlı hocamız taş, toprak ve su peşinden daima zevk alarak, mesleğini seven kişilerin mutluluğu içinde koşturmuş, koşturmaktadır. Sadece İTÜ'de değil, Karadeniz Teknik Üniversitesinde, (1968-78), Dokuz Eylül (Ege) Üniversitesinde (1975-82) de öğrencisi olmuş sayısız inşaat mühendisinin, maden mühendisinin, jeoloji mühendisinin, jeofizik mühendisinin ve mimarın üniversiteye

öğrenciliği anılarının müstesna bir köşesinde "Erguvanlı Hoca"nın yeri vardır. Derslerinin yanı sıra, kendisinden öğrenilen "Sevgi bağları" "Hayat Sırları", çoğuna yaşamları boyunca yol gösterici olmuştur. Seneler sonra Türkiye'nin ve dünyanın değişik yerlerinde rastladığı eski öğrencilerinin çoğu, hocalarını, ders dışında kendisinden duydukları bu şifresel öğütlerle anımsamaktadırlar.

Erguvanlı ismi ile adeta özdeşleyen "Elma Sevgisi", paylaşmanın, vermenin mutluluğun gerçek sırrı olduğunu belirleyen "Hoca dediğin verici olmalı! sözleri, sağ ve sol eli ile birlikte yazması, daima güler yüzü, eksilmeyen neşesi, bunların yanında yardım severliği, zevk-i selim sahibi oluşu, zarif giyinişi, hocamızı tanıyanların hemen hatırladıkları sadece birkaç husustur.

Erguvanlı hocanın, 1945'lerde başlayan taş ve mermer sevgisi, doktora ve doçentlik gibi akademik kariyer çalışmaları yanında, 1972'lerden bu yana günümüze dek, bilim ve teknoloji tarihine doğru yönelmiş ve "Anadoluda Taş Endüstrisinin ve Teknolojisi"nin kronolojik gelişimi konusunda zevkli bir "Ekip Çalışması" halini almıştır. Hocanın 1982-1988 tarihleri arasında, İstanbul'da "Maden İhracatçıları Birliği tarafından düzenlenen "Uluslararası Mermer ve Mermer Makinaları Fuarları"nın organizasyon komitesinin başında bulunması, Türkiye mermerlerini dünyaya tanıtmaya çalışması bu tür bilimsel çalışmalara ayrı bir yön ve huz verilerek ve zevk alınarak yapılmasına yol açmıştır.

1985 yılında İTÜ Maden Fakültesi Mühendislik Jeolojisi ve Kaya Mekaniği Anabilim Dalı grubu ile, Mimarlık Fakültesi Restorasyon Bölümü öğretim üyeleriyle beraberce başlatılan "Marmara Bölgesi Eski Taşocakları ve Bu Taşların Restorasyonda Kullanılması" konusunda TUBİTAK adına yapılan projede, bölgede yıllarca büyük bir zevk ve özveri ile çalışılarak, Marmara Bölgesinde, Romalılardan bu yana açılan ocaklar, çıkarılan taşlar, mühendislik ve mimarı özellikleri, taş üretim yöntemlerinin kronolojik gelişimi ve kullanıldığı yapıtlar ve yerler, belge ve fotoğrafla "İlk Kez" ortaya çıkarılmıştır.

Bu çalışmaların sonuçları Fransa'da, İsviçre de ve Yunanistan'da verilen konferans ve bildirilerle gün ışığına çıkarılmış, yayınlanmıştır (Yayınlarına bak.).

Aslında Prof. Dr. Kemal Erguvanlı'nın tamamı dolu geçen 45 meslek yılını bu yazdıklarımızla özetlemeye çalışmanın güçlüğü, hatta imkansızlığını bizler de biliyoruz. Amacımız bu sempozyum vesilesi ile hepimize örnek olabilecek, imrenilecek bir özgeçmişten tıpkı bir kesit sunarak, Türkiye'de mühendislik jeolojisi ile uğraşanların, Erguvanlı hocaya neler borçlu olduklarını bir kez daha hatırlatmak...

Kendisine, geçmişini aratmayacak nice sağlıklı, mutlu ve başarılı yıllar dileyerek derin saygılarımızı ve şükranlarımızı sunuyoruz.

Prof. Dr. Kemal ERGUVANLI'nın YAYINLARI

- 1946 1 — Gaziantep-Narlı Arasında Bulunan Paleolitik Aletler Hakkında Bir Not. Türk Tarih Kurumu (T.T.K.) Belleten, Cilt: X, Sayı: 39, sayfa: 375-379, 1 Harta, 4 Levha, Ankara.
- 1947 2 — Gaziantep-Narlı Arasının Jeolojisi ve İnşaat Taşları. İstanbul Teknik Üniversitesi (İTÜ) Dergisi, Cilt: 5, Sayı: 1, sayfa: 32-35, İstanbul.
- 3 — Kocaeli Triasında Yeni Fosil Yatakları (New Fossiliferous Beds in Kocaeli Triassic Formations). (Türkiye Jeoloji Kurumu (TJK) Bülteni, Cilt: 1, Sayı: 1, sayfa: 158-163, Ankara.
- 4 — Aydınlı-Mudurlu Arasındaki Bölgenin Jeolojik Etüdü (Kocaeli Yarımadası). İTÜ Dergisi, Cilt: 5, Sayı: 2-3, sayfa: 62-67, İstanbul.
- 1948 5 — Halil Ethem ve Jeoloji. TTK Yayını Halil Ethem Hatıra Kitabı, Cilt: 2, sayfa: 27-32, Ankara.
- 1949 6 — İmralı Adasının Jeolojik Etüdü (Etude Geologique de l'île d'İmralı) TJK Bülteni, Cilt: II, Sayı: 1, sayfa: 118-125, Ankara.
- 7 — Hereke Pudingleriyle Gebze Taşlarının İnşaat Bakımından Etüdü ve Civarının Jeolojisi. (Etude des Pierres de Constructions et Géologie des Environs de Hereke et de Gebze) (Bithynie) İTÜ İnşaat Fakültesi Yayını, İstanbul (Doktora Tezi).
- 8 — Kehlubar Cinsleri, Jeolojisi ve Sanayide Kullanış Şekilleri, İTÜ Dergisi, Cilt: 7, Sayı: 1-2, sayfa: 40-42, İstanbul.
- 1950 9 — Milletlerarası Jeoloji Kongreleri ve Türkiye. TJK Bülteni Cilt: 2, Sayı: 2, sayfa: 68-71, Ankara.
- 10 — Doğu Anadolu'da Mesken ve İnşaat Malzemesi. İTÜ Dergisi Cilt: 8, Sayı: 2, sayfa: 85-90, Ankara.
- 11 — Etude des Pierres de Construction et Geologie des Environs de Hereke et Gebze (Bithynie). Bult. of the Technical Univ. of Istanbul, Vol: 2, N: 2, pp: 55-64, 6 Fig., İstanbul.
- 12 — Türkiye Jeoloji Bibliyografyası Sene 1949 (Bibliographie Geologique et la Turquie, année 1949). TJK Bülteni, Cilt: III, Sayı: 1, sayfa: 165-168, 1951, Ankara.
- 13 — Taşların Tanınması İçin Pratik Klavuz (J. Bourcart'tan). İTÜ Kütüphanesi, Sayı: 23, İstanbul.
- 1952 14 — Bilecik Taşları ile Osmanelli Greferinin İnşaat Bakımından Etüdü ve Civarlarının Jeolojisi (Doçentlik Travayı, Gayri Matbu).
- 15 — Trabzon-Gümüşhane Arasındaki Pontidlerin bir Kesiti. TJK Bülteni, Cilt: III, Sayı: 2, sayfa: 65-68, 1 Harta, Ankara.
- 16 — Türkiye'nin İlk Maden Mühendisi İbrahim Edhem Paşa. TJK Bül: V, III, 1,2, Ankara.
- 1953 17 — Kuzeydoğu Anadolu'da Mesken ve İnşaat Malzemesi. İTÜ Dergisi Cilt: 9, sayfa: 13-16, İstanbul.
- 1954 18 — Doktor Abdullah Beyin Hayatı ve Eserleri. Türkiye Jeoloji Kurumu. Bül: V, V, No: 1-2, sayfa: 269-272, Ankara.
- 1955 19 — Türkiye Mermerleri ve İnşaat Taşları (Prof. Malik Sayar ile). 130 sayfa, 47 Şekil, 27 renkli Levha, İTÜ Yayını.
- 20 — Etude Géologique de l'île de Bozcaada, Bul: Soc. Géol de France, 6 Sé: 1e, t: V pp. 399-401, Paris.

- 1956 21 — Geology of Selset Reservoir, York Shire. Thesis. for DIC Imperial College, N.R. University of London. p: 53, Pl: 7, Ph. 14, London.
- 1957 22 — Outline of Geology of the Dardanelles. Geological Magazine V. XCIV N: 1. pp: 47-53, London.
- 1958 23 — Yeni Neşriyat. (Baraj Jeolojisi), TJK Bülteni V. VI, No. 2, sayfa: 139-142, Ankara.
- 24 — İngiltere Jeologlar Birliğinin 100. yıl Dönümü. TJK Bülteni: V. VI, No: 2, Ankara.
- 25 — Endüstri ve Su. Maden Mecmuası, Sayı: 5, sayfa: 39-40, İstanbul.
- 26 — Kırşehir Kuzeyinde Seyfe Ovasının Hidrojeolojik Etüdü. (Hydrogeology of the Seyfe Plain in Northorn Kırşehir, Central Anatolia Turkey). İTÜ Hidrojeoloji Enstitüsü Yayını No: 4, 31 sayfa, Şekil, 5, Tablo, 4, Foto: 3 Harita.
- 1960 27 — Endüstride Su ve Kalite. Maden Mecmuası, Sayı: 9, sayfa: 10-13, İstanbul.
- 1961 28 — Himmetdede Civarının Jeolojik ve Hidrojeolojik Etüdü. (The Geology and Hydrogeology of the Himmetdede Area, Cantral Anatolia, Turkey). TJK Bül: C. VII, Sayı: 2, sayfa: 87-107, Ankara.
- 29 — İngiltere'de Su Temini ve Tesisleri. İTÜ Dergisi C: 19, Sayı: 1, sayfa: 26-28, İstanbul.
- 30 — Further Hydrogeological Investigations in Central Anatolia Turkey. Inter. Assoc. of Scientific Hydrology Groundwater in Arid Zones Pub: No: 57, pp. 93-96, Belgium.
- 31 — Endüstride Su ve Maliyet. Maden Mecmuası C. 2, Sayı: 11, sayfa: 6-5, İstanbul.
- 32 — Su ve Bursa. Bursa Teknik Üniversite Haftası. Sayfa: 21-35. 2 Şekil, 6 Tablo, İTÜ Neşriyatı, İstanbul.
- 1962 33 — Türkiye Mermerleri ve İnşaat Taşları (Turkish Marbles) (Ord. Prof. Malik Sayar ile, genişletilmiş 2. Baskı), İstanbul.
- 34 — Kitle Hareketleri ve Heyelanlar. Umumi Jeoloji II. Kısım, sayfa: 127-156, İstanbul.
- 1963 35 — Maden Hidrojeolojisi. İstanbul Teknik Üniversitesi Zonguldak Haftası, İTÜ Yayını, sayfa: 81-89, 2 Şekil, İstanbul.
- 1964 36 — Mühendislere Jeoloji (Geology for Civil Engineers). İTÜ Maden Fakültesi Yayını, 216 sayfa: 197 Şekil, 6 Tablo, İstanbul.
- 37 — Fırat Nehri Üzerinde Baraj Yeri İmkanları. İstanbul Teknik Üniversitesi Doğu Haftası, sayfa: 95-108, 5 Şekil, 3 Tablo, 4 Foto, İstanbul.
- 1965 38 — The Groundwater Investigation in the Devonien Limestone East of Istanbul, Turkey. Hydrology of Fractured Rocks, Dubrovnik Symposium, pp. 34-347 Oct. Yugoslavia.
- 39 — Ord. Prof. Hamit Nafiz Pamir ve Mühendislik Jeolojisi. Türkiye Jeoloji Kurumu, Bülteni, V. X, No: 1-2, Ankara.
- 40 — Ord. Prof. Malik Sayar (1982-1965). Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni, V. X, No. 1-2, Ankara.
- 1967 41 — Mühendislere Jeoloji. 1. Baskıya Ek 2. Baskı İTÜ Yayını No: 709, İstanbul.
- 1968 42 — Jeoloji Öğretiminin Teknik Üniversitede Gelişimi. İ.T.Ü. Maden Fakültesi Klavuzu. 1968, İstanbul Maden Fakültesi Yayını.
- 43 — Türkiye'de Yeraltı Servetlerinden Faydalanmada Maden Fakültesinin Yeri. Maden Mecmuası, Cilt: IV, sayfa: 3, İstanbul.
- 1969 44 — Mühendislik Jeolojisi (Engineering Geology) İTÜ Maden Fakültesi Yayını, Sayı: 767, sayfa: 470, İstanbul.
- 1970 45 — (N. KARASU.-T. ATAMAN) E.K.İ., Zonguldak Kömür Ocaklarında Rastlanmış olan Pnömokonyoz ve Bununla İlgili Mesleki Hastalıklara ait Davalar Hakkında Bilirkişi Raporu. sayfa: 70, Şekil: 5 Tablo: 13, Arkadaş Matbaası, İstanbul.

- 46 — Engineering Geology in Turkey. Bull. of the Inter. Assoc. of Engineering Geology No: 1, pp. 78-79.
- 1971 47 — Mühendisler Jeoloji (3. Baskı). İTÜ Kütüphanesi, Sayı: 825, İstanbul.
- 1972 48 — (R. E. GOODMAN) Applications of Models to Engineering for Rock Excavations. Bull. of the Assoc. of Engineering Geologists, V. IX, No. 2, pp. 89-104, Kansas, USA.
- 49 — (YÜZER, GÜLEÇ, ZANBAK) Türkiye Mermerlerinin Fiziko-Mekanik Özellikleri ve Mermerlerin Sınıflandırılmaları Hakkında Düşünceler. (The Physico-Mechanical Properties of Turkish Marbles and Proposals for their Classification). TJK, Bult. V. XV, No. 2, sayfa: 153-170, Ankara.
- 50 — Çatlaklı Kayalarda Stabilité ve Stabilitenin Kinematik Modellerle Etüdü. İTÜ Zemin Mek. Araş. Kur. Yayını, No: 6, sayfa: II, 1-14, İstanbul.
- 51 — Jeoloji ve Kaya Mekaniği. İTÜ Zemin Mek. Araş. Kur. Yay. No: 6, sayfa: II, 1-7, İstanbul.
- 52 — Kaliforniya Üniversitesi Berkeley'de Jeoteknik Öğretimi ve Çatlaklı Kayalar Üzerine Yapılan Araştırmalar. İTÜ Zemin Mek. Araş. Kur. Yay. No: 6, sayfa: X, 1-4, İstanbul.
- 53 — Depremlerin Yamaçlara ve Mühendislik Yapılarına Etkilerinin Sistematik Araştırılması. Kuzey Anadolu Fayı Symp. MTA Yayını, sayfa: 163-166, Ankara.
- 54 — (R. E. GOODMAN) Kazılarda Çatlak Etkisinin Kinematik Modellerle Araştırılması (Kinematic Model Studies for Excavations in Jointed Rock Masses.) TJK. Bul: V. XVI, No: 1, sayfa: 27-40, Ankara.
- 55 — Mühendislik Jeolojisi. Geliştirilmiş 2. Baskı. 476 sayfa: 233 Şekil, 19 Tablo, İTÜ Yayını No: 966, İstanbul.
- 56 — (E. YÜZER) Yeraltı suları Jeolojisi (Groundwater Geology), İTÜ Yayını, No. 967, sayfa: 340, Şekil: 151, Tablo: 25, İstanbul.
- 57 — Hydrothermal Karstification at the Keban Damsite. IAEG. Symposium on Sink-holes and Subsidence. Proceedings. Discussion Theme I, P. D. 1-6 Essen.
- 1974 58 — Education of Geological Engineering and its Problems. V. I, pp: 1-10, 1-5 Proc. II. Int. Cong. Ing. Geol. Brazil, Sao Paula.
- 59 — (E. YÜZER, K. GÜLEÇ, C. ZANBAK) A Proposal for Classification of Marbles. Proc. II. Int. Cong. Engineering Geol. V. I, pp: 1V-27, 1-6 Sao Paulo.
- 1975 60 — The Shape Effect Relationship in Landslides SMFE. İstanbul Conference, T. I., pp: 257-259, İTÜ İnşaat Fakültesi Yayını, İstanbul.
- 61 — Türkiye'de son 50 Yılda Mühendislik Jeolojisi ve Problemleri. Cumhuriyetin 50. yılı Yerbilimleri Kongresi, MTA Yayını, sayfa: 238-256, Ankara.
- 62 — (YÜZER, GÜLEÇ, ZANBAK) Türkiye'de Silisli Taş Yatakları ve Bunların Ekonomik Önemi. Cumhuriyetin 50. Yılı Yerbilimleri Kongresi, MTA Yayını, sayfa: 278-295, Ankara.
- 63 — (YÜZER) Keban Barajı Temellerinde ve Dolayındaki Karstlaşmanın Etkileri. Türkiye İnşaat Mühendisliği 6. Teknik Kongresi, İstanbul İnşaat Mühendisleri Odası Yayını, Konu: 1, Tebliğ: 12, sayfa: 1-19, 9 Foto, İstanbul.
- 64 — Jeoloji Mühendisliği Öğretiminin Türkiye'de Gelişimi. Maden Fakültesi 1975-1976 Kılavuzu, sayfa: 55-56, Maden Fakültesi Yayını, İstanbul.
- 65 — [Co-auteur] Problemes de Géologie de L'ingénieur en Regions Karstiques. Bull. Assoc. Int. Geol. Ing. No: 12, pp: 93-132, Krefeld-Germany.
- 1977 66 — (E. YÜZER) Past and Present Use of Underground Openings in Volcanic Tuffs at Cappadocia Area, Turkey. Symposium on Storage in Excavated Rock Caverns, Stockholm-Sweden.
- 1978 67 — Jeoloji Mühendisliği Öğretiminin Türkiye'de Gelişimi. 25. Yılında Maden Fakültesi Kılavuzu, Maden Fakültesi Yayını, sayfa: 60-62, İstanbul.
- 68 — Mühendislik Jeolojisinin Dünyada ve Türkiye'de Gelişimi. Mühendislik Jeolojisi Türk Milli Komitesi Bülteni, Yayını: 1, Sayı: 1, sayfa: 3-7, Ankara.

- 69 — (E. YÜZER) Karstification Problems and Their Effects on Keban Dam Foundation and Reservoir, Turkey. Proc. III. Int. Cong. I.A.E.G., Sec. III, V: 1, pp: 119-126, Madrid.
- 70 — Jeoloji Mühendisliği Öğretiminin Türkiye'de Gelişimi. Maden Fakültesi 25. Yıl Bülteni, sayfa: 6-8, MTA, Ankara.
- 71 — Mühendislere Jeoloji, 4. Baskı, İTÜ Kütüphanesi, Sayı: 1126, İstanbul.
- 72 — Türkiye'de Jeoloji Konusunda İlk Yayınlar, TJK Yayını, Yeryuvarı ve İnsan, C: 3, Sayı: 4, sayfa: 5-12, Ankara.
- 73 — Mühendislik Jeolojisinin Dünyada ve Türkiye'de Gelişimi. 1. Mühendislik Jeolojisi Sempozyumu, TJK Yayını, sayfa: 3-10, Ankara.
- 1979 74 — Kültelerin Mühendislik Özellikleri ve Bunları Saptama Yöntemleri. MJTM Komitesi Bülteni, Y: 2, Sayı: 2, sayfa: 1-3, DSİ Matbaası, Ankara.
- 75 — Türkiye'de Jeoloji Araştırmalarında ve Jeoloji Öğretiminde Öncüler. Dr. Abdullah Bey, TJK Yayını, Yeryuvarı ve İnsan, C: 4, Sayı: 1, sayfa: 5-10, Ankara.
- 76 — (YÜZER, E. ORHON, D) Atıksuların Zemine Verilme Esasları ve Antalya Yöresi Zeminine Uygulanması. Antalya Kenti Kullanılmış Suları Toplama ve Uzaklaştırma Sempozyumu, 2-5 Mayıs, Antalya.
- 77 — Zemin Mekaniğinde ve Temel İnşaatında Mühendislik Jeolojisi Parametrelerinin Etkisi ve Somut Örnekler. Zemin Mek. ve Tem. Müh. Bülteni, C: 1, Sayı: 4, sayfa: 214-224, İstanbul.
- 78 — Pierre de Tchihatcheff (1808-1890) Hayatı, Yayınları ve Türkiye Jeolojisine Katkıları. TJK Yayını, Yeryuvarı ve İnsan, C: 4, Sayı: 2, sayfa: 9-14, Ankara.
- 1980 79 — Prof. Dr. Enver Altınlı ve Uygulamalı Jeoloji. TJK Yayını, Altınlı Sempozyumu, Sayı: 5, Ankara.
- 80 — Problems of Damsites and Reservoir in Karstic Areas with Some Consideration to their Solution. IAEG Bulletin, No: 20, pp: 173-178, F.R. Germany.
- 81 — (VARDAR, M. YÜZER, E. ZANBAK, C) Ingenieurgeologische Probleme bei der Gründung der Dicle (Tigris). Kralkızı-Talsperre (SO Türkei). Engineering Geology Problems in the Dicle (Tigris) Kralkızı Dam Foundation (SE Turkey). Rock Mechanics, Supplementum 10, Springer-Verlag, Wien.
- 82 — Kayaçların Sertlikleri, Saptama Yöntemleri ve Mühendislikte Önemi. Müh. Jeol. Bülteni, Yayını: 3, Sayı: 3, sayfa: 2-6, Ankara.
- 83 — Sovyetler Birliği, Tiflste Yapılan Baraj Yapımında Mühendislik Jeolojisi Problemleri. Uluslararası Sempozyumu. Müh. Jeol. Bülteni, Yayını: 3, Sayı: 3, sayfa: 14-15, Ankara.
- 84 — Jeoloji Kongrelerinin 100. Yılı ve Türkiye. Yeryuvarı ve İnsan, TJK Yayını, C: 5, Sayı: 1-2, sayfa: 16-16, Ankara.
- 85 — Yerbilimlerini Mektebi Tıbbiyede İlk Kez Türkçe Okutan Hoca: İbrahim Lütfi Paşa. Yeryuvarı ve İnsan, TJK, Yayını: C: 5, Sayı: 3-4, sayfa: 9-13, Ankara.
- 1981 86 — Engineering Geology Text-Book in the World. Publ. of Int. Eng. Geol. Symp., p: 16, İstanbul.
- 87 — Taş Endüstrisi ve Teknolojisinin Anadolu'da Tarihsel Gelişimine Genel bir Bakış. I. Uluslararası Bilim ve Teknoloji Kongresi, C: 3, sayfa: 279-297, İstanbul.
- 1982 88 — Libya'da Su Yapılarına ait Gözlemler. MJTMK Bülteni, Yayını: 4, Sayı: 4, sayfa: 11-14, Ankaar.
- 89 — (TARHAN, F) Doğu Karadeniz Kıyı Şeridindeki Kitle Hareketlerinin Mühendislik Jeolojisi Açısından Değerlendirilmesi, KTÜ Yerbilimleri Dergisi, 100. Yıl konferanslar Dizisi Özel Sayısı, sayfa: 128-166, Trabzon.
- 90 — Halil Edhem Eldem. Temel Bilimler Dalında Avrupa'da İlk Doktora Yapan, Darülfünun Jeoloji-Mineraloji Muallimi. Yeryuvarı ve İnsan, C: 7, Sayı: 2, sayfa: 17-21, Ankara.
- 91 — Mühendislik Jeolojisi. Değiştirilmiş 3. Baskı İTÜ Yayını, 605 Sayfa, İstanbul.
- 92 — (YÜZER, E. ZANBAK, C. VARDAR, M) Open Pit Slope Stability Investigation of the Hasançelebi Iron ore Deposit, Turkey. 3rd. Int. Conf. Stability of Surface Mining. Am. Inst., Min. Met. Pet. Eng., New York, pp. 635-662.

- 93 — 4. Uluslararası Mühendislik Jeolojisi Kongresi, Bilimsel Toplantı Endüstrisi ve Türkiye. Müh. Jeol. Bül., Sayı: 5, sayfa: 1-4, İstanbul.
- 1983 94 — Afyon ve Marmara Adası Mermer Yataklarının Mühendislik Jeolojisi (Engineering Geology of the Marble Deposits of Afyon and Marmara Island). Uluslararası Mermer Sempozyumu, İstanbul Mermer İhracat Birliği.
- 95 — İTÜ Maden Fakültesinde 30 Yıl. Anılar-Belgeler. İTÜ Maden Fakültesi, sayfa: 29-42, İstanbul.
- 96 — Engineering Geology Fatih Sewage Tunnel of Turkey. Lisboa, Int. Sym. on Eng. Geol. and Underground Construction.
- 97 — (YÜZER, E. VARDAR, M) İnşaat Jeolojisi Uygulamaları. Maden Fakültesi Ofset Matbaası, İstanbul.
- 1984 98 — Eski ve Yeni Taş Çıkarma ve İşletme Yöntemleri. Mühendislik Jeolojisi Bülteni, Sayı: 6, sayfa: 24-25, İstanbul.
- 99 — Necdet Aksu Hayatı ve Mühendislik Jeolojisine Katkıları. Mühendislik Jeolojisi Bülteni, Sayı: 6, sayfa: 24-25, İstanbul.
- 100 — Uluslararası Mühendislik Jeolojisi ve Yeraltı Yapıları Sempozyumu. Mühendislik Jeolojisi Bülteni, Sayı: 6, sayfa: 27-28, İstanbul.
- 101 — Yeraltıları Jeolojisi (Hidrojeoloji). 2. Baskı, İTÜ Maden Fakültesi Yayını, sayfa: 333, İstanbul.
- 102 — Mühendislik Jeolojisi. Ders Konuları ve Uygulamaları. İTÜ Maden Fakültesi Yayını, No: 6, sayfa: 52, İstanbul.
- 1985 103 — (EROSKAY ve GÜNAY) Barajların Çevreye Etkileri ve Oymapınar Barajı Örneği. Müh. Jeol. Bül. Sayı: 7.7, sayfa: 206, İstanbul.
- 104 — Patlayıcı Maddelerle Taş Çıkarma Yöntemleri. Müh. Jeol. Bül. Sayı: 7.7, sayfa: 11-18, İstanbul.
- 105 — Dünyada Mühendislik Jeolojisi Kitapları ve Dergileri. Müh. Jeol. Bül. Sayı: 7.7, sayfa: 28-32, İstanbul.
- 106 — (K. GÖKHAN) Saraylarda Kullanılan Taşlar (Bilinmesi, Korunması, Yenilenmesi) Hakkında Düşünceler. Milli Saraylar Sempozyumu: Yayını, İstanbul, sayfa: 339-345.
- 107 — Baraj Yapımına Etkiyen Mühendislik Jeolojisi Parametreleri. ELEİ 50. Yıl Hidroelektrik Enerji Semp. 19-22 Kasım, sayfa: 97-110, Ankara.
- 108 — Anadoludaki Tarihsel Taşocaklarının Araştırılmasının Türkiye Mermer Endüstrisinde Önemi. İstanbul Mermerciler Derneği Dergisi, Sayı: 1-2, sayfa: 84-87, İstanbul.
- 1986 109 — Keserek Taş Çıkartma Yöntemleri. Müh. Jeol. Bül. Sayı: 8, sayfa: 8-15, İstanbul.
- 110 — Türkiye'de Kullanılmış Olan Yabancı Ülke Taşları. İstanbul Mermerciler Derneği Dergisi, Sayı: 1-2, sayfa: 9-10, İstanbul.
- 111 — (E. YÜZER, - M. VARDAR, - İ. ERİŞ) Kentiçi Tünel Gözergahlarında Mühendislik Jeolojisi Sorunları, İstanbul Örneği. DSİ Teknik Araştırma ve Kalite Kont. Dairesi Bşk. Yayını, Sayı: 6, sayfa: 1-11, Ankara.
- 112 — (E. YÜZER, - N. ÇEKİRGE) Türkiye Kaplıcalarında Yapılan Bazı Çalışmalar ve Eski Yayınlar. Tıbbi Ekoloji ve Hidro-Klimatoloji Dergisi. Cilt: 2, Sayı: 2-3, sayfa: 178-189, İstanbul.
- 113 — (E. YÜZER, - N. ÇEKİRGE, - T. ÖZTAŞ) Kaplıca Projelerinin Hazırlanmasında Disiplinlerarası Çalışmaların Önemi. Tıbbi Ekoloji ve Hidroklimatoloji Dergisi, Cilt: 2, Sayı: 2-3, sayfa: 190-198, İstanbul.
- 1987 114 — Keserek Taş Çıkarmada Kullanılan Yeni Yöntemler. Müh. Jeol. Bül., Sayı: 9, sayfa: 2-6, İstanbul.
- 115 — Dilimizde Taş Sözcükler, Deyimler ve Ata Sözlere. Müh. Jeol. Bül. Sayı: 9, sayfa: 53-61, İstanbul.
- 116 — Heyelanları Araştırma İlkeleri ve Yaklaşım Yöntemleri. DSİ Samsun Semp. DSİ Yayını, Cilt: II, Sayı: 27, sayfa: 1-6, DSİ. TAKK Dairesi, Ankara.
- 117 — (E. YÜZER) Afyon ve Marmara Adası Mermer Yataklarının Mühendislik Jeolojisi. I. Uluslararası Mermer Semp., Bul: 1, sayfa: 9-17, Maden İhracatçıları Birliği Yayını, İstanbul.

- 118 — (E. YÜZER) Mermer Ocağı İşletmelerini Etkileyen Mühendislik Jeolojisi Parametreleri. II. Uluslararası Mermer Semp. Bull: 2, sayfa: 1-8, Maden İhracatçıları Birliği, İstanbul.
- 119 — (Z. AHUNBAY) Süleymaniye ve Sultanahmet Camilerinde Kullanılan Taşların Mimari Özellikleri ve Onarım Önerileri. I. Uluslararası Mermer Semp. Bull: 2, sayfa: 30-32, Maden İhracatçıları Birliği Yayını, İstanbul.
- 120 — (E. YÜZER) Yeraltıları Jeolojisi. İTÜ Yayını, No. 23, İTÜ Maden Fakültesi, İstanbul (3. Baskı).
- 121 — The Graywacke Problem Related to İstanbul Area. Derin Kazılar ve İksa Metodları Sempozyumu, pp: 19-23, Boğaziçi Üniversitesi Yayını, İstanbul.
- 122 — Türkiye Granitleri (Yeni Döviz Kaynağı). Mermer, Sayı: 6, sayfa: 19-24, İstanbul. Mermerciler Derneği Yayını, İstanbul.
- 1988 123 — Çanakkale Kestaneli Granitleri. Dünyanın En Eski Ocakları ve En Çok Kullanılan Taşları Mermer. Yıl 3, Sayı: 8, sayfa: 13-18, İstanbul Mermerciler Derneği, Yayını, İstanbul.
- 124 — Atatürk (Halfeti) Barajında Yapılan İlk Mühendislik Jeolojisi Çalışmaları. Müh. Jeol. Bült. Sayı: 10, sayfa: 2-9, İstanbul.
- 125 — Ord. Prof. İlhami Cıvaoğlu ve Türkiye'de Hidrojeoloji Öğretimin Başlaması. Müh. Jeol. Bült. Sayı: 10, sayfa: 57-58, İstanbul.
- 126 — (AHUNBAY, M. - AHUNBAY, Z - ERLİŞ, İ.) The Significance of Research on Old Quarries for the Restoration of Historic Buildings with Special Reference to Marmara Region, Turkey. Proc. Int. Symp. of Athens. (Geologie d l'ing. App. au Travaux Anciens.) Vol: 2, pp: 631-638, Balkema, Rotterdam.
- 127 — Türkiye'nin Yeraltısu Potansiyeli ve Bunun Eski ve Yeni Kullanış Şekilleri. Ulusal I. Hidrojeoloji Sempozyumu, Ankara. A.Ü. Fen Fakültesi Yayını, sayfa: 7-18, Ankara.

BİR İNŞAAT MÜHENDİSİNİN ERGUVANLI HOCA İLE İLGİLİ HİSLERİ ve HATIRALARI

Ersin Arioğlu'nun 15 Kasım 1999 Tarihinde
İ.T.Ü. Ayazağa Kampüsü Maden Fakültesi Prof. Kerim Konferans Salonunda
10'cu yılında Kemal Erguvan'lıyı anma Kollokyumunda yaptığı konuşmadır.

**Sevgili Hocam Kemal Erguvanlı Hocamın Sayın Aile Mensupları;
Sayın Öğretim Üyeleri;
Sayın Konuklar;**

Erguvanlı Hocamı, anmak üzere tertiplenen kollokyumda, bana konuşma fırsatı verildiği için teşekkür ederim. Kemal Erguvanlı, Mühendislik Jeolojisi ile özdeşleşen ve bu disiplininin kurucularından, bu disipline uluslararası ölçekte katkı koyan nadir hocalardandır.

Türkiye'nin ve bağrında yetiştiği İstanbul Teknik Üniversitesinin, Erguvanlı Hocamızla, ondan feyz alabilen talihli öğrencileri gibi kıvanç duyması ve onu saygı ile anması, literatürde ve hatıralarda yaşatması, Erguvanlı'nın Mühendislik Jeolojisi bilim tarihi için önemini gösteren en belirgin göstergelerdir.

Değerli Konuklar;

Ben Doçent Kemal Erguvanlı'dan **jeoloji** dersi okuma talihine sahip olan inşaat mühendisleri neslinin temsilcisiyim. Daha sonra İstanbul Teknik Üniversitesinde asistanlık ve iş hayatımda mühendislik yaparken Kemal Erguvanlı Hoca ile toplam 33 yıla dağılmış hatıralar paylaştım. Her hatıramda, değerli öğretilere sahip oldum. Çünkü o hakiki hocaydı, görevi gereği iletişim kurduğunda; **refleks** olarak, öğretiyordu. Öğrettiğini göstermeden, bilgiyi dikte etmeden ve dayatmadan; adeta bilgiyi çözerek-damıtarak suya doymun olmayan zeminlerin suyu emdiği gibi bilgiyi, emdiriyordu. Bunu, kendisi ile her karşı karşıya geldiğimde gördüm, hissettim, müşaade ettim ve anladım.

Değerli Konuklar;

Önce öğrenci Ersin'in, Doçent Kemal Hoca'dan öğrendiklerini özetlemek istiyorum. Kemal Hoca, bize inşaat mühendisleri için **mühendislik jeolojisi** anlattı. Ben mühendislik jeolojisini şöyle anladım: **Mühendislik jeolojisi**; henüz inşa edilmemiş ve kağıt üzerinde proje olarak duran bir **yapının**, inşaatı sırasında ve tüm servis hayatı sürecinde; etrafındaki zeminlerle ve özellikle oturduğu temel zemini ile kuracağı **etkileşimi** mühendise anlatan, tasavvur ettiren ve hesaplattıran bir bilim dalıdır. Başka bir deyişle, **mühendislik jeolojisi**; yapı ile temel zemini arasında sessiz geçmesi gereken **diyalogu**, proje mühendisine tercüme eder, okur ve yorumlar. Bu iletişim için senaryolar, alternatifler ortaya koyar. İletişimin muhtemel **çatışma** ya dönüşme ve sessizliği gürültüye döndüren kritik noktalarını, süreçlerini tarif eder.

Değerli Konuklar;

Anladıklarımı, bugünkü büyük hocalarımdan huzurunda bir imtihan verir gibi değişik bir pencereden tekrarlırsam, mühendislik jeolojisi, mühendisin, kendisini, temel zemini ve çevre zeminler gibi hissederek; inşa edilen yapıya; zeminlerin göstereceği davranışı ve yapıya göndereceği mesajları doğru şekilde algılamasını ve hesap etmesini sağlar. Bu tanımla mühendislik jeolojisi inşaat mühendisleri için bir **empati aracıdır**. Empatik süreci; mühendis; zemin davranışın ve zeminin mesajını doğru anladığını gösteren eylem planına geçerek tamamlar. Bu eylem planı ile mühendis, empati kurduğu zeminleri; **üretici kılar, stresini alır, rahatlatır ve zemin davranışını yapısıyla uyumlu hale getirir veya yapısını uyumlu hale sokar**. İşte bu nedenle, inşaat yatırımlarında; mühendislik jeolojisinin çok önemli bir ağırlığı vardır. Bilinçle kullanıldığında, çok verimli sonuçlar verir. Mühendisin eseri ile yüzünü ağırtmasına yardım eder.

Değerli Konuklar;

Öğrenci Ersin, Kemal hocasından şunları hatırlıyor. 111 nolu anfiye hızla giren gülen bir yüz. Sınıfın her köşesine aynı anda ulaşan ve yüzü gibi gülen gözler. Kalpten geçerek kulağa ulaşan bir ses tonu ve özel tekniklerle donatılmış anlatım metodu. Kara tahtada hem sağ, hem de sol elle yazılmış inci gibi yazılar, net diagramlar, şekiller. Ayrıca ezberlenmesi zor jeolojik isimlerin akılda tutulması için komik öğretim metodları ve mealen şu sözleri;

"Arkadaşlar inşaat mühendisi olacaksınız. Büyük-büyük köprüler, barajlar, tüneller, yollar ve yapılar yapacaksınız. Her eserinizin mutlaka ve mutlaka taşla-toprakla ilgisi olacak. Biz size taşı-toprağı öğreteceğiz. Daha doğrusu taşı-toprağı sevmeyi öğreteceğiz. Çekiç elde taşlardan yer küre tarihini nasıl okuyacağınızı öğreteceğiz. Sizden de yalnız söylediklerimize dikkat etmenizi isteyeceğiz. Meslek hayatınızda üzülmeyi istemiyoruz."

Değerli Konuklar;

Asistan Ersin, Profesör Erguvanlı Hoca'dan şunları hatırlıyor. Ben yapı statik kursüsünde asistanlık yapıyordum. Üniversite de bir toplantı vardı. Üst kat anfilerden birisinde hocalar-asistanlar-öğrenciler bir seminer veya konuşma için toplanmıştık. Konuyu pek net hatırlamıyorum. Biz inşaat Fakültesi asistanları bir arada oturuyorduk. Toplantıya ara verilmişti. Kemal hoca yanımıza yaklaştı. ***"Arkadaşlar; genç mühendisler iyi öğretiyorsunuz. Değil mi? Ben asistanlığımda, hep iyi öğretebiliyormuyum diye merak ve heyecan duyardım. Şimdi duymuyorum. Gözlerimden anlıyorum. Sizde öğrencilerin gözlerine, gözlerine, ta gözlerinin içine bakın; anlarsınız. Gözde pırıltı, öğrenmeyi anlatır. Pırıltıyı görünceye kadar anlatın. Pırıltı gördüğünüzde, zaten daha da iyi anlatırsınız. Bir de imtihan da öğretmediklerinizden sormayın sakın. Notu bildiklerine verin. Ne kadar çok şeyi, zaten biliyoruz. Ama bildiğimizi, nasıl biliyoruz, siz ona bakın ve notu ona atın."***

Değerli Konuklar;

Üniversitede ki asistanlık görevimden, Yapı Merkezi'ni geliştirmek gayesi ile, 1969 yılında ayrıldım. Yönetici Mühendis Ersin, Sevgili Kemal hocası ile çeşitli vesilelerle karşılaştı, teması hiç kesilmedi. Nasıl kesilsin ki. O bir bilgi pınarı idi ve bilgisini ***bilgece*** herkesle paylaşıyordu. Zaten Ersin'de bilgi dostu idi. Hocasıyla dostlukları hep devam etti. Her nedense hava meydanlarında özel bir ilişkimiz oluyordu. Belki o'da ben'de çok koşturuyorduk. Hava alanlarında sık sık karşılaşırdık. Konuşmamız mutlaka bir öğreti ile biterdi. Bu nedenle büyük hoca ile hatıralarımda hava alanlarının özel bir yeri oldu. Hep işlerimi merak ederdi. Sebebi muhtemelen, üniversite kariyerinden gelen bir mühendis ve iş yöneticisinin başarılı olmasını çok istemesiydi.

Değerli Konuklar;

Yer. Esenboğa Hava Limanı. Hoca Trabzona gidiyor. ben İstanbul'a dönüyorum.

"Ersin İstanbul da büyük işler yapıyorsun. Altyapılardan dolayı zemin parametreleri çok değişebilir. Hani su kaçağı veya kolektör patlaması gibi. Bu durumlar geniş ve derin kazılarda anı durumlar yaratır. Bunların olasılıklarını kapsamlı düşünmek gerek. Hadi senin uçağını çağırdılar. Yolun açık olsun."

2 ay sonra açtığımız ***cut-cover*** tünelde, paralel giden bir kolektörün yoğun yağmur sonu patlaması palplanj iksamızı göçertti ve sıkıntı çektik.

Yer. Atatürk Hava limanı. Ankara'ya gidiyoruz.

- "İşler nasıl Ersin?"
- "Şükür hocam; ama; işlerimde şu şu şu güçlüklerle karşılaşıyorum.
- "Güçlüklerin ortasında fırsatlar yatar Ersin. Galiba Einstein söylemiş. İşin aslı, Kur'anımızda var. İnşirah suresinde. **Her güçlükte bir kolaylık vardır.** Hem de iki kere bu ayet geçer. Bir düşün istersen".

Gönülüm genişledi, güçlüklerin içinde kolaylık ve fırsat arıyorum artık. Buluyorum da !.

Yer. Atatürk Hava Limanı. Hoca Trabzon'a. ben İzmir'e gidiyorum.

- "İşlerin nasıl Ersin?"
- "Şükür Hocam"
- "Bu çok iyi. Şükretmek çok iyi. Geçenlerde de İstanbul'dan geçerken gördüm. Yaklaşım ayağının temelini kazdılar, sonra durdular. Neden?"
- "Temel gerilmesine henüz karar veremediler. Proje bölümünden pafta bekliyorlar. Biraz da benim kararsızlığımın etkisi var. Kararsızlığım canım da sıkılıyor"
- "Haklısın. Sıkılır can. Niye bir muayene çukuru açıp zemine inmiyorsun. İn kuyuya zemini gör-sev-okşa. Konuşur kayalar. Zemin, istersen konuşur sana. Hadi benim uçağımı çağırdılar. Bir düşün".

Muayene kuyusu açtık. Temel zemini üstünde yükleme deneyi yaptık. Zemin Konuştu bize.

Yer. Atatürk Hava Limanı. Dış Hatlar Terminali. Hoca Libya'ya. ben Almanya'ya gidiyorum.

- "Hayrola Hocam", "Libya'ya gidiyorum. İşler nasıl Ersin"
- "İşlerin sıkıntısı bitmiyor ki hocam. Bir çoğunu siz bilirsiniz"
- "Su ile kayanın savaşını bilirsin Ersin. Daima su kazanır. Kayadan güçlü olduğundan değil. Sabırlı olduğundan. Zaman sorunların çözülmesine yardım eder. Eğer, bir de, sen her tedbiri almışsan".

Bugün geldiğim yaşta, sabırlı olmak, zamanı beklemek değil, elden gelenin en iyisini yaparak zamanı beklemek, olduğunu öğrendim. Bu tekniğin en iyi sorun çözme metodu olduğunu da gördüm.

Değerli Konuklar;

Kemal Erguvanlı büyük, unutulmaz, kalplerde ve literatürde yaşayacak bir hocadır. Çünkü o, öğretisi ve öğretirken kullandığı öğretme teknikleri ile sevgisini kalplere kazımıştır; kalplerde yaşar. Öğrencilerinin zihinlerine, ülke ekonomisinin gereklerini de yazmıştır. Öğrencilerinin; eserlerinde, Türkiye'nin ve dünyanın bayındırlıklarında da yaşar. Kemal Hoca mühendis olmak isteyen öğrencilerine; mühendis olmak isteyen mühendislere; bilgiyi sevgi ile, özen ile damıtarak, her fırsatta, susuz toprağın suyu emdiği gibi, bilgiyi emdirerek aşkla öğretmiştir. Bu nedenle Kemal Erguvanlı Hocam önemlidir ve unutulmazdır. Sayın Hocamın Aziz Hatırası önünde saygı ile eğiliyorum. .

Dikkatlerinize teşekkür ederim.

Ersin ARIOĞLU

14 Kasım 1999

Kemal Erguvanli ile iletişim üç esaslı devreye ayrılabilir.

Öğrencilik dönemimdeki Kemal Erguvanli : 5 yıl,

Asistanlık dönemimdeki Kemal Erguvanli : 5 yıl,

Mühendislik dönemimdeki Kemal Erguvanli : 23 yıl,

Ben 33 yılı 6 öğreti ile anmak ve sizlerle paylaşmak istiyorum.

Öğrencilik dönemimdeki Kemal Erguvanli :

Sınıfa hızla giren güler yüz, parlayan ve sınıfın her köşesine tevcih edilmiş gözler, kulaktan kalbe ulaşan bir ses tonu, kara tahtada sağ ve sol elle aynı anda yazılan inci gibi yazılar, net şekiller....

Ayrıca ezberlemesi çok zor jeolojik isimlerin akılda tutulması için komik öğretim teknikleri.... Ezberim kuvvetli olmadığı için bugün bu teknikleri hatırlayamıyorum.

Kemal Hoca hitap ediyor :

"Arkadaşlar hepiniz inşaat mühendisi olacaksınız. Büyük büyük köprüler-barajlar-tüneller-yapılar yapacaksınız. Her yaptığınız eserin taşla-toprakla mutlaka ilgisi olacak. Biz size taşı taşı-toprağı öğrenmenizi ama severek öğrenmenizi sağlayacağız. Çekiç elde tabiatı, taşları, toprakları nasıl inceleyeceğinizi ve onları nasıl okuyacağınızı öğreteceğiz. Ne güzel değil mi? Çekiç elde, açık havada tabiatı incelemeyi öğrenmek. Sağlam kafa sağlam vücutta bulunur. Ama sizden iyi öğrenmenizi isteyeceğiz. Mühendislik hayatınızda üzülmeyi istemiyoruz."

Asistanlık dönemimdeki Kemal Erguvanli :

Yer, bir seminer salonu. Ufak bir ara verilmiş. Erguvanli, asistanlara yaklaşıyor.

"Arkadaşlar, genç mühendislere iyi öğretiyorsunuz. Değil mi ?"

"Ben de asistanlığım da hep heyecan duyardım, iyi öğreniyorlar mı diye. Şimdi duymuyorum. Gözlerinden anlaşılıyor, bunu öğrendim. Siz de gözlerine gözlerine bakın anlarsınız. Sonra parıltıyı görürverince daha iyi anlatırsınız."

"İmtihanda sakın öğretmediklerinizi sormayın. Notu da bildiklerinden verin. Bilemediklerini zaten bilmiyorlar. Bilmediğiniz ne kadar çok şey var. Ama bildiğimizi nasıl biliyoruz. Ona not atın."

Mühendisliğimdeki Kemal Erguvanli:

"Temel zeminini sev ve okşa Ersin. Konuşur sana"

Yer, Atatürk Hava Limanı. Hoca Trabzona gidiyor, ben İzmir'e.

" İşlerin nasıl Ersin?"

" Şükür Hocam"

" Bu çok iyi. Şükretmek çok iyi. Geçenlerde geçerken gördüm. Yaklaşım ayağının temelini biraz kazdılar, sonra durdular. Neden?"

"Temel gerilmesine henüz karar veremedim. Hocam benden pafta bekliyorlar. Birazda kararsızlığımı kızıyorum."

"Haklısın. Sıkılır can. Niye bir muayene kuyusu açıp; zemine inmiyorsun? İn kuyuya zemini sev - gör - okşa. Konuşacaktır sana. Kayalar, zeminler istersen sana konuşurlar. Hadi benim uçağımı çağırdılar. Kolay gelsin."

"Sağolun hocam."

"Koşulların değişimini düşünüyorsun, değil mi? "

Yer, Ankara, Esenboğa Hava Limanı. Hoca Trabzon'a ,ben ise İstanbul'a gidiyorum.

"Ersin, sen hep şehirlerde büyük işler yapıyorsun. Alt yapılardan dolayı zeminlerin parametreleri çok değişebilir. Hani bir şebeke suyu kaçağı sonradan doğar veya kanalizasyon kollektörü patlar. Özellikle bazı özel hallerde temel zamanla mukavemetini kaybeder.

Bu durumları ve olasılıkları çok kapsamlı düşünmek gerekir. Hadi senin uçağı çağırdılar. Yolun açık olsun."

"Su ile kayanın savaşını daima su kazanır."

Yer, Atatürk Hava Limanı, Dış Hatlar Terminali.

"Hayrola hocam, ne tarafa ?"

"Libya'ya gidiyorum Ersin. İşler nasıl?"

"Birçok sıkıntım var. Birçoğunu biliyorsunuz. Şu sıkıntı, bu sıkıntı hocam."

"Su ile kayanın savaşını bilirsin Ersin. Daima su kazanır. Güçlü olduğundan değil. Sabırlı olduğundan –sebatkar- olduğundan."

"Ama yoruldum hocam. Hem bahsettiğiniz su damlası hep aynı değil."

"Güçlüklerin ortasında fırsatlar yatar"

Yer, Atatürk Hava Limanı. Ankara'ya gidiyoruz.

"İşler nasıl Ersin? "

"Şükür hocam. Ama şu işimde güçlüklerim var."

"Güçlüklerin ortasında fırsatlar yatar Ersin. Galiba Einstein söylemiş. İşin aslı, Kur'an'ımıza insirah suresinde " Her güçlükte bir kolaylık vardır." denilir. Hem iki kere söylenmiştir. Bir düşün istersen. "

Sayın konuklar, inşaat yatırımlarını projelendirmede mühendislik jeolojisi işte bu nedenlerle çok önemlidir. Özenle, bilinçle kullanılmalıdır.

Aynı şekilde, Mühendislik Jeolojisi olgusu, İstanbul Teknik Üniversitesinde çok yıllar önce Kemal Erguvanlı tarafından oluşturulmuş klasik ve değişik boyutları ile önemiyle orantılı olarak, mühendis olmak isteyen öğrencilere ve mühendis olmak isteyen mühendislere sevgi ve özenle her fırsat ve her olanak kullanılarak aşk ile öğretilmiştir.

Kemal Erguvanlı, öğretisi ve kullandığı öğreti teknikleri ile sevgisini yüreklere kazıdığı, kendisi ve yetiştirdiği öğrencileri öğretisini ülke ekonomisine hizmet edebilecek biçimde kullandığı ve Türkiye'nin bayındır olmasına yatsınamaz katkılar koyduğu için önemlidir, unutulmazdır. Aziz hatırası önünde saygı ile eğiliyorum.

Mühendislik jeolojisi henüz inşaa edilmemiş, fikir halinde veya kağıt üzerinde bulunan bir yapının; inşaa edilirken ve servis hayatı boyunca temel zemini ve çevresindeki zeminlerle kuracağı iletişimi, etkileşimi mühendise anlatan bir bilim dalıdır. Başka bir deyişle, mühendislik jeolojisi, yapı ile temel zemini arasında (genel olarak) sessiz geçecek diyalogu, eksi iletişimi proje mühendisine tercüme eder, yorumlar. Bu iletişimin muhtemel çelişkilerini ortaya koyar ve mühendise senaryolar hazırlar. Bu görevi ile inşaat mühendisinin daha ekonomik, daha uzun ömürlü, çevresi ile daha uyumlu (çevre koruma ve estetik kavramlar içinde) yapılar inşaa etmesini sağlar. Bir başka pencereden bakarsak mühendisin kendisini, temel zemini ve çevresindeki zeminler gibi hissetmesini ve inşaa edilecek yapıya zeminler tarafından oluşturulacak davranışların ve gönderilecek mesajların doğru şekilde algılamasını, anlamasını, yorumlamasını ve hesap etmesini sağlayan " empati " aracıdır. Empatik sürecin tamamlanması için mühendis, zemin davranışı ve mesajlarını doğru algıladığını belirtecek eyleme geçer, empati kurduğu zeminleri rahatlatır, üretici kılar ve uyumlu hale getirir.

ZEMİN MEKANİĞİ ve MÜHENDİSLİK JEOLJİSİ İLİŞKİLERİ ÜZERİNE DÜŞÜNCELER

Prof. Dr. Remzi A. ÜLKER

1. GİRİŞ

Püskürük kayaların yeryüzüne ulaşmaları anında başlayan fiziksel ve kimyasal ayrışmaların en son ürününü zeminler oluşturur. Zeminler genelde 75 mm ile 0.002 mm arasında dane boyutuna sahiptir. 75 m'den büyüklere blok, 0.002 mm'den çok daha küçük boyutluya ise kolloid adı verilir.

Sedimanlar, akarsular, buzullar, rüzgarlarla taşınır, göller, karasal çukurlar ve genellikle denizlerde çökerek zeminleri oluşturur. Zeminler bu andan itibaren çeşitli jeolojik etkenler altında kalır ve bu etkenlerin izlerini taşır.

2. ZEMİNLERİN OLUŞUMUNA JEOLJİK ETKENLER

2.1 Zemin Renklerinin Anlamları

Zeminler genelde bünyesindeki kimyasal etkenler ile oluşum koşullarına bağlı renk taşırlar. Renk konusunda öncelikle demir, bakır, magnezyum ve organik madde rol oynar.

Demir oksidin sarımsı renkleri genelde göl ve gölün seviyesinin değiştiği kısımlarda yer alır. Hematit ve manyetit ise oksitlenmenin çok kuvvetli olduğu bölgelerde oluşur. Derin denizlerde oluşan killerde ise demir oksidin çökme döneminde klorun redüklemesine uğrar, zeminin rengi mavi – yeşile döner. Bakır yeşilimsi, magnezyum ise koyu gri renkler verir. Organik madde ise koyu siyah – gri tonları hakim kılar. Organik maddeli zemin bir süre havanın oksijeni karşısında kalırsa renk açılır, kahverengi tonlara döner. Sedimentolojik çalışmalarla beraber zemin rengi oluştuğu ortamın belirlenmesine yarar.

2.2 Granülometrik Yapı

Zeminlerin granülometrik yapısında oluşum mahalli hakkında önemli bilgi verir.

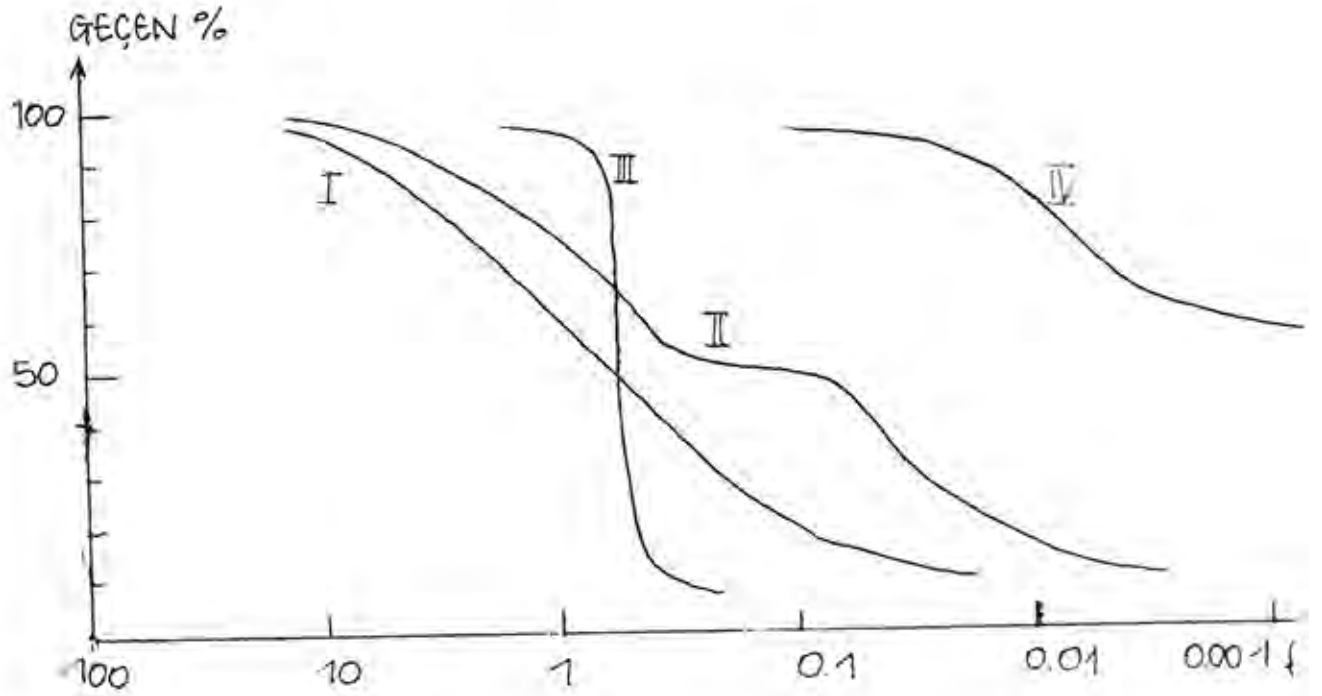
Şekil 1'de I genelde göl içinde oluşmuş,

II Nehir taraçası

III Deniz veya çöl kumu

IV Derin deniz kili

Çakıl ve kumun şeklide oluşum yeri ile ilişkilidir. Yuvarlak çakıl uzun süreli nehirde taşınmışlığı, yassı çakıl deniz kenar etkisini gösterir.



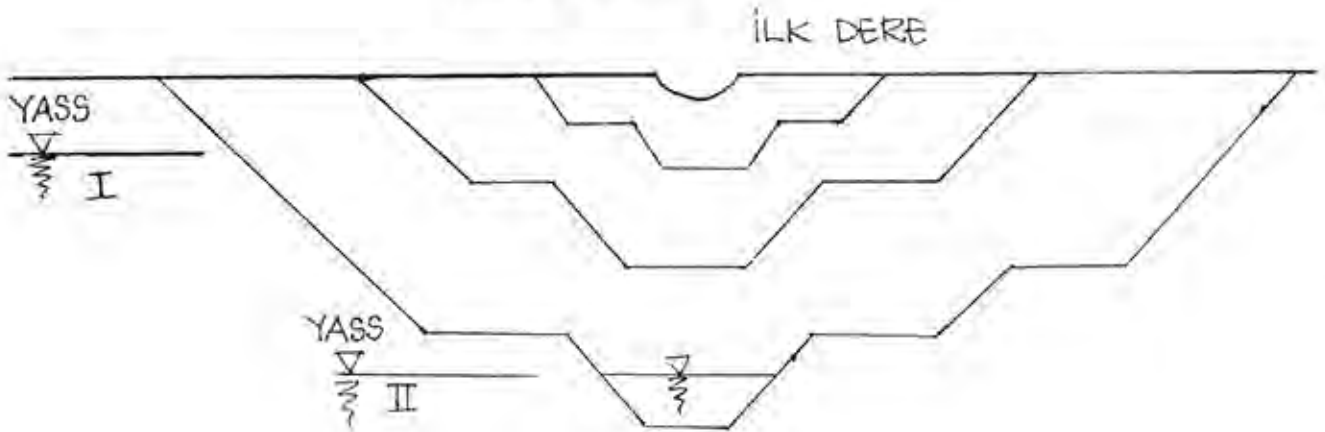
Şekil 1. Granülometri zemin oluşum yeri ilişkileri

2.3 Zemin Tarihçesi Önemi

Zemin oluşumundan bugüne kadar düşey veya yatay herhangi jeolojik etken altında kalmamışsa buna "normal yüklenmiş" sıfatını veriyoruz. Eğer zemin jeolojik tarihçesi içinde bugünkünden çok daha farklı yüklemeler altında kalmışsa buna da "önceden yüklenmiş zemin" adını veriyoruz.

Zemini önceden yüklenmiş hale getiren unsurlar ise

- erozyon
- yer altı su seviyesinde alçalmalar
- jeolojik yan basınçlar
- kimyasal yapı değişikliği
- buzulların yüklemesi



Şekil 2. Nehir ve çevresi zemin özellikleri

Şekil 2'de I ile gösterilen zon normal yüklenmiş zemini, II ile gösterilen zon ise erozyon ve yer altı su seviyesindeki değişmeye bağlı önceden yüklenmiş zondur.

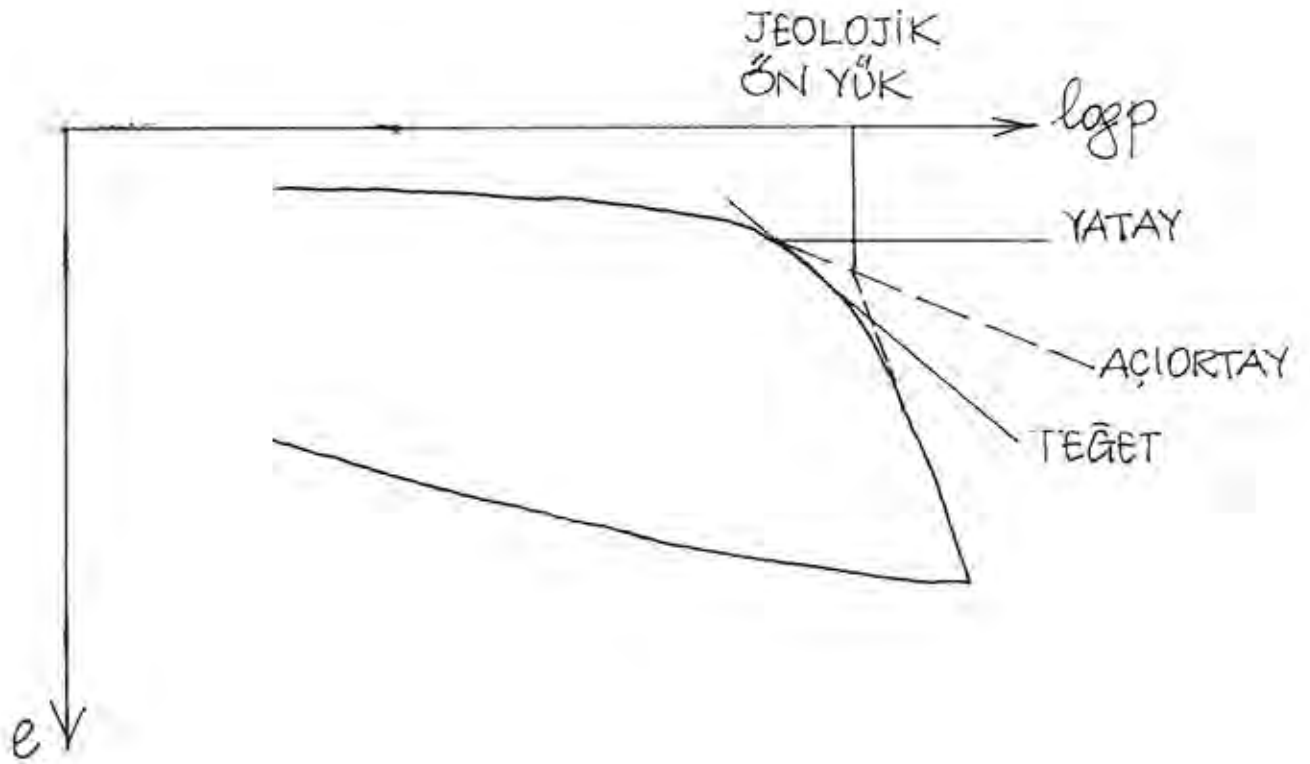
Önceden yüklenmiş kilde

- | | |
|------------------------------------|----------------------------|
| -Su muhtevası plastik limite yakın | $\omega_n \sim \omega_p$ |
| -kohezyon | $C \sim 10 \text{ kN/m}^2$ |
| -kayma mukavemeti açısı | $\phi \sim 20 - 25^\circ$ |

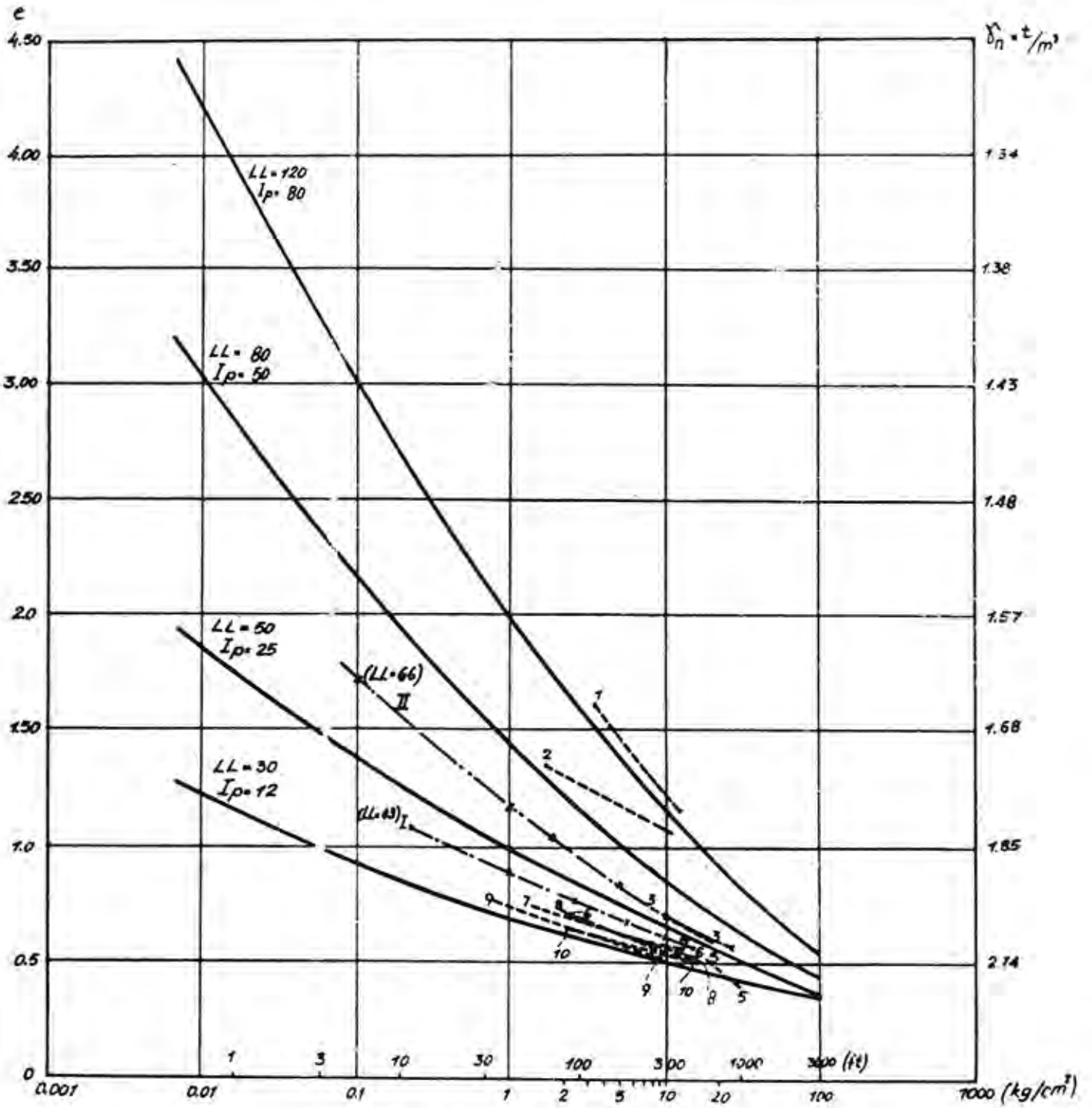
olup devamlı artan bir taşıma gücüne sahiptir.

2.3.1 Killer jeolojik tarihin izini öncelikle indeks özelliklerinde gösterir. Bu konuda Skempton çeşitli likit limit değerleri olan killeri su muhtevası likit limite yakın hazırlamıştır. Laboratuarda çok yavaş yükleyerek boşluk oranı ile üst yük ve likit limit arası bağıntılar saptamıştır. Bu çalışmanın üzerine boşluk oranı ve likit limite göre Neojene ait Boğaziçi killeri yerleştirilmiştir [ÜLKER].

2.3.2 Ödometre deneyleri ise jeolojik ön yüke ait genelde bir diz noktası gösterir. Ön yükün mertebesi çok sayıda zemin mekaniği uzmanınca araştırılmıştır. Genelde çok tercih edilen bir yöntem Casagrande tarafından önerilmiştir.



Şekil 3. Casagrande ön jeolojik yük ilişkisi



I. YOĞURULMUŞ TOPRAK-SARI KİL

II. YOĞURULMUŞ PETRO-KİMYA SARI KİLİ

ŞEKİL - 4

ATTERBERG LİMİTLERİNİN BİR FONKSİYONU OLARAK KİL YATAKLARININ ÖN YÜK YOĞUNLUK-BOŞLUK ORANI ARASINDAKİ YAKLAŞIK BAĞINTISINI GÖSTEREN GRAFİK ÜZERİNDE BOĞAZIÇI KİLLERİNİN DURUMU, A.W. SKEMPTON'DAN FAYDALANILARAK, 1961

3. SONUÇ

Zemin mekaniğinin bilimsel yöntemi olan “deney” ve uyguladığı deney metotları jeoloji için yararlı olabilecektir. III. Zaman ve daha yeni tabakalarda çok az veya hiç fosilsiz ortamların değerlendirilmesinde bu yöntemler araştırılmalıdır. Jeolojinin zemin mekaniğine yardımı ise yapıların zemin temel ilişkilerinde taşıma gücü, oturma sorunları, şevlerin stabilitesi, şişme ve şişme basıncı vb. konularda geniş imkan yaratacaktır.

TÜRKİYEDEKİ YERALTI KAYA YAPILARININ TASARIMI VE UYGULANMASINDA MÜHENDİSLİK JEOLJİSİNİN YERİ VE ÖNEMİ

THE ENGINEERGEOLICAL ASPECTS AND THEIR IMPORTANCE IN THE DESIGN AND REALISATION OF UNDERGROUND ROCKWORKS IN TR

Mahir VARDAR
İTÜ Maden Fakültesi

"Uygulamalı meslek yaşamımda; tüm başarısızlık ve felaketlerin hiçbir zaman hesap hatalarından kaynaklanmadığı, bunların daima düşünme kusurlarına bağlı olduğu sonucuna vardım".

L. Müller,
(1978, 70. Doğum Yılı)

Öz

Yeraltı yapılarının açımı ve imalatı sırasında dengede olan doğal bir ortam değişik oran ve boyutlarda değiştirilir, bozulur ya da örselenir. Kaya mühendisliğinin ana felsefesi; bu çalışmalar sırasında kayadaki tüm oluşum, evrim ve gelişim süreçlerinin yeterince anlaşılabilmiş olmasıdır. Bu sırada oluşan gerilme boşalmalarının, kayaçtaki gevşemelerin ve nihayet yeni yüklenme durum ve koşullarının nedenleri araştırılır. Mühendislik jeolojisi mühendislere bu alanda kullanabilecekleri veri tabanlarını ve teknik hizmetleri sırasında yararlanabilecekleri inceleme, irdeme ve yorumlama yöntemlerini sunmayı amaçlamaktadır. Bildiride Erguvanlı'dan bu yana kurucusu olduğu anabilim dalında oluşan birikimler derlenerek sunulmağa çalışılmıştır.

Abstract

During the excavation and construction of the underground structures, the media, in natural equilibrium, is either changed, disrupted or deformed in many different ratios and dimensions. The main philosophy of the Rock Engineering is that all origination, evolution and development processes in rock masses are sufficiently understood. Meanwhile, the tensional relaxation and releases in the rock mass which are formed and the causes of the reloading conditions are researched. The engineering geology aims to present databases and the methods of observation, evaluation and interpretation that engineers can provide during their technical services. This paper resumes the evaluated knowledge in The Engineering Geology Department of Erguvanlı School.

Kalıcı yeraltı yapılarını yerüstü yapılarından ayıran en belirgin farklılık, içinde çalışılan ortamın ve yüklenme koşullarının jeoloji ve hidrojeolojiyle çok daha yakından ilişkili olmasıdır. Yapım öncesinde genelde dengede olan doğal bir ortam, yeraltı yapılarının açımı ve imalatı sırasındaki teknik girişimlerle değişik oran ve boyutlarda değiştirilir, bozulur ya da örselenir. Kaya mühendisliğinin ana felsefesi; bu çalışmalar sırasında oluşabilecek gerilme boşalmalarının, kayaçtaki gevşemelerin ve nihayet yeni yüklenme durum ve koşullarının nedenleri ve olası etkileriyle tüm oluşum, evrim ve gelişim süreçleri içinde yeterince anlaşılabilmiş olmasıdır. Dolayısıyla; başarılı ve kalıcı yapılara erişebilmek için, projeci ile uygulayıcı mühendisler arasında, yetişmişlik düzeylerinden başlamak üzere, anlaşma dilindeki tanım birlikteliği dahil, görgü ve deneyim birikimine dayanan ortak anlayışların oluşturulması temel ilkedir. Bu nedenle aşağıda bu ana kavramlar ve yaklaşımlar üzerinde açıklamalar getirilmekte ve bunların birbirleriyle olan ilişkileri gösterilmeğe çalışılmaktadır.

2. MÜHENDİSLİK JEOLJİSİ NEDİR, YERİ NERESİDİR?

Mühendislik jeolojisinin uğraşı alanı; yerkabuğunun,

- ✓ Türünün,
- ✓ Özelliği,
- ✓ Niteliği,
- ✓ Niceliği ve
- ✓ Koşullarının

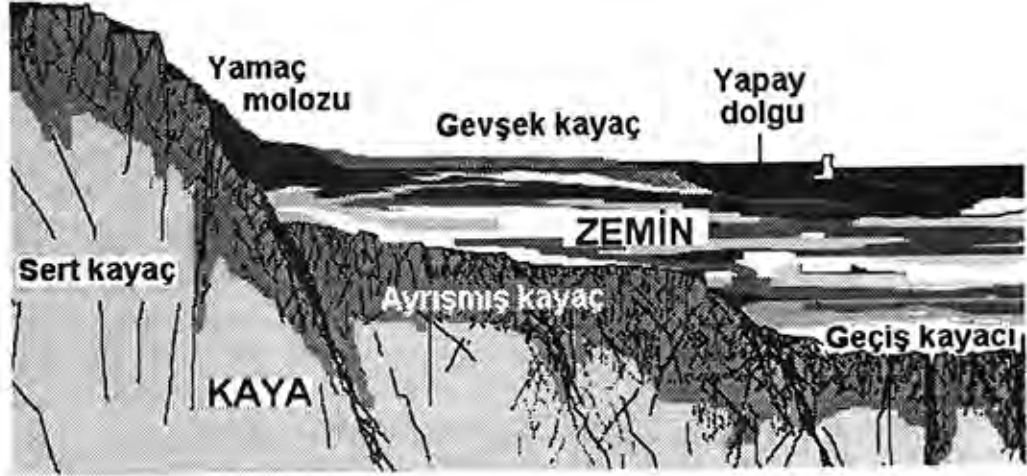
her farklı $P_i(x_i, y_i, z_i)$ koordinat noktasında birebir ve tek anlamlı olarak, teknik girişimin amacına ve türüne uygun şekilde sayısal tanımlanmasıdır.

Mühendislik jeolojisi bu amaçla, içinde ve üzerinde çalışılan ortamların önce doğal mı, yoksa yapay mı olduklarını sorgular. Daha sonra bunların genel sınıflamasını yapar, sınırlarını ve geometrisini belirler.

Doğal ortamlar;

1. Toprak , su
2. Zemin
3. Kaya ve
4. Geçiş Kayacı

olarak ayırtlanırlar (Şekil 1).



Şekil 1 . Mühendislik jeolojisi çalışmalarında ortamların adlandırılması

Mühendislik Jeolojisinin Jeolojik-Teknik Sistemler içindeki yeri bir bina örneğinde gösterilebilir (Şekil2).



Şekil 2. Mühendislik çalışmalarında Yerbilimleri Binası

Çizelge 4. Bilgi Gereksinimi ve Jeosistemlerin Özellikleri

BİLGİ GEREKSİNİMİ-JEOSİSTEMLERİN ÖZELLİKLERİ	
→	Kayaçların İnhomojenliği ve Jeolojik Yapıların Karmaşıklığı
→	Farklı süreksizlik türlerinin Sistem Büyüklüğüne göre değişik davranış göstermesi (Mikro çatlaklar, Çatlaklar, Kırıklar, Faylar)
→	Malzeme parametrelerinin Boyut ve ölçek bağımlı olması (Şekil değiştime, direnç, hidrolik parametre v.d.)
→	Malzeme parametreleri ile durum-koşul etkilerini yansıtan büyükliklerin dolaylı ölçümlerden, öngörü ya da varsayımlardan türetilmesinin zorunlu oluşu
→	Pekçok kayacın Anizotrop davranış göstermesi
→	Çok halli olma (Kati kayaç, gözeneklerde ve çatlaklarda gaz ve/veya hava bulunması)
→	Tepkimelerin zaman bağımlı olması koşul ve özelliklerin zamanla değişmesi

Çizelge 5. Jeolojik/Teknik Sistemlerde Ayrıntı ve Bilgi Gereksinimi

JEOLOJİKTEKNİK SİSTEMLERİN AYRINTI DERECELERİ VE BİLGİ GEREKSİNİMİNİ ARTTIRAN NEDENLER	
→	DEPREMSELLİK'e bağlı Risklerin bulunması
→	ORTAMIN YENİLMESİ ya da işlevini yitirmesi ne bağlı Risklerin oluşması
→	YANLIŞ YERSEÇİMİ ne bağlı zor ya da belirsiz yeraltı koşullarının bulunması ya da oluşması
→	İLERLEYEN PLANLAMA VE PROJE AŞAMALARI nda gereken veri tabanı ve bilgi düzeyinin artması

Mühendislik Jeolojisi bu bina içindeki yerini alırken, ortamın kökenini, oluşumunu, evrimini ve güncel gelişimi ile etkilerini tanıtan genel jeoloji, jeofizik, neotektonik ve sismoloji'ye, ayrıca tüm mekan ve boyut ilişkilerini tanımlayan ve kullanıma açan bilimlere dayanır.

Mühendislik Jeolojisi teknik girişimin, proje amacı ve hedeflerinin tanımlanmış olduğu yerde başlar. Dolayısıyla, ortamı ve koşulları, oluşturulmak istenen sistemin önem derecesine, boyutuna, işlev süresine (öngörülen ömrüne) ve doğal uyum beklentilerine göre tanımlar. Yaptığı sınıflamalar ile getirdiği yorum ve yaklaşımlar, proje aşamalarına ve etkilenen-etkileyen jeosistemin büyüklüğüne göre değişir ve ayrıntılandırılır. Bu durum uzun açıklamalara gerek bırakmayacak şekilde izleyen çizelgelerde özetlenmiştir (Çizelge 1-5).

Çizelge 1. Mühendislik çalışmalarında izlenen adımlar, araştırma amaç ve hedefleri

PROJEDE AMAÇ VE HEDEFLERİN BELİRLENMESİNDEN SONRA İZLENEN YOL				
1	ORTAM VE KOŞULLARIN TANIMI VERİ ÜRETİMİ	TOPOGRAFIK-MORFOLOJİK-METEOROLOJİK-KLİMATOLOJİK-JEOLOJİK-HİDROLOJİK-HİDROJEOLOJİK-ARKEOLOJİK-BİTKİSEL-ZOOLOJİK-AGRAKÜLTÜREL-DEMOLOJİK-SOSYOLOJİK-EKONOMİK v.b.g.		
2	VERİLERDEN BİLGİ ÜRETİMİ	DOĞAL VARLIK VE ZENGİNLİKLER YAPAY VARLIK VE ZENGİNLİKLER	➔	YARARLAR SAKINCALAR SORUNLAR
3	BİLGİLERDEN SONUÇ ÜRETİMİ	OLANAKLAR, BİRİKİMLER KOŞULLAR, BEKLENTİLER	➔	ÖNLEM-İŞLEM ÇÖZÜM YÖNTEM-YÖNETİM

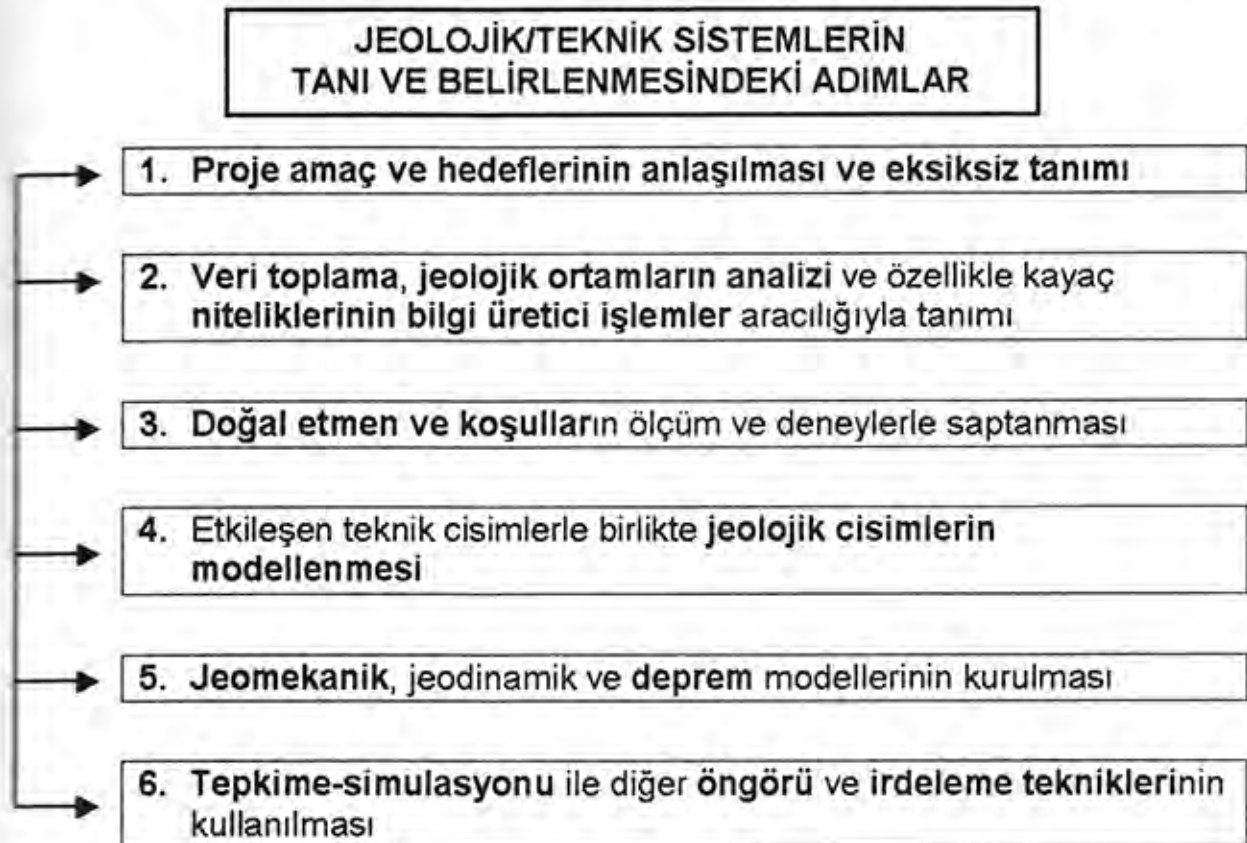
DEĞİŞİK PROJE AŞAMALARINDA ARAŞTIRMALARIN ÖZELLİK VE NİTELİKLERİ				
GRUP	PROJE AŞAMASI	ARAŞTIRMANIN TÜRÜ		
A	1	GENEL PLANLAMA ÖN FİZİBİLİTE FİZİBİLİTE	BÖLGESEL (REJYONAL)	- NİTELİKSEL
	2		YERSEL (LOKAL)	- NİTELİKSEL
	3		YERSEL	- NİCELİKSEL
B	4 5 6	KESİN UYGULAMA İŞLETİM-DENETİM	NOKTASAL	- NİCELİKSEL

Mühendislik Jeolojisi çalışmalarının bölgesel, yersel ve noktasal yürütülmesi, proje aşamalarının gereğidir. Araştırmaların temel hedefi, karşılaşılabilecek olumsuzlukların ya da yararlanılabilecek doğal ortam ve koşulların mühendislik kararlarının alınmasında belirleyici olacak şekilde tanımlanmasıdır. Bu amaçla hazırlanan model ve bu modele dayandırılan jeomekanik davranış süreçleri veri tabanından bilgi üretilmesine ve amaca uygun karar matrislerinin oluşturularak kullanılmasına bağlıdır.

Çizelge 2. Jeoteknik Ölçüm ve Gözlemlerin Tanı ve Belirlenmesindeki Adımlar

JEOTEKNİK ÖLÇÜM VE GÖZLEMLERİN AMAÇ VE ANA HEDEFLERİ		
ASAMA	AMAÇ	HEDEF
YAPIM ÖNCESİ ARAŞTIRMA AŞAMASI Ölçüm, Gözlem, Deney	ORTAMLARIN TUR, DURUM, NİTELİK, NİCELİK, KOŞUL VE DAVRANIŞLARININ BELİRLENMESİ	YER SEÇİMİ-PRİMER STABİLİTE-GEÇİRİMSİZLİK-YAPI TÜRÜ SEÇİMİ-MALZEME SEÇİMİ-BOYUTLANDIRMA
YAPIM SIRASI UYGULAMA AŞAMASI Ölçüm, Gözlem, İzleme, Uyarı	YÖNTEM, İŞ, İŞLEM, ÖNLEM VE TEKNOLOJİNİN BELİRLENMESİ	STABİLİTENİN VE GEÇİRİMSİZLİĞİN KORUNMASI VE SAĞLANMASI-İMALATIN, ORGANİZASYONUN VE KALİTENİN ARTTIRILMASI
YAPIM SONRASI İŞLETİM AŞAMASI Ölçüm, İzleme, Uyarı	DEĞİŞİMLERİN İZLENMESİ, YAPININ YETERLİLİĞİNİN VE İŞLEVSELLİĞİNİN DENETLENMESİ	RİSKSİZLİĞİN KANITLANMASI

Çizelge 3. Jeolojik/Teknik Sistemlerin Tanı ve Belirlenmesindeki Adımlar



3. YERALTI KAYA YAPILARININ AÇIMI SIRASINDA GEREKEN MÜHENDİSLİK JEOLojisi VE KAYA MEKANİĞİ ÇALIŞMALARI

Yeraltı kaya yapılarının açımı sırasında gereken çalışmaların projelendirme aşamalarında sürdürülenlerden en büyük farkı, jeolojik veri toplamanın yanısıra, doğa-teknik etkileşiminin izlenmesi ve uygulamayı denetleyecek ve yönlendirecek veri ve bilgilerin oluşturulmasıdır.

Bu kapsamda yapılması gereken çalışmalar aşağıda özetlenmektedir:

- Açım sırasında aynada ve duvarlarda karşılaşılan litoloji, mineraloji ve yapısal jeoloji bilgileri, **jeoteknik birimlerin tanımlanarak ayırtılması amacıyla** harıtalanmalıdır.
- Buralardan alınan **fotograflarla** durum belgelenmelidir.
- En fazla 10'ar metre aralıklarla kazının hemen sonrasında **profiller çıkarılarak fazla kazı, aşırı sökülme miktarları** belirlenmeli ve daha sonra da düzenli şekilde **konverjans ve 3-D ölçümleri** yapılmalıdır.
- Her jeolojik birim için (zemin veya kaya) örselenmemiş **kayaç örnekleri** alınmalı, bunlar üzerinde fizikomekanik parametrelerin belirlenmesi için standart laboratuvar deneyleri yapılmalıdır.
- Kaya için C, E ve ν 'nün yanısıra **kuru, ıslak ve suya doygun koşullardaki post failure davranışları** bulunmalıdır.
- Ayrıca **ayırışma durumları** incelenmelidir.
- Killi zeminler için mineralojik bileşimleri, Atterberg limitleri, konsolidasyon davranışları ve şişme potansiyelleri incelenmelidir.
- Ayrıca zemin niteliğindeki kayaçlarda **drenajlı ve drenajsız koşullarda kesme deneyleri** yapılmalıdır.
- Yüzeyden ya da tünel içinden açılan araştırma deliklerinde **pressiometre deneyleri** yapılmalı, ayrıca **tektonik gerilmelerin araştırılması için de özel deneyler** öngörülmelidir.
- **Yüzey oturmalarının** gözlenmesi için tünel eksenı üzerinde her 20 m' ye bir **okuma noktası** yerleştirilmeli, ayrıca her 100 m'de bir eksene dik olarak aynı şekilde hazırlanmış **200 m'lik enine ölçme ve gözlem kesitleri** yerleştirilmelidir.

4. YERALTI KAYA YAPISI NEDİR?

“Yeraltı Kaya Yapısı” denince, yerkabuğu içinde herhangi bir boşluğun açılmasından sonra, bu boşluğu çevreleyen ana kayanın kendisi anlaşılmaktadır. Yerüstünde birbiri üzerine belirli ilkeler içinde yerleştirilen değişik yapı gereçleri (taş, tuğla, ahşap, beton vb) gökkubbe altında nasıl bir yapı-mekan yaratan bir sistem oluşturuyor ise, buna benzer şekilde, süreksizliklerle birbirinden tümüyle veya kısmen ayrılmış olan doğa malzemesi de (çatlak cismi = kaya birim elemanı) boşluğun açılmasından sonra, birbirlerine dayanarak yer içinde taşıyıcı bir sistem, bir yapı oluşturmaktadır.

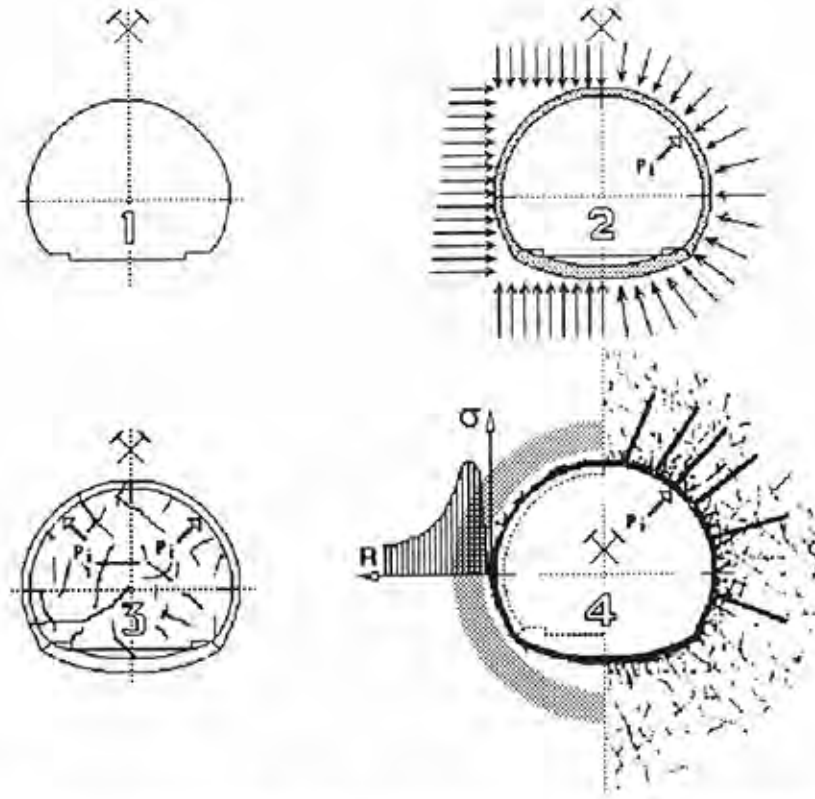
Alışlagelmiş inşaat mühendisliği kavramları içinde, üstüste yerleştirilen yapı gereçleri sürekli yüklenirken, kaya mühendisliğinde “Kaya Gereci” nin üstündeki yük önce azaltılmakta, daha sonra ikincil gerilmelerle yeniden yüklenmektedir.

Tanımdan da anlaşılacağı üzere, yeraltı kaya yapıları mekaniğinde, boşluğu çevreleyen kayanın kendi kendini taşıyabilme durumu araştırılmakta ve gerektiğinde sağlamlaştırma önlemleri önerilmekte ve projelendirilmektedir. Böylece içine yeraltı yapısının yerleştirileceği mekanı koruyan güvenli bir “kaya kubbe” oluşturulmaktadır. Yerkabuğu içinde yeralan ve onun malzemesinden oluşan, değişik şekil ve boyutlardaki bu duraylı (stabil) kubbeye “Yeraltı Kaya Yapısı” denilmektedir.

Yeraltı yapıları projelendirilirken, çoğu kez yerüstü mühendisliği için gelenekselleşmiş olan mühendislik anlayışlarının önemli ölçüde dışına çıkılması gerekir. Bunda oluşturulan yapıların a) malzemesinin, b) yüklenme durumunun, c) çevresel koşulların olduğu kadar, yeraltı yapısı kavramında gizlenen farklılığın da etkisi vardır.

Örnekleme üzere “tünel” kavramını ele alalım. Tünel bir yaklaşıma göre; yeraltında oluşturulan iki ucu açık, en azından insan geçişine elverişli boyutta, uzunluğu genişliğinden fazla ve genelde eğimi % 30 dan az olan boşluklar (açıklıklar) kazanılmış mekanlardır. Bir başka anlayışa göre, tünel anılan yeraltı boşluklarının oluşumunu sağlayan ve onları güvenli kılan destekleme yapılarıdır; tünel kayaç yüklerini taşıyan bir kabuk, bir çerçevedir. Veya tünel yeraltında kazılması gereken bir kütle ve desteklenmesi gereken kayaç duvarlarıdır.

Sırasıyla mimarlık, inşaat ve maden mühendisliği anlayışları içinde tünel, genel çizgisiyle bu şekillerde tanımlanmaktadır. Oysa, jeomekanik ve jeotekniğin giderek daha da geliştiği günümüzde; malzemesi doğa (kayaç) olan, içi boşaltılan, kendisini yükleyen ve taşıyan (veya taşıyıcılık kazandırılan), iki ucu açık, genelde yatay konumlu, kalın duvarlı silindire benzeyen bir mühendislik yapısıdır tünel... Şekil 3’de bu yaklaşımlar basitleştirilerek gösterilmektedir.



Şekil 3. "Yeraltı Kaya Yapısı-Tünel" kavramına; 1- mimari, 2- kabuk statîği, 3- kazı ve tahkimat, 4- jeomekanik ve jeoteknik açıdan bakış

Tünellerinin açımı sırasında içinde çalışılan ortam ve koşullar değişmekte, değiştirilmektedir. Bu değişimin derecesi, kuvvetler dengesinin veya moment dengesinin ya da gerilme durumunun teknik girişim sonucunda ne kadar bozulmuş olduğuna bağlıdır. İçinde çalışılan ortam bu yeni koşullara uyumlanırken kendi özellik ve niteliklerine göre tepkimekte, direnmektedir. Dolayısıyla değişim olarak karşımıza çıkan ölçülebilir büyüklükler, zorlayan etmenlerle bunlara direnen ortam arasındaki etkileşimin sonucudur. Direnme, önce enerjiyi dengelemek, sonra türünü değiştirmek ve nihayet düzeyini düşürmek şeklinde olmaktadır.

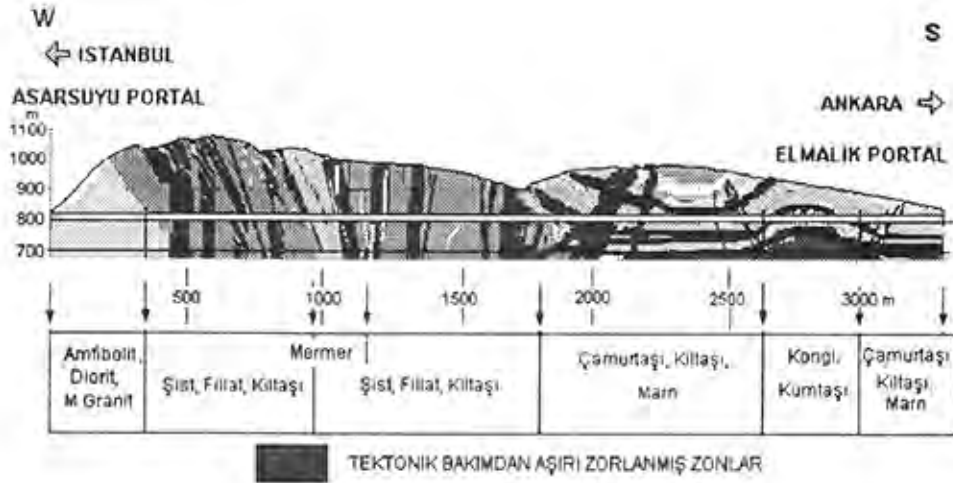
Bir başka değişle; zamana bağlı gerilme-deformasyon ilişkisi ve çevre kayacının psödoplastikleşmesi, denge durumu ile etkileşimin ölçütü ve nedeni olmaktadır. Bu etkileşim miktarının teknik girişim için öngörülen sınır(lar)ı aşması durumunda ise, duraylılık sorunu başlamaktadır.

5. ÖRNEKLER

Bolu Tüneli

Bolu Tünelinde karşılaşılan sorunların nedenleri olarak

- düşük açılı fay hattı,
 - yüksek arazi basınçları
 - şişen kil mineralleri,
 - tektonik örselenmeye bağlı kayaç dayanımının azalması
 - suyun kaya dayanımına olan olumsuz etkileri
- belirtilmiştir. Açım tekniği ile uygulama yöntem ve işlemlerine bağlı olumsuz etkileşimler gündeme getirilmemektedir.

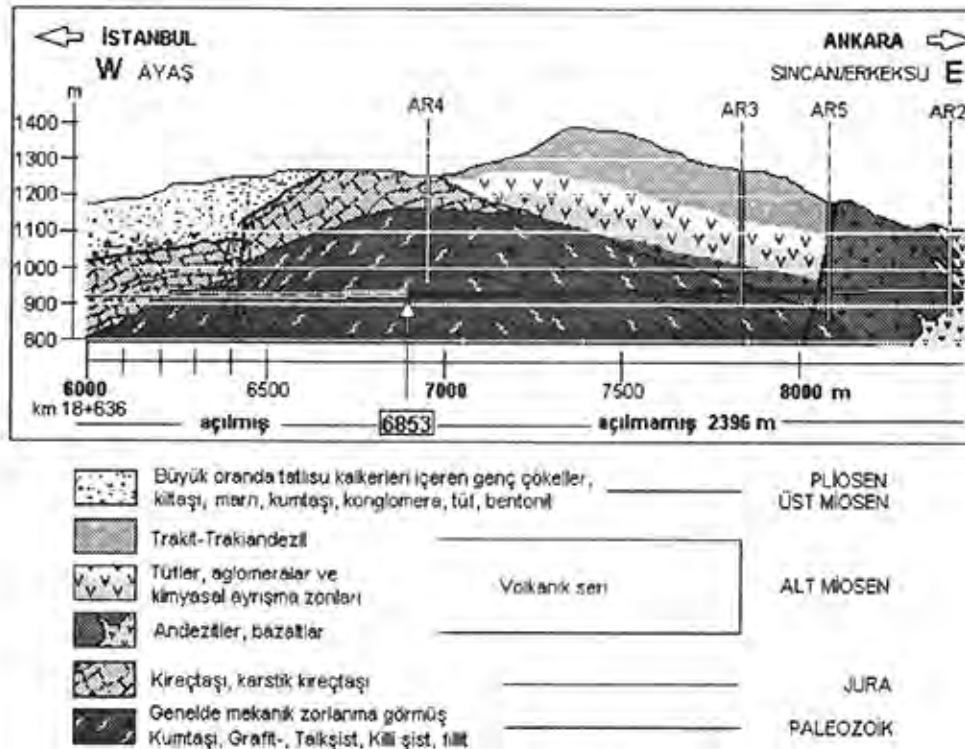


Şekil 4. Bolu Tüneli Güzergahının basitleştirilmiş jeolojik kesiti (Astaldi-Geoconsult'a göre)

Ayaş Tüneli

Ayaş Tünelinde karşılaşılan sorunların nedenleri :

- yüksek arazi basınçları
- şişen kil mineralleri,
- tektonik örselenmeye bağlı kayaç dayanımının azalması olarak verilmektedir.
- Açım tekniği ile uygulama yöntem ve işlemlerine bağlı olumsuz etkileşimler gündeme getirilmemektedir.



Şekil 5. Ayaş Tüneli Güzergahının basitleştirilmiş jeolojik kesiti (Nurol-İTÜ'ye göre)

6. KAYNAKÇA

- REIK, G., M. VARDAR, (1999), *Zur besonderen Problematik der Modellierung geologischer Systeme und ihrer Reaktion auf technische Eingriffe, Raumbezogene Informationssysteme für geologische, bau- und geotechnische Aufgaben*, 1. Clausthaler FIS-Forum, 15-16. Oktober 1997, ISBN 3-89720-327-8
- ULUSAY, R., (1994), *Uygulamalı Jeoteknik Bilgiler*, TMMOB Jeoloji Müh. Odası Yayınları:38, ISBN 975-395-107-8
- VARDAR, M., KOÇAK C., TOKGÖZOĞLU, F., (1998), *Bolu Tünelindeki Zamana Bağlı Deformasyonların Kökeni ve Gelişimine İlişkin Örneklemeler*, 4. Ulusal Kaya Mekaniği Sempozyumu Bildiriler Kitabı, 22-23 Ekim 1998, Zonguldak, Türkiye.

DENİZ KENARINDA HAFRİYAT EXCAVATION NEAR THE SHORE

A. Tufan DURGUNOĞLU¹ İlyas EKŞİOĞLU² Berrin ŞENEL³ Ayçın MUNGAN⁴

ÖZET/SUMMARY

Bu çalışma, yurtdışında uzun yıllardan beri uygulanan, ülkemizde son yıllarda güvenilir, hızlı ve ekonomik olması nedeniyle rağbet gören jet grout sisteminin yalı ıslahında uygulanışıyla ilgili olarak hazırlanmıştır. Sistemin tüm avantajları kullanılarak İstanbul/Kanlıca'da Nuri Özalp'tin'a ait yalının inşasında *jet grout kolonlar* temel altında taşıyıcı, deniz kenarında ise geçirimsizlik perdesi olarak imal edilmiştir.

This article is about the jet grout column system that is been used abroad for a long period of time and is recently been used in our country realizing its reliability, short construction period and cheapness. Using all the advantages of the system, the *jet grout columns* have been, used as bearing elements under the foundation level and as impermeable structure near the sea, for the waterside residence of Nuri Özalp in İstanbul/Kanlıca.

1. GİRİŞ

Nuri ÖZALP'in'a ait İstanbul-Kanlıca Hisar yolu Cad. No: 16'da inşa edilecek yalının zemin iyileştirme çalışması jet grout yöntemi ile yapılmıştır. İnceleme alanının İstanbul Boğazı kıyısında yer alması, yalının bir bodrumlu olması dikkate alındığında temel altı kotu deniz seviyesinin (-4.00 m.) altında hesaplanmıştır. İnşaa edilecek yalı temelinin kuruda imalat yapılması ve tecriti dikkate alındığında zeminin iyileştirmesi yapılmadan imalatı mümkün görülmemiştir. Zemin şartları dikkate alınarak jet grout kolon imalatının en uygun, ekonomik ve hızlı sistem olacağına karar verilmiştir. İnşaat sahasında ϕ 60 cm. çapında toplam 5469 m. jet grout kolon imalatı yapılmıştır.

2. ZEMİN PROFİLİ

İnceleme alanı İstanbul Boğazının doğu kıyı şeridinde Kanlıca Mevkii'nde yer almaktadır. İnşaat sahasında yapılan 5 adet sondajdan elde edilen zemin bulguları ile yüzeyden derine doğru aşağıdaki zemin tabakalarına rastlanmıştır.

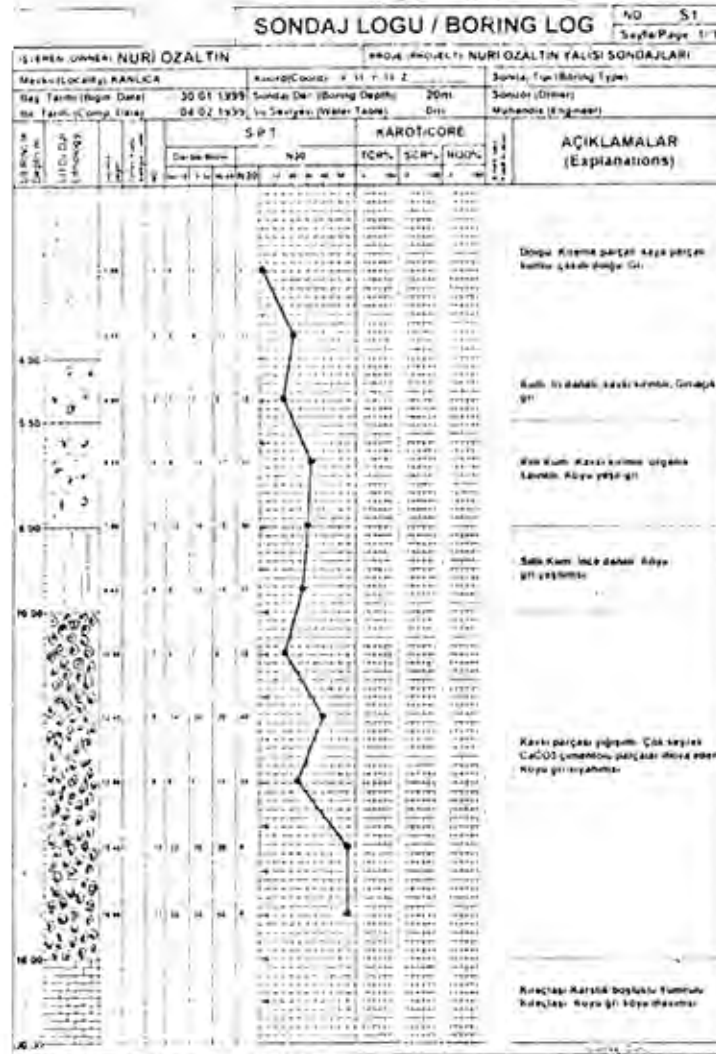
- Dolgu
- Denizel Çökel (Kavkılı kil – killi kavkı, kavkı yığılması)

1- İnşaat Yüksek Mühendisi, GEOTEKNİK A.Ş., İstanbul
2- Jeofizik Mühendisi, GEOTEKNİK A.Ş., İstanbul
3- Jeoloji Mühendisi, GEOTEKNİK A.Ş., İstanbul
4- İnşaat Mühendisi, GEOTEKNİK A.Ş., İstanbul

- Kireçtaşı

Sondajları yapılan Standart Penetrasyon Test sonuçlarına göre SPT N30 değeri dolgu tabakası için $N_{30}=2-21$, denizel çakıl tabakası için $N_{30}=9-15$ değerleri bulunmuştur. (Şekil 1, Sondaj Logu)

Şekil 1



3. JET GROUT KOLON SİSTEMİ

3.1. Jet Grout Nedir ?

Jet grout, zeminde muhtelif çaplarda yüksek basınç ortamında çimentolanmış kolonlar oluşturan bir zemin iyileştirme sistemidir.

İnşaat mühendisliği zemin çalışmalarında, yeni yapıların inşası ya da varolan yapıların zemini için konsolidasyon gerekir. Zeminin konsolidasyonu mekanik karakteristiklerin değiştirilmesi ve geliştirilmesidir. Dolayısıyla, taşıma kapasiteleri ve elastise modülü artarken, geçirgenlik özelliğinde de düşmeler olur. Jet-Grouting bu sonuçlara ulaşmak için, günümüzde en başarılı sistem olarak kabul edilmektedir. Stabilizasyon için bu metotla, su-çimento karışımı inşaat

alanında direkt olarak çok yüksek bir basınçla (450 - 650 bar) zemine karıştırılır. Grout karışımının yüksek hızı, nozullardan gelerek, toprağın doğal yapısını bozar ve zemin ile çimentodan oluşan yeni bir karışım yaratır. Sonuç, önceden belirlenmiş karakteristiklere sahip, homojen ve süregelen bir yapısal elemanın elde edilmesidir. Jet-Grouting sistemi, kil ya da çakıl gibi farklı özelliklere sahip zeminlere rahatlıkla uygulanabilir ve bu yöntem, "permeation", "compaction grouting" gibi diğer enjeksiyon sistemlerinde doğan yan etkilerin üstesinden gelir. Mini-kazık, dewatering yada soillfreezing gibi diğer konsolidasyon sistemlerine göre oldukça geçerli bir alternatif olarak kabul edilmektedir. (Melegari, 1977) Bugün jet grout tekniği birçok Avrupa ülkesinde, özellikle İtalya'da başarı ile uygulanmaktadır. Jet grouting tekniklerinin temel uygulamaları aşağıdaki gibi özetlenebilir.

- Temeli askıya alma ve temel altı takviyeleri,
- Heyelan Stabilizasyonu,
- Eğim Konsolidasyonu,
- Tünel açılması sırasında zeminin ıslahı veya konsolidasyonu,
- Geçirimsiz perdeler,
- Dairesel Kazılarda geçici iksa

3.2. Jet grout Nasıl Yapılır ?

Sondaj delgisinde istenilen derinliğe kadar 90 mm çapında su jetiyle inilir. Delgi aşamasının sonunda, rodun en altındaki çıkış ucu kapatılır. Bundan sonra çimento-su karışımı yüksek basınçla pompalanır ve nozullardan yüksek hızla, yatay olarak zemine enjekte edilir. Zeminde çimento kolonu, kontrollü bir hızla monitörün rotasyonu ve aynı anda geri çekilmesiyle elde edilir. (Şekil 2)

3.3. Jet Grout Tekniklerinin Esasları

Günümüzde jet grout kolon yapımında genellikle 3 sistem kullanılmaktadır. (Melegari , 1977)

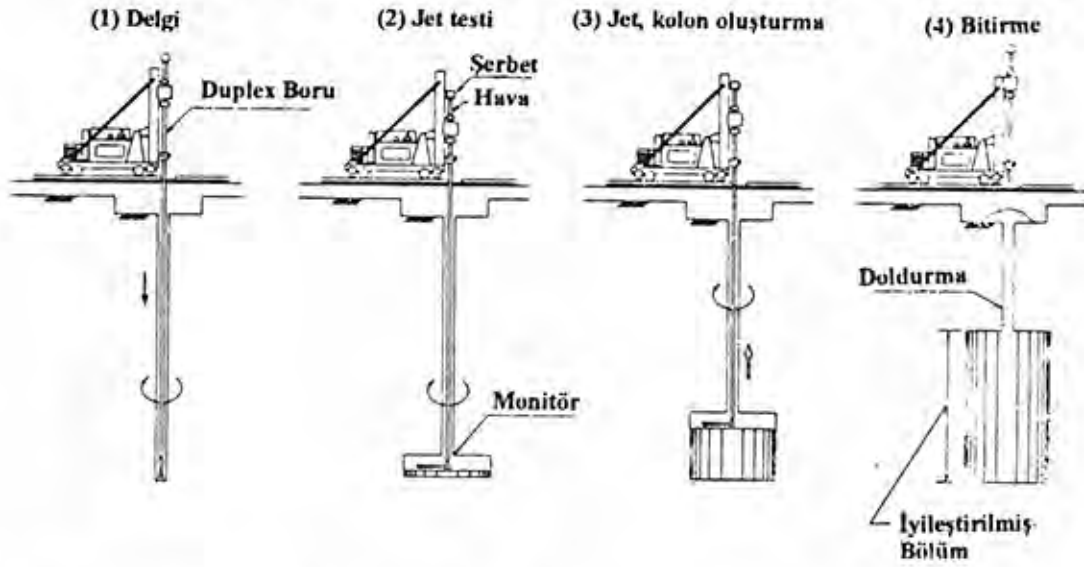
Jet 1 Sistemi (Mono Fluid System)

Jet 2 Sistemi (Double Fluid System)

Jet 3 Sistemi (Triple Fluid System)

Jet 1 sistemi, yüksek çimento /su enjeksiyonudur. Jet 2 sisteminde zemine basınçlı hava ile beraber çimento/su enjeksiyonu yapılır. Jet 3 sistemde ise zemine yüksek basınçta su, hava ve düşük basınçta çimento/su enjeksiyonu yapılır. Bu 3 sistem kullanılarak elde edilen kolon çapları 30 ile 300 cm. arasında değişir.

Şekil 2 Jet Grouting Metodunun Zeminde Uygulama Aşamaları



Sistemin avantajları; İmalat süresinin temel kazıklarına göre çok kısa olması, malzeme sarfının az olması, demir teçhizata gereksinme göstermemesi, işçiliğin daha az olması dolayısıyla maliyetinin daha az olması, her türlü zemin cinslerinde kullanılabilmesi, istenen mukavemet ve geçirimsizliğin sağlanabilmesi, yapımında kazık imalatı sırasında meydana gelen ve çevreye zarar veren vibrasyonlar yaratmaması, kazık imalatı sırasında forajdan çıkan malzemenin yarattığı çevre kirliliği ve bu foraj malzemesinin nakli gibi sorunların olmaması, çalışma için sınırlı alanların yeterli olması, yerin altına gömülü aktif kullanılan yapıların etrafında imalat yapılabilmesi, pek çok değişik projede kullanılabilmesi, yapılarda en güvenilir ve etkin yapım yöntemi olması, alternatifi olan bütün diğer metodlardan daha etkili , daha süratli ve daha ucuz olmasıdır.

4- UYGULAMA

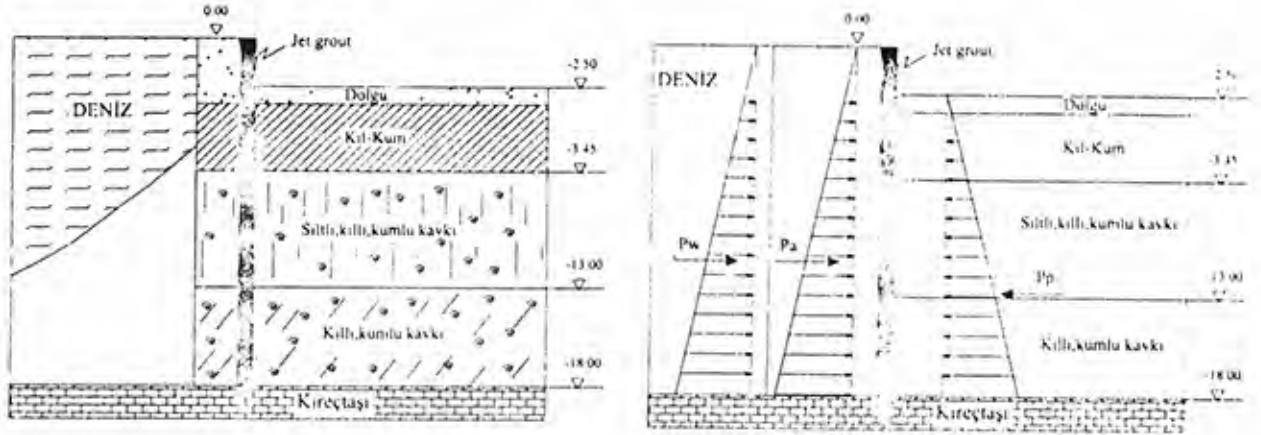
İnceleme alanının İstanbul Boğazı kıyısında yer alması, zemin tabakalarının geçirimli olması gibi nedenlerle sahada ölçülen veya rastlanan su seviyeleri İstanbul Boğazındaki deniz seviyesi olarak kabul edilmiştir.

Bu nedenle bir bodrumlu yalı temel kazısında beklenen problemler;

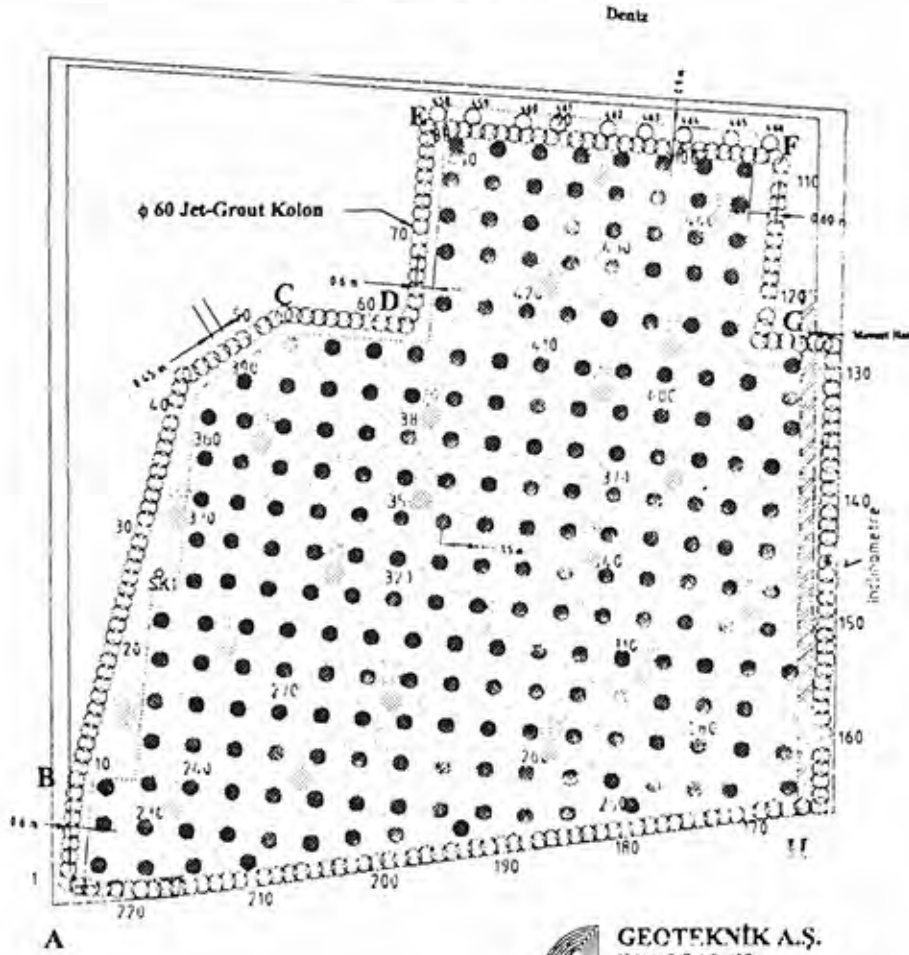
- Temeller için yapılan kazının su ile dolması,
- Kazının stabilitesinin tehlikeye girmesidir.

Nuri ÖZALTIN Yalısı inşaat alanında jet grout kolon uygulaması yapılarak (Şekil 3) aşağıdaki avantajlar sağlanmıştır.

Jet grout geçirimsizlik perdesi için sızdırmazlık tahkiki ve farklı modellerle stabilite tahkiki yapılmıştır.

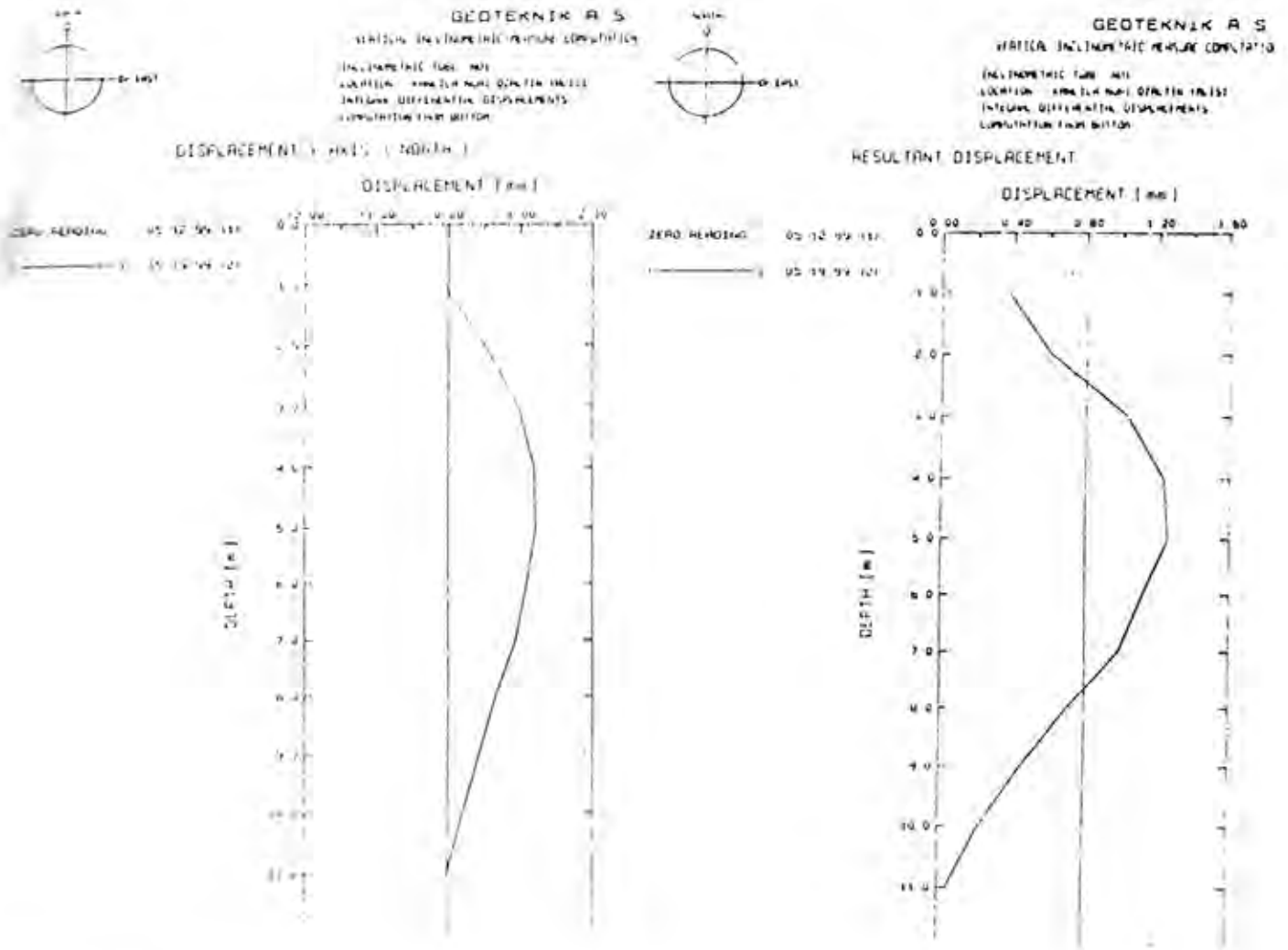


Şekil 4 Vaziyet Planı



GEOTEKNİK A.Ş.
Mühürli Cad. No: 45
Marmarış-İSTANBUL
Tel: 0212 212 14 20 - 40 Fax: 0212 212 74 34
e-mail: info@geoteknik.net.tr

Şekil 5 İnklinometre Sonuçları



KAYNAKLAR

- Melegari, C. and Garassino, A.L. (7th April 1997-Singapore) "Seminar on Jet Grouting"
- Temson Sondajcılık İnş. Taah. Tic. San. Ltd.Şti. (Şubat 1999) Kanlıca-Nuri ÖZALTIN Yalısı Geoteknik Etüdü.
- Geoteknik A.Ş., Mart 1999, Nuri Özaltın Yalısı Jet Grout Uygulama Projesi
- Ballarin, L. and Forti, F., 1998, "The Use of Jet Grouting Method for the Stabilization of Underground", Proceeding of the Xith Danube – European Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering.
- Cha, Z., Zhang, Y., 1996, "Application of Jet Grouting in Three Gorges Project", Proceedings of IS – TOKYO'96 / The Second International Conference on Ground Improvement Geosystems



JET GROUT KOLON UYGULAMASI SONRASI
Nuri Özaltın Yalısı - Kanlıca, İstanbul, 1999



YERALTI KAZILARINDA BAZALTIN AYRIŞMA DERECEŚİNİN DESTEK TİPİ SEÇİMİNE ETKİSİ

The Effect of The Alteration Degree of The Basalt on The Selection of Support System in Underground Excavation

Koçbay, A., Ankara Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 06100 Tandoğan, Ankara

Kılıç, R., Ankara Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 06100 Tandoğan, Ankara

ÖZ

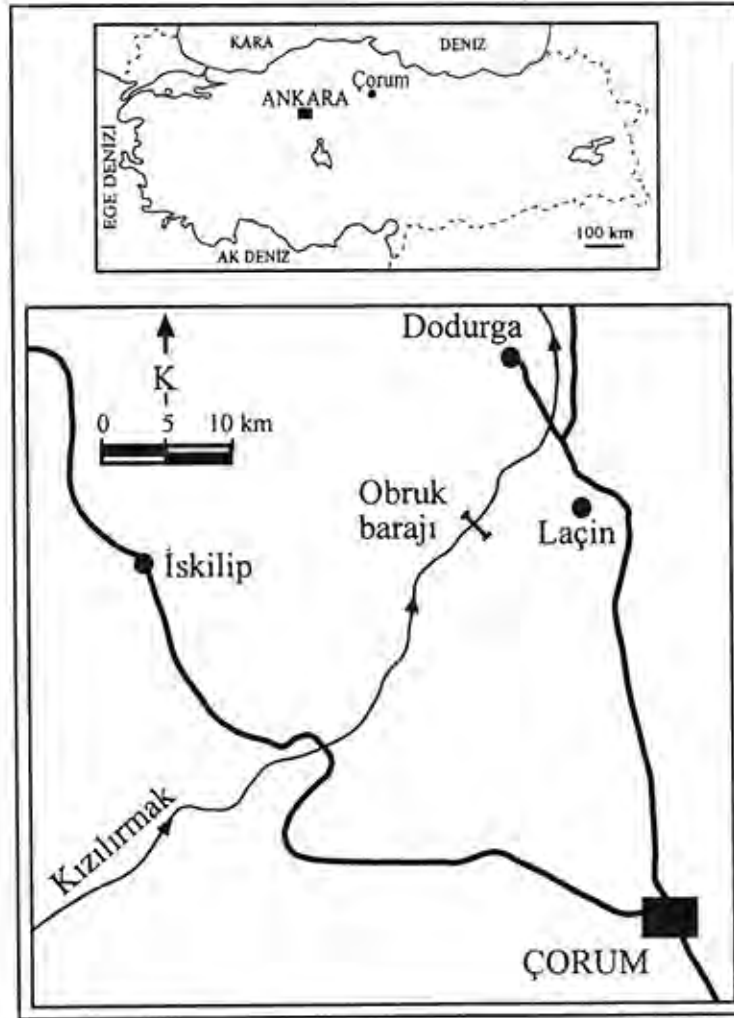
Volkanik kayaç ortamlarındaki yeraltı kazılarında kazılabilirlik ve iksa sistemlerinin belirlenmesi kayacın ayrışma derecesi ile doğrudan ilgilidir. Bu çalışmada, Çorum'da DSİ tarafından yapılmakta olan Obruk barajı çevirme tüneli ve enerji tünelini oluşturan Eosen bazaltının jeolojik, fiziksel ve jeomekanik özellikleri incelenmiş ve çeşitli özelliklerine göre sınıflandırılmıştır. Ayrıca tünel güzergahları boyunca Lugeon, RQD ve ayrışma derecelerine göre bölgelendirmeler yapılmıştır. Böylece tünellerin iksa sistemlerinin belirlenmesi için ilk bilgiler elde edilerek bazaltın ayrışma derecesi ile RMR ve Q sınıflama sistemleri arasında yakın ilişki olduğu gözlenmiştir.

ABSTRACT

There is a direct relationship between alteration degree and excavability, and selection of the support system of underground excavation in volcanic rock regions. In this study, geological, physical and geomechanical properties of the Eosen basalt is studied and the basalt is classified based on different properties such as Lugeon, Rock Quality Disagnation (RQD) and alteration degree (ISRM and UAI) in diversion tunnel and power tunnel in Obruk dam in Çorum constructing by DSİ. In addition, the zoning maps of the tunneling line are made based on alteration degree of basalt and Rock Mass Rating (RMR) and Q system. It is observed that there is a close relationship between alteration degree and the support systems.

1. GİRİŞ

İnceleme alanı Kızılırmak üzerinde Çorum ilinin yaklaşık 50 km kuzeybatısında, Dodurga ilçesinin 15 km güneyinde yer almaktadır (Şekil 1).



Şekil 1. İnceleme alanı yer belirleme haritası

2. JEOLOJİ

İnceleme alanında Orta Eosen yaşlı bazalt bulunmaktadır (Birgili vd, 1975). Bazalt; ince taneli koyu renkli matriks, orta büyüklükte plajioklas kristalleri, iri taneli proksen ve olivin fenokristalleri ile opak minerallerden oluşur. Camsı hamur ve piroksenlerde kloritleşme yaygındır. Plajioklaslar killeşmiştir. Karbonatlaşma, silisleşme, kloritleşme ve killeşme ayrışma derecesine bağlı olarak artmaktadır.

Bazaltlarda aktif olmayan düşey atımlı çok sayıda fay ve eklemler mevcuttur. Açıklığı 1 mm ile 3 cm arasında değişen eklemler kil, kalsit, silis ve yer yer jips dolguludur. Yüzeydeki eklemlerin bir kısmı yüzey suları tarafından yıkanmıştır. Yüzeyden itibaren derinlere doğru eklem açıklığı ve eklem sayısı azalmaktadır.

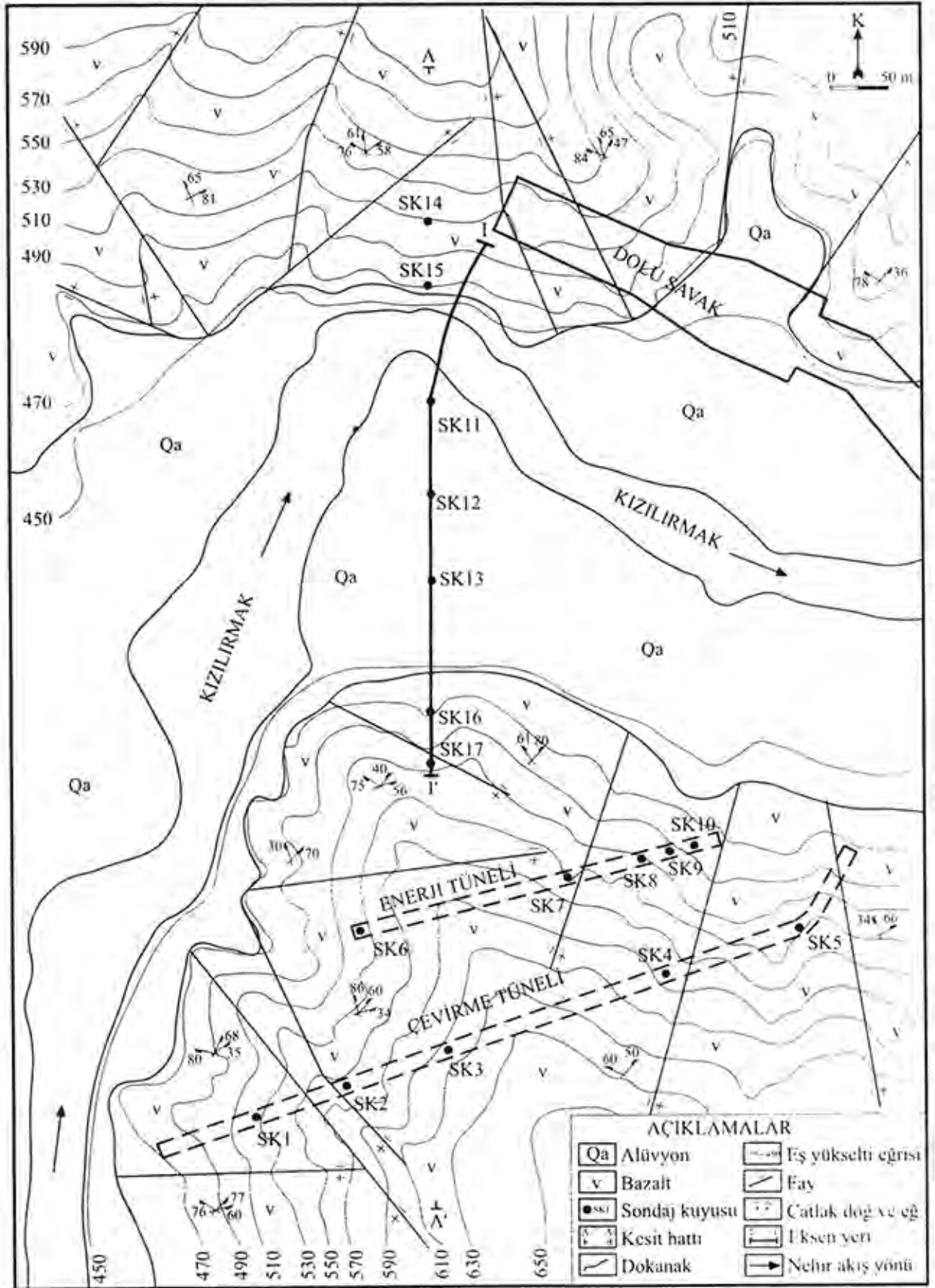
Alüvyon, Kızılırmak nehri ve yan derelerde, alttaki jeolojik birimlerden oluşan blok, çakıl, kum ve kil boyutundaki malzemelerin depolanması ile oluşur. Kalınlığı ve dağılımı çökeltme ortamına bağlı olarak değişmektedir.

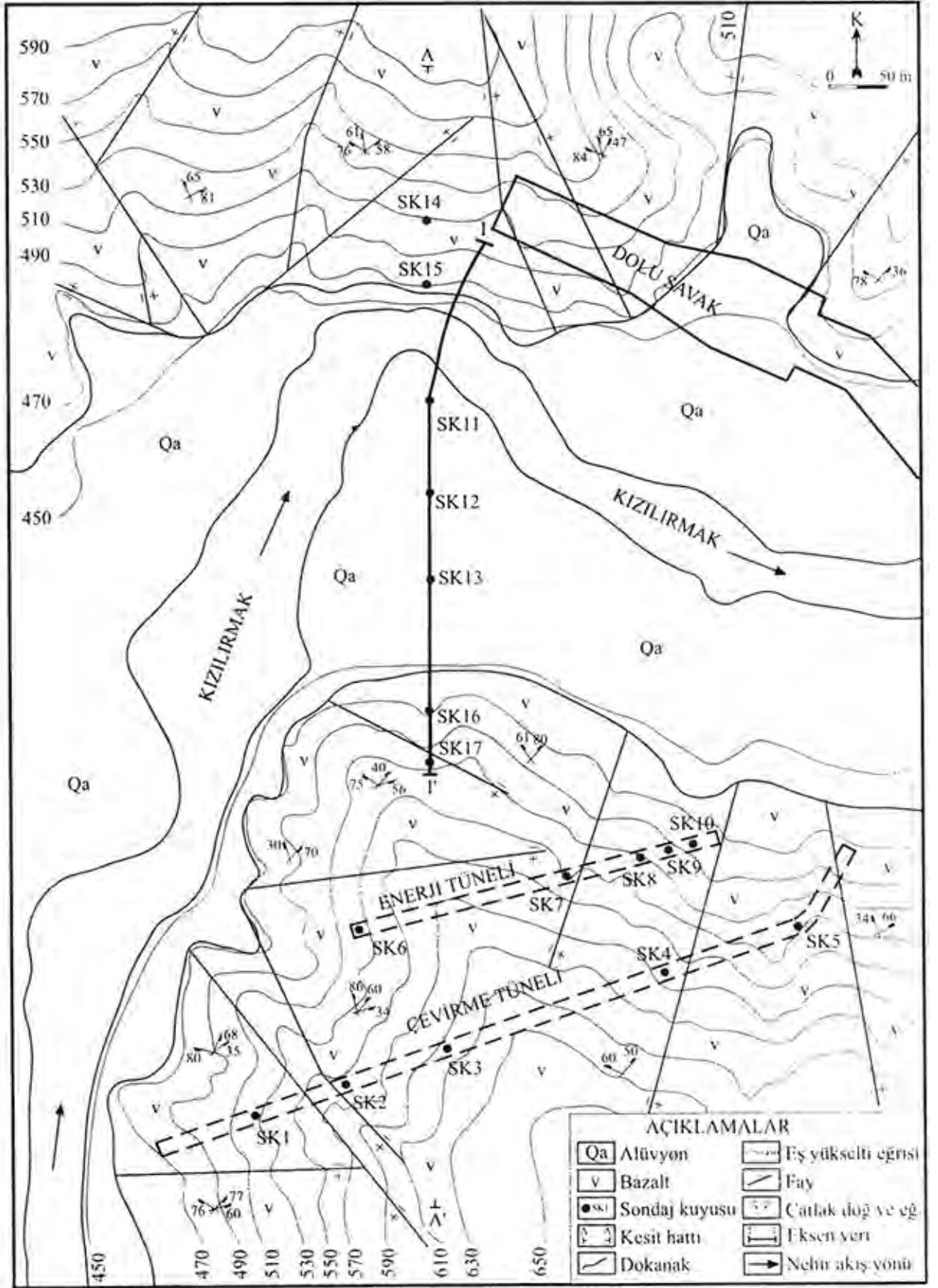
3. ARAZİ İNCELEMELERİ

İnceleme alanının jeoloji ve mühendislik jeolojisi haritası yapılmıştır (Şekil 2). Bazaltların süreksizlikleri ölçülerek, süreksizlik dolgusu, çatlak açıklığı, çatlaklar arası mesafe, 1m deki çatlak sayısı, çatlak yüzeylerinin pürüzlülüğü belirlenmiştir. Bunlarla birlikte sondajlardan elde edilen Lugeon birimi, kaya kalitesi ve deneylerden elde edilen gözeneklilik, elastik dalga hızı ve günlenme derecelerine göre sınıflamalar yapılmıştır (ISRM, 1981 ve Deer, 1963 e göre). Çalışma alanındaki jeolojik yapıyı belirlemek, birimlerin yatay ve düşey yönde dağılımını tespit etmek, birimleri temsil eden karot numuneleri almak ve yeraltı su durumunu öğrenmek amacı ile derinlikleri 50.00 m – 160.00 m arasında değişen 10 adet, toplam 962 m derinliğinde sondaj açılmıştır (Çizelge 1).

Çizelge 1. Sondaj kuyularının numarası, derinliği ve yerleri

Sondaj No	Derinliği (m)	Sondaj yeri
SK1	92.00	Çevirme tüneli
SK2	125.00	“
SK3	160.00	“
SK4	135.00	“
SK5	116.00	“
SK6	50.00	Enerji tüneli
SK7	85.00	“
SK8	82.00	“
SK9	67.00	“
SK10	50.00	“





Şekil 2. Obruk barajı mühendislik jeolojisi haritası.

Ayrıca tünel güzergahlarından geçen jeolojik kesitler çıkarılmış, kesitler üzerinde Lugeon, RQD, ISRM (1981) ve UAI (Kılıç vd, 1998) değerlerine göre blgelendirmeler yapılmıştır (şekil 3-10).

Çalışma alanında yapılan sondajların bazılarında yeraltı suyuna rastlanmıştır. Ancak bunların çatlakları dolduran ve kısmen de fazla ayrışmış bölgelerdeki killerin oluşturduğu geçirimsiz alanların üzerinde birikmiş olan sular olduğu belirlenmiştir. Ayrıca yüzeyde birkaç noktada debisi 0,5 l/s - 1 l/s olan kaynaklar mevcuttur.

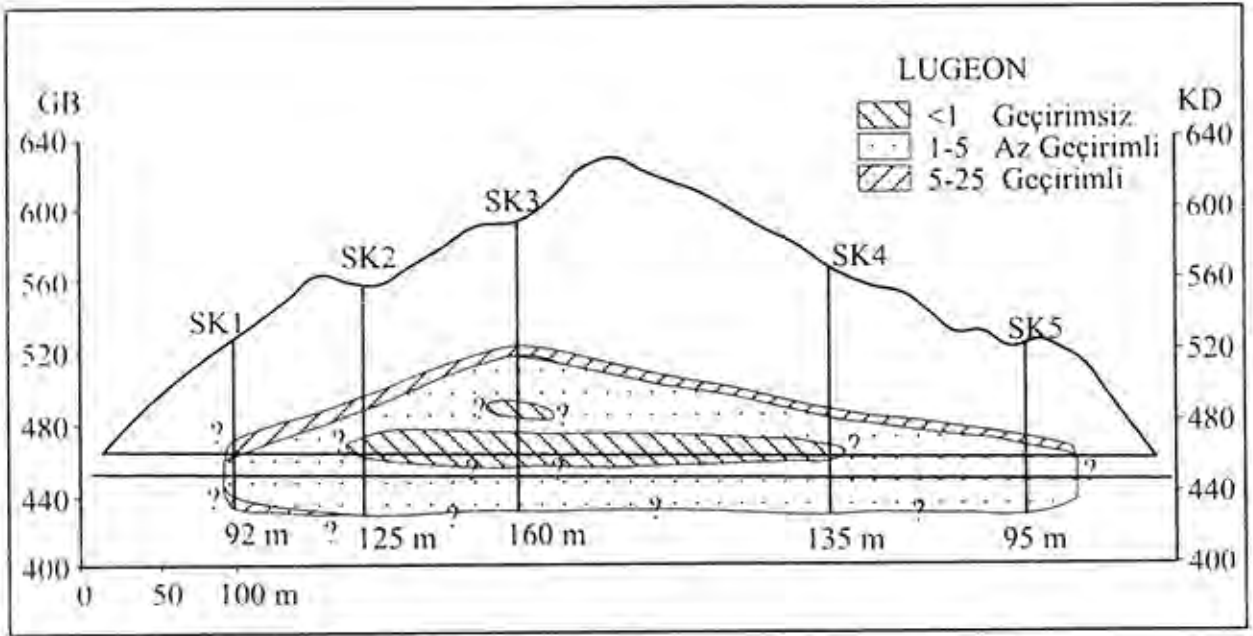
Çevirme ve enerji tünellerinde RMR (Bieniawski,1973) ve Q (Barton vd., 1974) sınıflama sistemlerine göre sınıflamalar yapılmıştır.

RMR ye göre yapılan değerlendirmeler sonucunda elde edilen toplam sayısal değerlerin 10 ile 18 arasında değiştiği ve bunun sınıflamada V. gruba, tanımlamada ise “ok zayıf kaya” ya karşılık geldiği belirlenmiştir. Bu değerlere göre, kayacın kendini ortalama tutma süresi 10 dakika ile 40 dakika arasında değişmektedir. Önerilen tahkimat sistemi ise şöyledir: Tavan ve tabanda beraber ilerleme sağlanmalı, tavanda 0,5-1 m ilerleme yapılip kazıyla birlikte destek yerleştirilmelidir. Patlatmadan hemen sonra pşkrtme beton uygulanmalıdır. Tel kafesli duvarlarda ve kemerlerde 1-1,5 m aralıklı, 5 m uzunluklu sistematik bulonlar kullanılmalı, tavan kemerinde 150-200 mm, yan duvarlarda 150 mm, aynada 50 mm pşkrtme beton, elik iksalı 0,75 m aralıklı orta-ağır traversler kullanılmalıdır.

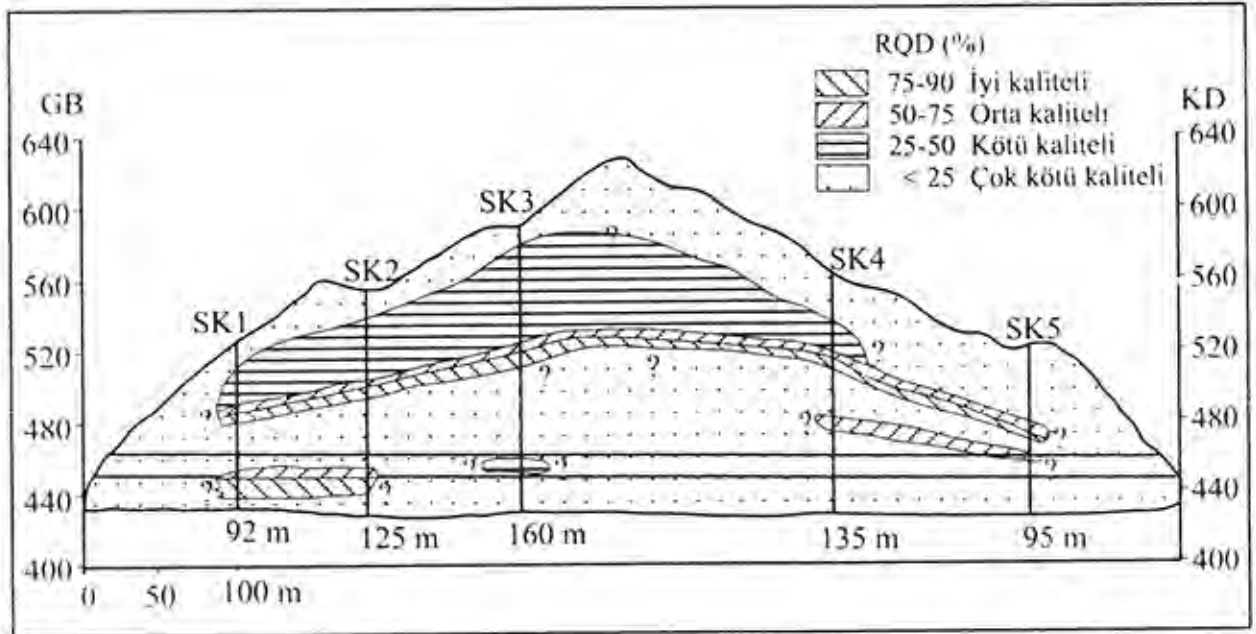
Q sistemine göre yapılan sınıflama da değerlerin “ok zayıf kaya” ve “ok fazla zayıf kaya” aralıklarında yer aldıkları belirlenmiştir. Bunlar çok zayıf kaya bölgesinde yeralanlarda Q; 0,4-0,1 arasındadır ve tahkimat katagorisi 31 dir. Buna göre önerilen tahkimat sisteminde 1 m aralıklı, 3,125 m uzunluğunda gerdirmeli kaya bulonu ve 5-12,5 cm kalınlığında kafes takviyeli pşkrtme beton kullanılmalıdır. Çok fazla zayıf kaya bölgesinde yeralanlarda ise Q; 0,1-0,01 arasındadır ve tahkimat katagorisi 34 dir. Buna göre önerilen tahkimat sisteminde 1 m aralıklı, 3,125 m uzunluğunda gerdirmeli sistematik bulonlama ve 5-7,5 cm kalınlığında kafes takviyeli pşkrtme beton kullanılmalıdır.

4. LABORATUVAR ALIşMALARI

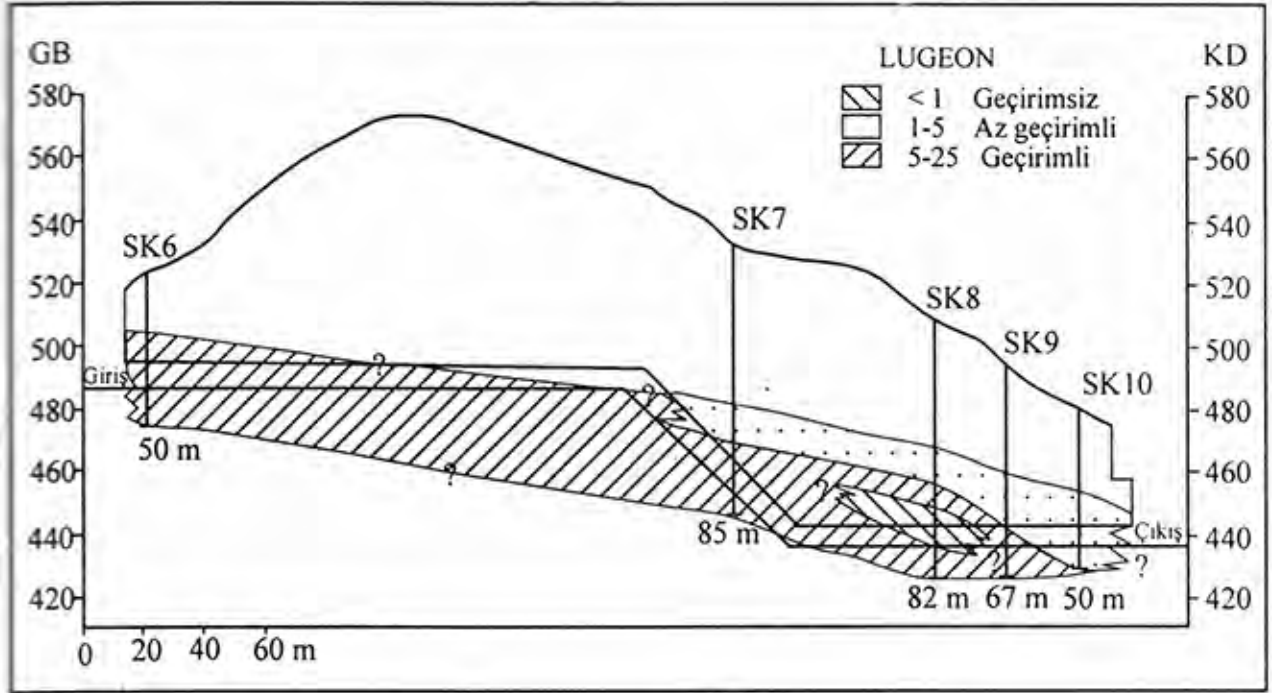
Arazi alışmaları sırasında çevirme tüneli sondajlarından 105 ve enerji tüneli sondajlarından 23 olmak üzere toplam 128 adet karot rneği üzerinde bazaltın kuru birim hacim ağırlığı, doygun birim hacim ağırlığı, ağırlıkça su emme, hacimce su emme, özgül ağırlık, gözeneklilik, P dalga hızı ve S dalga hızı belirlenerek dinamik elastisite modülü, 72



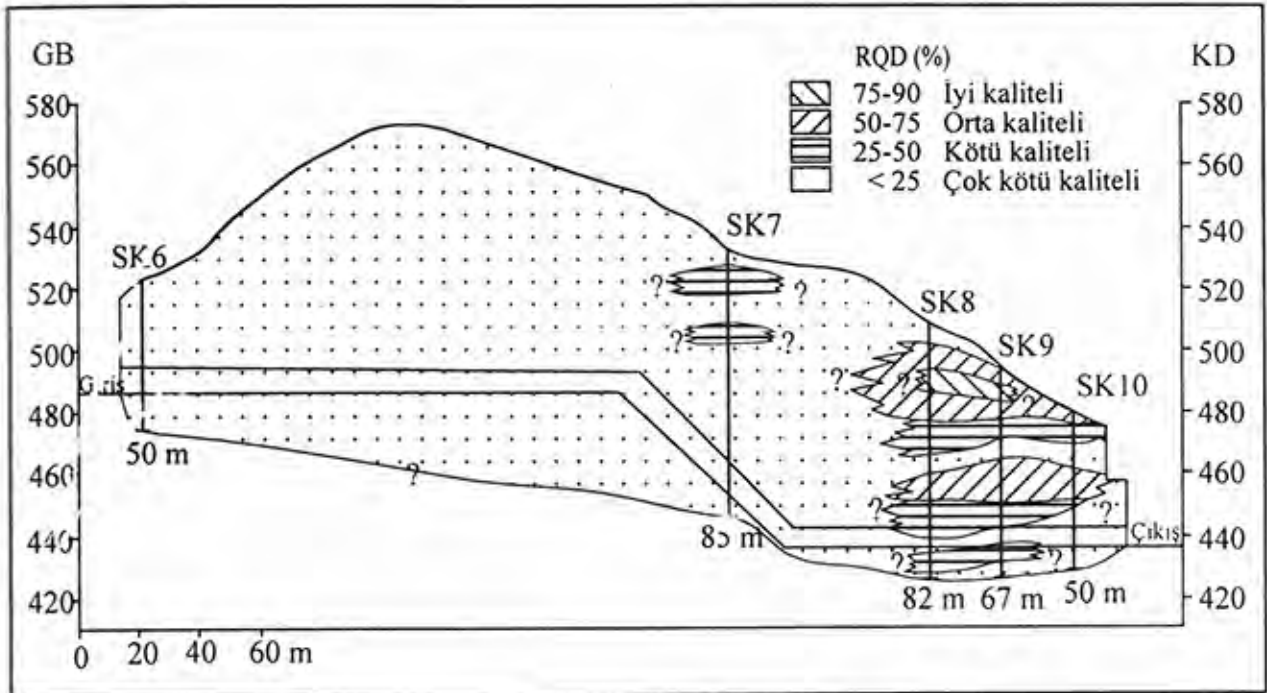
Şekil 3. Obruk barajı çevirme tünelinin Lugeon değerlerine göre bölgelendirmesi.



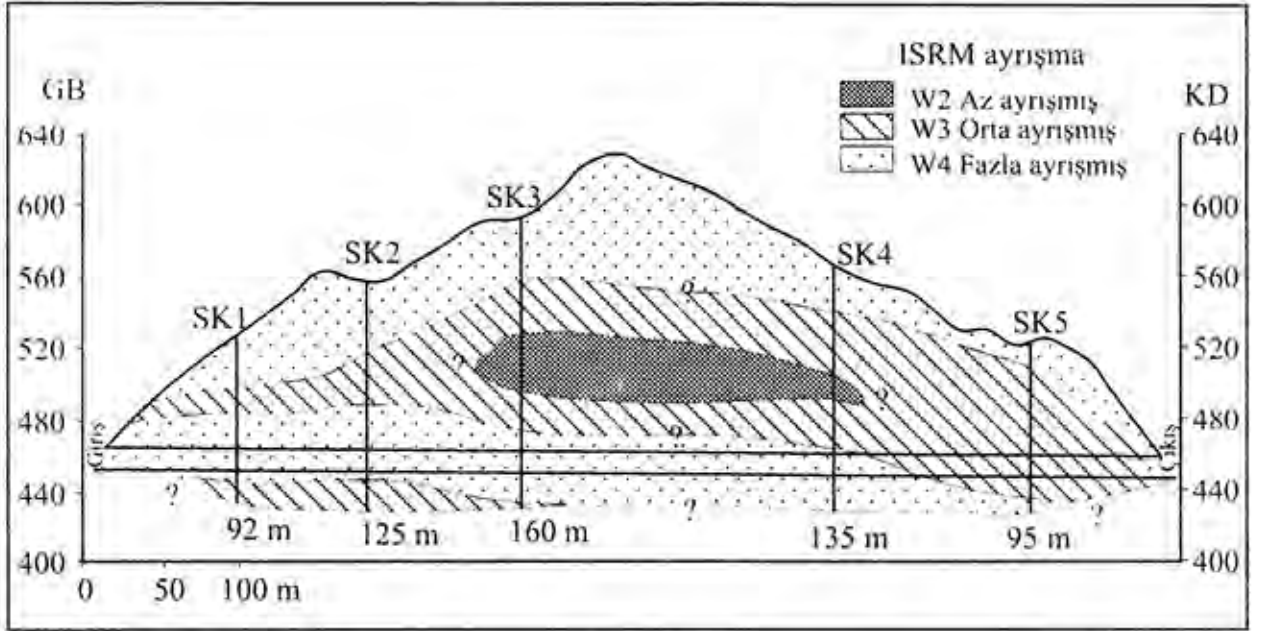
Şekil 4. Obruk barajı çevirme tünelinin RQD değerlerine göre bölgelendirmesi.



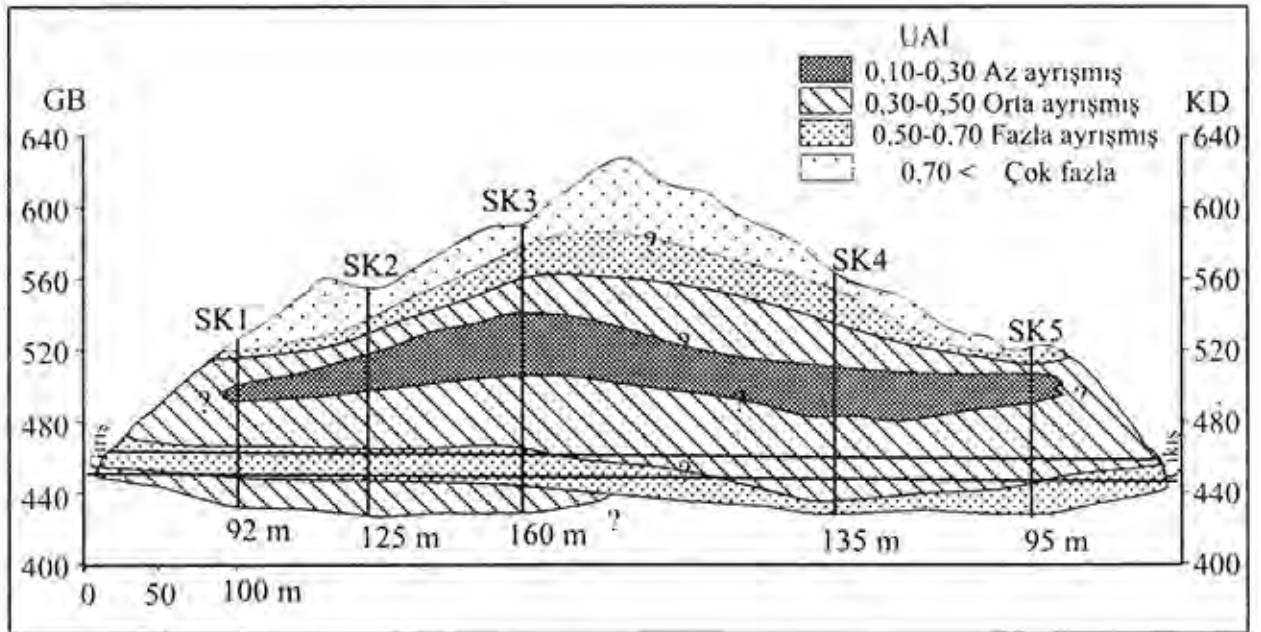
Şekil 5. Obruk barajı enerji tünelinin Lugeon değerlerine göre bölgelendirmesi.



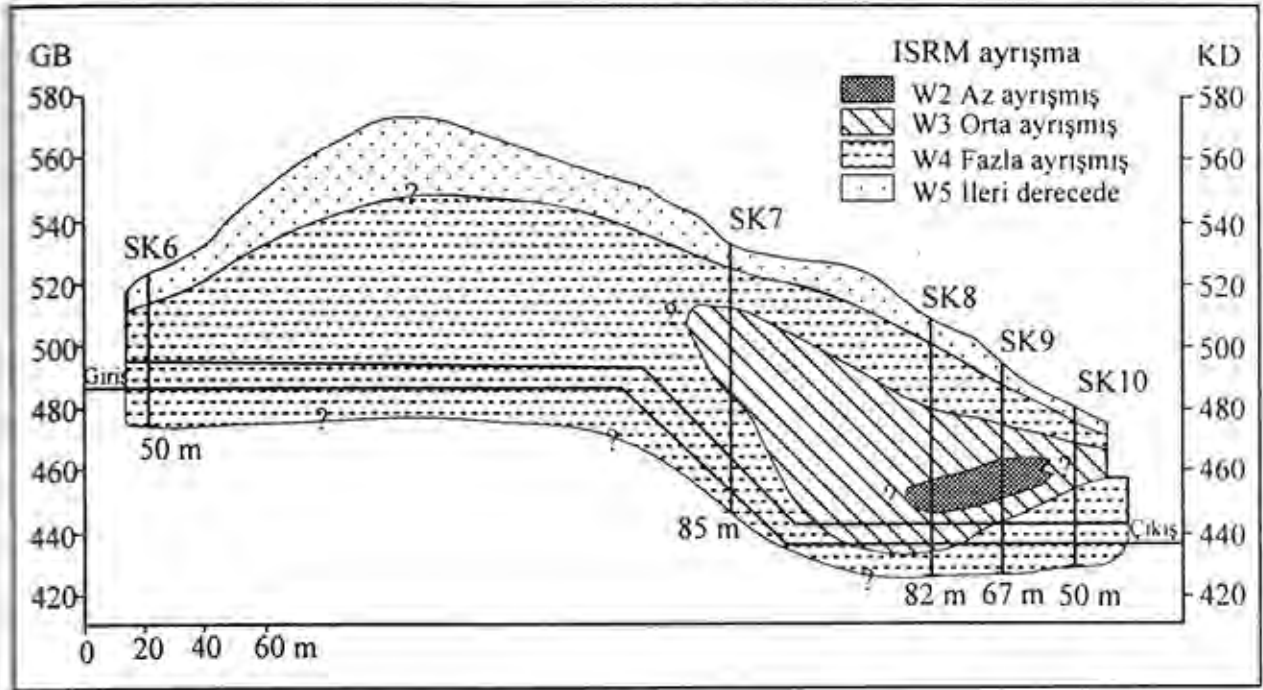
Şekil 6. Obruk barajı enerji tünelinin RQD değerlerine göre bölgelendirmesi.



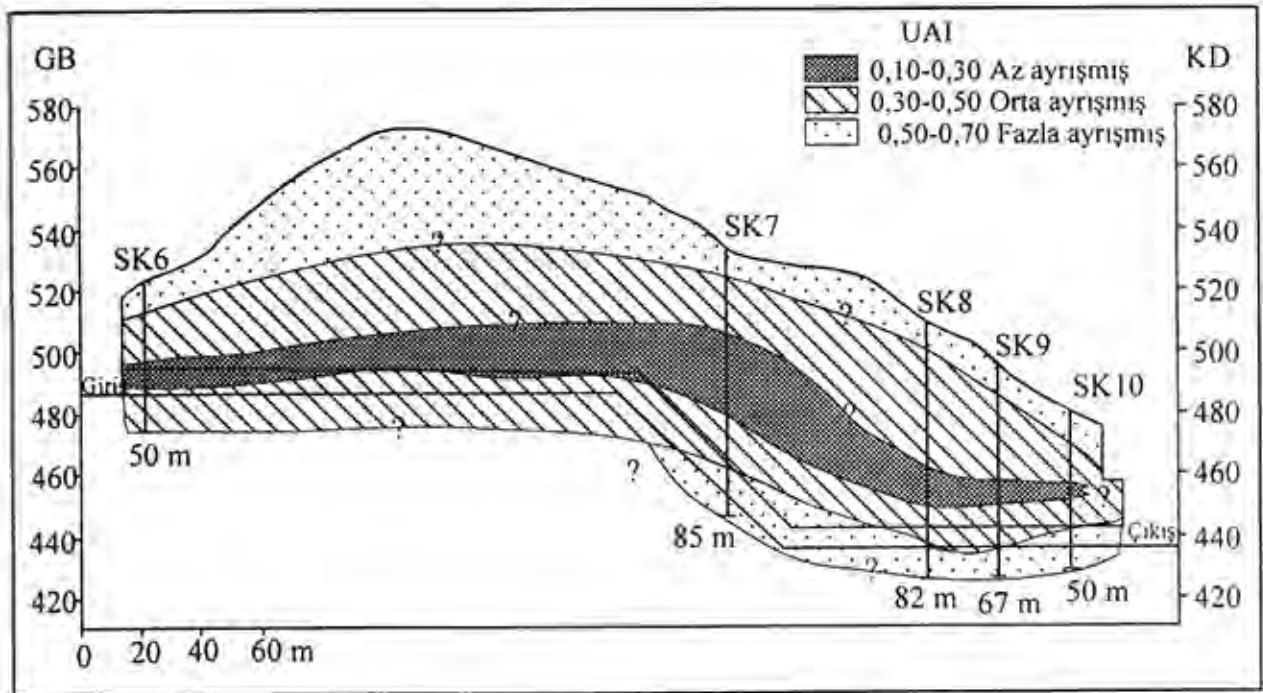
Şekil 7. Obruk barajı çevirme tünelinin ISRM ayrışma değerlerine göre bölgelendirmesi.



Şekil 8. Obruk barajı çevirme tünelinin UAI değerlerine göre bölgelendirmesi.



Şekil 9. Obruk barajı enerji tünelinin ISRM ayrışma değerlerine göre bölgelendirmesi.



Şekil 10. Obruk barajı enerji tünelinin UAI değerlerine göre bölgelendirmesi.

adet karot örneği üzerinde ise bazaltın tek eksenli basınç direnci belirlenerek statik elastisite modülü değerleri hesaplanmıştır. 52 adet örnek üzerinde de nokta yük direnci deneyi yapılmıştır (Çizelge 2).

Çizelge 2. Bazaltın incelenen fiziksel ve jeomekanik özellikleri

Özellikler	Çevirme tüneli				Enerji tüneli			
	Ör.say	Min.	Mak.	Ort.	Ör.say	Min.	Mak.	Ort.
Doy.bir.hac.ağ., γ_d (kN/m ³)	105	24,11	28,42	26,14	23	25,38	27,44	26,06
Kuru.bir.hac.ağ., γ_s (kN/m ³)	105	23,03	28,32	25,80	23	24,60	26,36	25,75
Ağırlıkça su emme, Aa (%)	105	0,14	5,30	1,24	23	0,25	3,09	0,99
Hacimce su emme, Ah (%)	105	0,40	12,80	3,18	23	0,65	7,74	2,49
Gözeneklilik, n (%)	105	2,10	14,90	7,85	23	3,60	9,80	6,25
Özgül ağırlık, Gs	105	2,80	3,04	2,89	23	2,83	2,88	2,85
Poisson oranı, ν	105	0,26	0,39	0,33	23	0,23	0,35	0,32
P dalga hızı, Vp (m/s)	105	3133	6380	4953	23	4291	5610	5048
S dalga hızı, Vs (m/s)	105	1576	3105	2492	23	2167	2815	2599
Nokta yük direnci, Is (MPa)	43	3,09	11,15	5,78	9	3,90	8,20	5,68
Tek eksenli bas.dir., σ_c (MPa)	58	25,4	69,42	47,15	14	38,62	68,60	50,61
Statik elas.modülü, Es (MPa)	58	15696	77371	39163	14	22564	71050	37797
Dinamik elas.modülü, Ed (MPa)	105	159673	703763	440072	23	163681	653744	372339

Elde edilen laboratuvar sonuçlarından tek eksenli basınç direnci (σ_c) ile nokta yük direnci (Is) arasında $\sigma_c = 8,16 \cdot Is$ bağıntısının olduğu tesbit edilmiştir.

5. SONUÇLAR

Çorum ili Obruk barajı ve çevresindeki bazaltların incelenmesi ile elde edilen sonuçlar şunlardır:

1. Bazalt çatlak açıklığına göre "orta çatlaklı", çatlaklar arası mesafeye göre "çok yakın aralıklı", 1 m deki çatlak sıklığına göre "çok çatlaklı-kırıklı" ve çatlak yüzeylerinin pürüzlülüğüne göre "çıkıntılı" dir.
2. Bazalt Lugeon değerine göre "geçirimli" dir.Gözenekliliğe göre de "oldukça boşluklu" dur.
3. Kaya kalitesi bakımından "çok kötü kaliteli" dir.
4. Tek eksenli basınç direncine göre "orta dirençli", nokta yük direncine göre ise "yüksek dirençli" dir.

5. Bazaltın tek eksenli basınç direnci (σ_c) ile nokta yük direnci (Is) arasında $\sigma_c = 8.16 \cdot Is$ lik bir ilişki elde edilmiştir.

6. RMR sınıflamasına göre; toplam sayısal değerler 10 ile 18 arasında değişmektedir. Bunun sınıflamada V. gruba, tanımlamada ise “çok zayıf kaya” ya karşılık geldiği belirlenmiştir.

Q sınıflamasına göre; değerlerin “çok zayıf kaya” ve “çok fazla zayıf kaya” aralıklarında yer aldıkları belirlenmiştir. Çok zayıf kaya bölgesinde yeralanlarda Q: 0.4-0.1 arasındadır ve tahkimat katagorisi 31 dir. Çok fazla zayıf kaya bölgesinde yeralanlarda ise Q: 0.1-0.01 arasındadır ve tahkimat katagorisi 34 dir. Her iki sınıflama sisteminde de bu katagorilere uygun tahkimat sistemi seçilmelidir.

6. KATKI BELİRTME

Bu çalışmayı destekleyen Devlet Planlama Teşkilatı Başkanlığına, Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü ve V. Bölge Müdürlüğü Personeline Yazarlar katkıları için teşekkür eder.

7. KAYNAKLAR

- Barton, N., Lien, R., and Lunde, J., 1974, Engineering Classification of Rock Masses for the Design of Tunnel Support, Rock Mechanics, 6, pp. 189-234.
- Birgili, Ş., Yoldaş, R. ve Ünalın, G., 1975, Çankırı-Çorum havzasının jeolojisi ve petrol olanakları, M.T.A. Derleme rapor no: 5621, Ankara.
- Bieniawski, Z. T., 1973, Engineering Classification of jointed Rock Mass, Trans. S. Afr. Inst. Civ. Eng. 15, pp. 335-344.
- Deer, 1963, Technical description of rock cores for engineering purposes, Rock Mech., Eng. Geo., 1,18.
- ISRM (International Society for Rock Mechanics), 1981, Rock Characterization, Testing and Monitoring-ISRM Suggested Methods, edited by E.T. Brown, Pergamon Press, Oxford, 211 pp.
- Kılıç, R., Koçbay, A., ve Sel, T., 1998, The geomechanical properties and alteration degree of serpentinite in the Ankara ophiolitic mélange, Turkey, 8th International Congress IAEG, Vancouver, Canada, p.243-251.
- Lugeon, M., 1933, Barrages et geologie methods de recherches terrasement et unpermeabilisation. Litrairedes Universite, Paris.

**KILIÇKAYA BARAJI (SİVAS) GÖL ALANINDAKİ
HEYELANLARIN MÜHENDİSLİK JEOLJİSİ İNCELEMESİ**
*ENGINEERING GEOLOGICAL INVESTIGATION OF THE
LANDSLIDES OF KILIÇKAYA (SİVAS) DAM RESERVOIR AREA*

Ergun KARACAN*

Feda ARAL*

Orhan CERİT**

ÖZ:Bu çalışmada, Kılıçkaya Barajı göl alanı ve çevresinde yer alan aktif heyelan zonlarındaki jeolojik birimlerin bazı mühendislik özellikleri ile potansiyel heyelan alanlarının belirlenmesi amaçlanmıştır.

Çalışma alanında yer yer volkanik ara katkılı kil, silt, çakıltası ve kumtaşı ar dalanmasından oluşan Oligo-Miyosen yaşlı birimler ile Pliyo-Kuvaterner yaşlı genç çökeller yüzlek vermektedir. Heyelanlar genellikle Oligo-Miyosen yaşlı çökellerin pekişmemiş seviyelerinin egemen olduğu alanlarda gelişmektedir. Bölgenin yüksek yağış alması, topoğrafik eğimlerin fazla olması, baraj gölü su seviyesindeki mevsimsel değişimler ve yöre çökellerinin kil ve silt içeriklerinin fazla olması heyalan oluşumunun başlıca nedenleri olarak belirlenmiştir. Heyelanlar küçük yerleşim bölgelerini etkilediği gibi baraj rezervuarının kullanım alanını da zaman içinde azaltmaktadır.

Heyelan zonlarındaki malzemelerden alınan örnekler üzerinde yapılan deneyler sonucunda, bunların genellikle SM ve CL grubu zeminler oldukları belirlenmiştir. Bu malzemelerin likit limit değerleri % 29-52.5, plastik limit değerleri de %16-36 arasında değişmektedir.

Yöre heyelanlarının kayma hızlarını azaltmak ve kontrol altına almak için yamaç eğimlerinin düşürülmesi, yeterli yüzey ve yeraltı suyu drenajının oluşturulması ve rezervuar yamaçlarında ağaçlandırmaya gereken önemin verilmesi gerekmektedir.

* Yrd.Doç.Dr. Cumhuriyet Üniv. Jeoloji Müh. Bölümü, SİVAS

* Yrd.Doç.Dr. Cumhuriyet Üniv. Çevre Müh. Bölümü, SİVAS

ABSTRACT: This study aims to investigate some of the engineering properties of geological unites through the active landslide zones in Kılıçkaya Dam Reservoir and surrounding area and determine the potential landslide zones.

The investigated area is covered by a volcanic material interbedded clay, silt, sandstone and conglomerate alternation of Oligo-Miocene and the younger sediments of Plio-Quaternary. Generally, the landslides were developed in the Oligo-Miocene unconsolidated sediments, because of the high amount of precipitation, high degree dip of slopes, seasonal changes of the water level in the reservoir and the high content of the clay and silt in the sediments. The landslides give damages on the small villages located in the area and cause to decrease the active volume of the reservoir area.

The results of the engineering geological tests indicate that the materials generally take place in SM and CL soil group. The liquid limit values of these materials are in the range of 29-52,5 % and of plastic limits are in the range of 16-36%

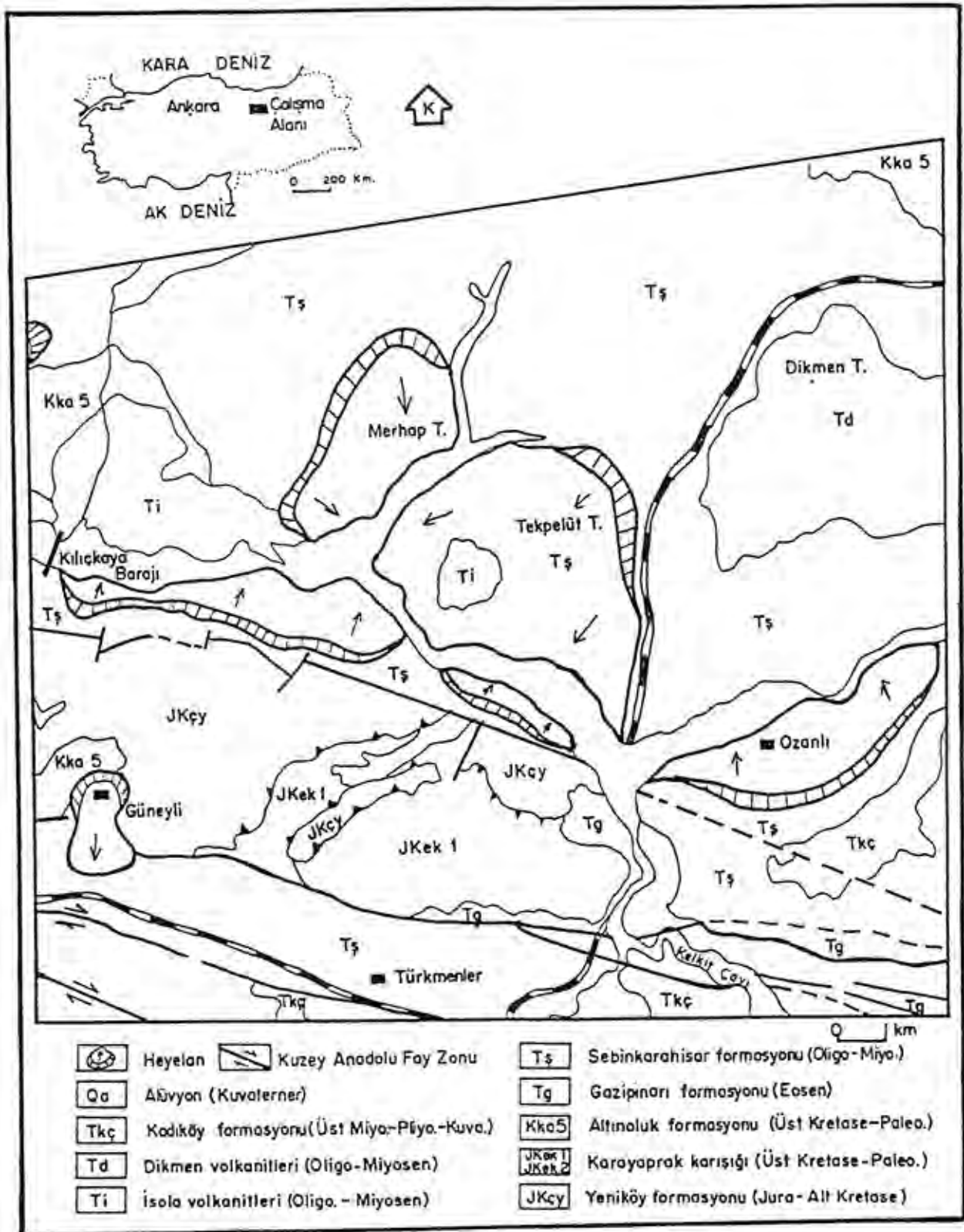
It may be suggested reducing the slope dips of the area, improving the drainage system for surface and underground water, planting with the trees around the reservoir area to reduce the rate of the motion and to control the landslide activity.

1-GİRİŞ

Çalışma alanı, Kelkit çayı üzerinde yer alan Kılıçkaya barajı göl alanını ve çevresini kapsamaktadır (Şekil 1). Bu bölgede ve yakın çevresinde genellikle kırıntılı kayaçlar ve yer yer de volkanik, volkano-sedimanter kayaçların gözlendiği Jura-Kuvaterner yaş aralığındaki litolojiler yer almaktadır. Bölgenin Kuzey Anadolu Fay Zonunda yer alması nedeniyle yörede yapılan önceki çalışmalar genellikle genel jeoloji ve yapısal jeoloji amaçlıdır. Ayrıca daha kuzey, kuzeybatı kesiminde yazarlar tarafından çalışmalar yapılmıştır (Aral, v.d, 1991).

D.S.'nin Kılıçkaya barajı ve göl alanı çevresinde gerek ön inceleme ve gerekse planlama aşamasında yapılan rapor düzeyinde çalışmaları bulunmaktadır.

Bu çalışmada Kılıçkaya Barajı göl alanı ve çevresinde yer alan aktif heyelan



Şekil 1: İnceleme alanı ve yakın yöresinin jeoloji haritası (Yılmaz ve Bilgiç'ten (1985) revize edilmiştir.)

zonlarındaki jeolojik birimlerin bazı mühendislik özellikleri ile heyelanların oluşum nedenleri araştırılmış ve alınması gerekli önlemler üzerinde durulmuştur.

2. GENEL JEOLojİ

Baraj yeri ve göl alanında, Yılmaz ve Bilgiç (1985) tarafından tanımlanan Oligo-Miyosen yaşlı Şebinkarahisar formasyonu ve yine aynı yaşlı İsola volkanitleri yer almaktadır.

Altındaki yaşlı birimler üzerine aşıl uyumsuzlukla gelen Şebinkarahisar formasyonu; pekişmemiş kaba taneli çakıltası, kırmızı renkli kumlu, killi çamurtaşı, yer yer gri, yeşil kil, şeyl, kumtaşları; gri, koyu gri renkli tuf ve aglomera ve nadiren mercekler halinde jips içermektedir. Formasyon genel olarak yatay ve-veya yataya yakın konumdadır. Bu formasyonun kalınlığı, çökelimi sırasında havzanın paleotopografik yapısına bağlı olarak büyük farklılıklar göstermektedir. Formasyonda genellikle heyelan oluşumuna uygun kırmızı renkli gevşek bol çatlaklı, fissürlü kumlu-killi pekişmemiş çamur taşları egemen durumdadır.

İsola volkanitleri ise bol çatlaklı ve bazı yerlerde yüzeyden çeşitli derinliklere kadar bozunma zonlarına sahip, genelde dasit türü kayalardan oluşmaktadır.

Çalışma alanı, üzerinde yer aldığı K.A.F. zonunun genel özelliklerini taşımaktadır. Bölgede gelişen tektonik aktivitelere bağlı olarak, kayaç birimleri yoğun kırık çatlak içermektedirler. Ayrıca bölge, basamaklı ve yüksek yamaç eğimli bir yapı kazanmıştır. Arazi çalışmaları sırasında ana fay sistemleri ile değişik açılar yapan makaslama ve çekme kırıkları yaygın olarak gözlenmiştir. Bu fay sistemlerine bağlı olarak gelişen bloklaşmalar ve yaygın kırık-çatlaklar, genelde geçirimsiz litolojilerden oluşan Şebinkarahisar formasyonu içerisindeki su dolaşımlarının sağlanmasında ve duraysızlıklarında etkin rol oynamaktadır.

3.HEYELANLARIN GENEL ÖZELLİKLERİ

Heyelanlar Kılıçkaya Barajı Göl alanının her iki yamaçlarında da geniş alanlar kaplamaktadır ve genellikle Şebinkarahisar formasyonuna ait kırmızı renkli bol çatlaklı-fissürlü, kumlu-killi çamur taşları ile açık gri-yeşil renkli killi düzeylerde

Çok farklı boyutlara sahip olan heyelanlar rezervuarın kullanılabilir hacmini azaltırken zaman zamanda yerleşim alanlarında sorunlar oluşturmaktadır.

Heyelanlarda gözlenen kayma şekilleri genel olarak dairesel, karışık ve yüzeysel zemin akmasıdır. Bileşenleri blok boyutundan kil boyutuna kadar değişen heyelan litolojilerinde; iri malzemeler daha çok detritik kireçtaşı, volkanik kayaç parçaları, serpanit ve kumtaşı çakıllarından oluşmaktadır. Heyelanlarda hakim olan malzeme türü yaygın olarak silt, kil ve kum boyutlarına sahiptir. Kayaç blok ve çakıllarının egemen olduğu heyelanlar yaygın olmayıp göl alanının yalnız sol yamacında küçük boyutlarda gözlenmiştir. Heyelanların ayrı ayrı ele alınarak büyük ölçeklerde çalışılması, bu çalışma kapsamı dışında tutulmuştur.

Ortalama yıllık yağışın 750mm civarında olduğu çalışma alanında, yeraltı su seviyesi genellikle zemin yüzeye yakın olup heyelanlı bölgelerde su birikintileri ve kaynaklar şeklinde yüzeylemektedir.

4. HEYELAN MALZEMELERİNİN MÜHENDİSLİK ÖZELLİKLERİ

Heyalanlı alanlardan alınan 19 adet örneğin 17 tanesinin indeks özellikleri T.S.E.'ne(1987) göre Cumhuriyet Üniversitesi Zemin Mekaniği Laboratuvarlarında belirlenmiş olup toplu sonuçlar çizelge 1'de verilmiştir. Bu çizelgeye göre; heyelan malzemelerinin tane özgül ağırlıkları (Gs) ortalama 2.75 gr/cm³ civarındadır. Heyelan malzemelerinin ince bileşenlerinin ortalama sınırlı (LL) %42, ortalama plastiklik sınırı (PL) %24, ortalama plastiklik indeksi (PI) %17.60, ortalama aktiflik katsayısı A=3.58 ve ortalama tek eksenli büzülme oranı %10.60 olarak belirlenmiştir. Ortalama aktiflik sayısına göre heyelan malzemelerindeki killer Skempton'ın (1953) Çizelge 5'de verilen aktiflik sınıflamasında, aktif killer grubuna girmektedir.

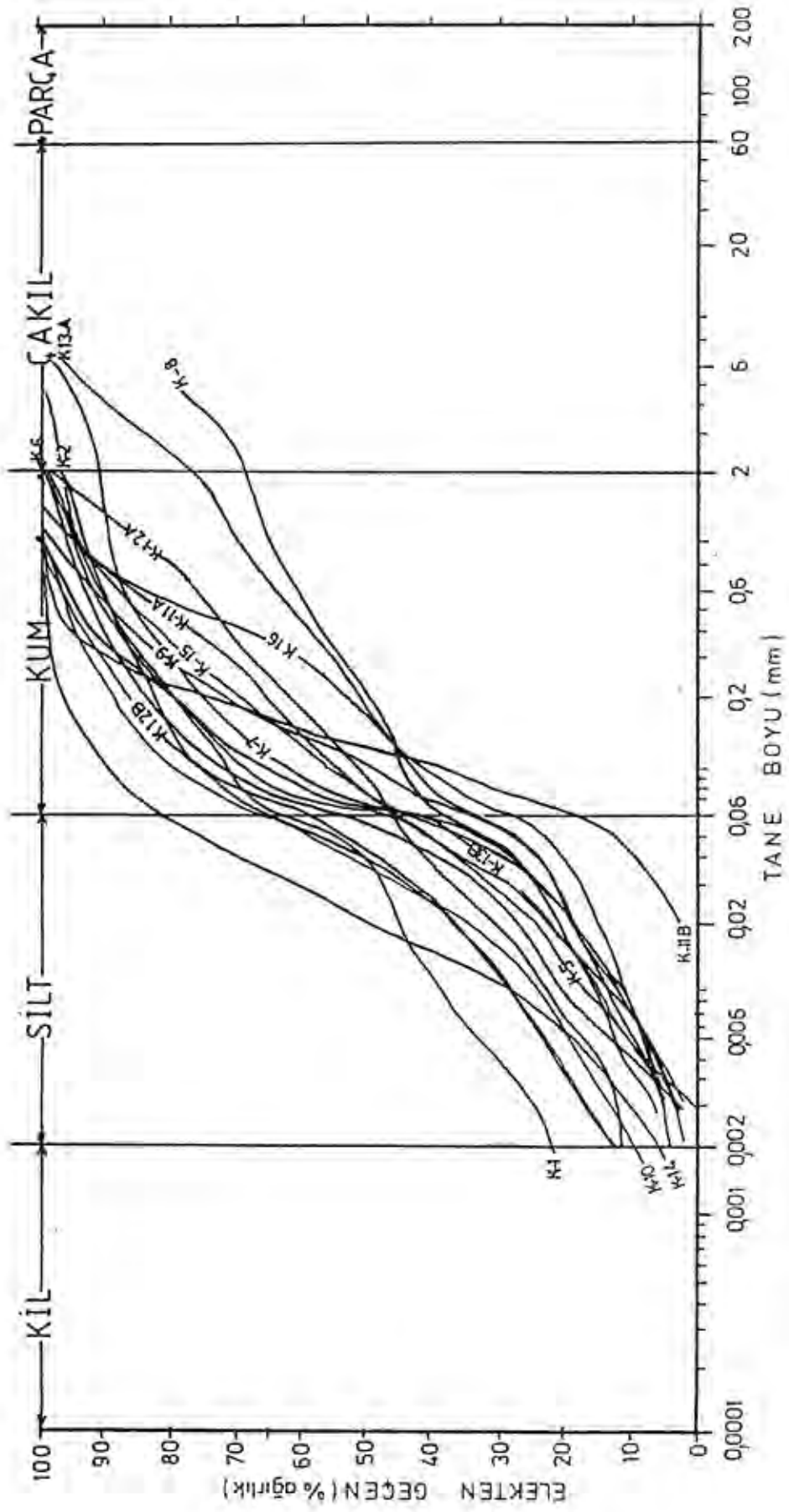
Heyelan kesiminden alınan örnekler üzerinde yapılan tane boyu çözümlemelerinden elde edilen tane boyu dağılımları toplu olarak şekil 2'de verilmiştir. tane boyu dağılım eğrilerinden heyalana katılan malzemeleri oluşturan bileşenlerin ağırlıkça % miktarları, birleştirilmiş zemin sınıflamasına göre grupları, toplu olarak Çizelge 3'de verilmiştir. Bu çizelgeye göre heyelan malzemelerinde % ağırlıkça en fazla bulunan bileşenler silt ve kumdur. Ayrıca az miktarda kil ve çakıl

Çizelge 1: Heyelan bölgelerinden alınan örneklerin bazı indeks (Bünye) özellikleri.

Örnek No	Özgül Ağırlık (G _s)	Sıvılık Sınırı (LL %)	Plastiklik Sınırı (PL %)	Plastiklik İndeksi (PI %)	Aktiflik Katsayısı A	Kil İçeriği %	Büzülme Oranı %
K-1	2.94	51.00	22.54	28.46	1.12	25.3	11.57
K-2	2.77	35.00	22.22	12.78	0.75	17.00	9.29
K-5	2.63	49.00	22.16	26.84	3.01	8.90	13.45
K-6	2.77	39.50	18.39	22.11	7.00	3.13	11.43
K-7	3.03	42.50	23.58	18.92	14.55	1.30	10.00
K-8	2.65	29.00	20.41	8.59	1.22	7.00	7.86
K-9	2.63	52.50	36.12	16.38	4.81	3.400	12.86
K-10	2.94	38.00	22.61	15.39	1.46	10.53	11.07
K-11A	2.76	37.70	15.41	22.29	8.57	2.60	10.86
K-11B	2.75	-	-	-	-	-	-
K-12A	2.94	43.00	20.32	22.68	1.51	15.00	5.71
K-12B	2.63	45.80	25.47	20.33	1.37	14.80	15.71
K-13A	2.76	38.80	28.77	10.03	1.18	8.45	9.64
K-13B	2.75	44.80	28.41	16.39	-	-	11.80
K-14	2.75	46.00	27.51	18.49	3.03	6.10	14.86
K-15	2.75	39.50	22.39	17.11	3.33	2.40	7.14
K-16	2.76	33.10	28.57	4.53	1.03	4.40	5.71

Çizelge 2: Killerin aktiflik açısından sınıflandırılması (Skempton, 1953; Gillot, 1968)

Kil Tanımlaması	Aktiflik (A)
Aktif olmayan	$A < 0.75$
Normal aktif	$0.75 < A < 1.25$
Aktif	$1.25 < A$



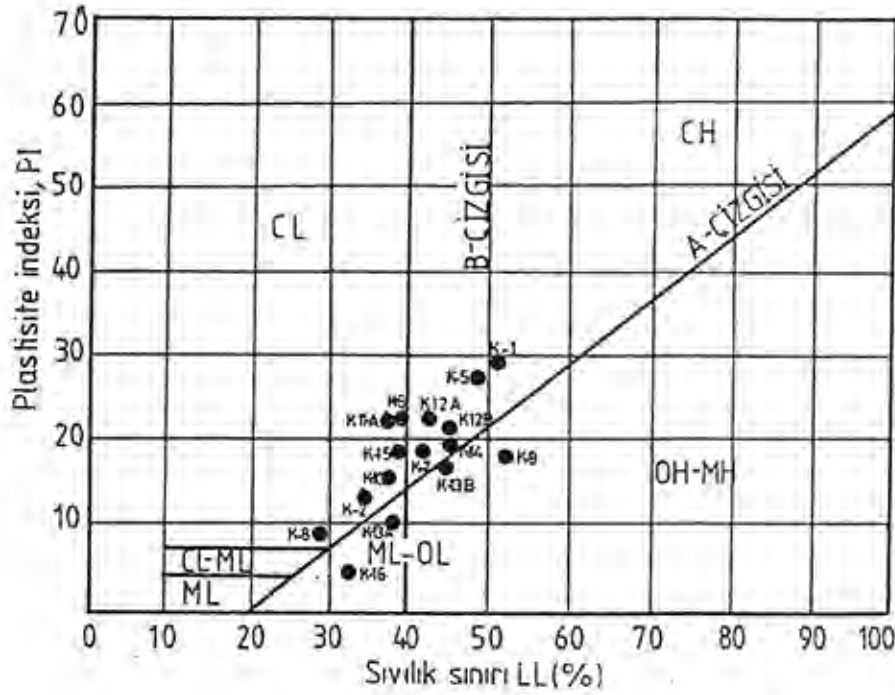
Şekil 2: Heyelan örneklerinin tane boyu dağılım eğrileri

Çizelge 3: Heyelan Malzemelerinin % ağırlık olarak bileşenleri ve zemin grupları

Örnek No	Bileşenler(%)				Zemin Grubu (USCS)
	Çakıl	Kum	silt	kil	
K-1	1.20	33.80	43.00	22.00	CH
K-2	4.00	36.00	45.00	15.00	CL
K-5	4.50	45.50	42.00	8.00	CL
K-6	0,4	44.60	52.00	3.00	CL
K-7	5.00	50.00	44.00	1.00	SM
K-8	22.80	37.20	36.00	4.00	SM
K-9	-	65.00	32.00	3.00	SM
K-10	-	35.00	55.00	10.00	CL
K-11A	-	54.00	44.00	2.00	SM
K-11B	-	85.00	13.00	2.00	SM
K-12A	2.00	53.00	34.00	11.00	SM
K-12B	-	25.00	51.00	14.00	CL
K-13A	25.70	39.30	30.00	5.00	SM
K-13B	-	65.00	43.00	2.00	SM
K-14	-	17.50	76.50	6.00	CL
K-15	5.00	50.00	43.00	2.00	SM
K-16	0.20	69.80	27.00	3.00	SM

Çizelge 4: Heyelan malzemelerinin kil minerallerinin dağılımı

Örnek No	Simektit %	Klorit %	İllit %
K-1	80	20	Eser
K-2	80	20	Eser
K-6	60	40	Eser
K-10	80	10	10
K-12/B	80	10	10
K-14	90	10	---

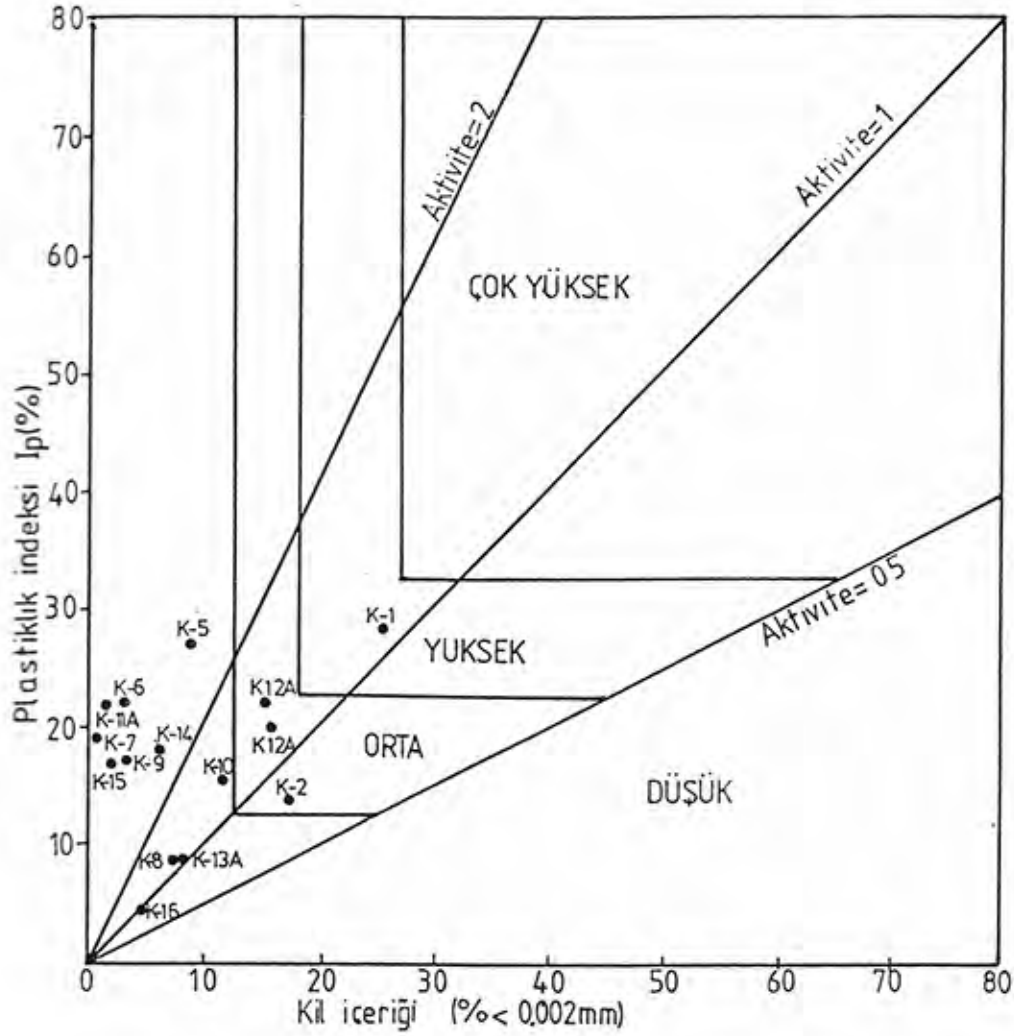


Şekil 3: Heyelan örneklerinin ince taneli bileşenlerinin plastisite çizelgesi üzerindeki dağılımı

boyu bileşenler de bulunmaktadır. Örneklerin ince bileşenlerinin plastisite çizelgesi üzerindeki dağılımları da şekil 3'de sunulmuştur. Buna göre; heyelan malzemelerinin ince bileşenleri CH ve CL grubu zeminleri karakterize etmektedir.

Heyelan malzemelerinin ince taneli bileşenlerinin Van Der Merve (1964) şişme potansiyeli abağı üzerindeki dağılımı Şekil 4'de sunulmuştur. Bu abak üzerinde örneklerin %73'ü düşük, %20'si orta ve %7'si ise yüksek şişme potansiyeli olan bölgelere düşmüştür.

Heyelana katılan malzemelerdeki kil minerallerinin türlerini belirleyebilmek için kil oranı yüksek altı örnekten kil boyu bileşenleri ayrılmış ve bunların x-ışınları difraktogramları çekilmiştir. Bu çekimlerden elde edilen toplu sonuçlar Çizelge



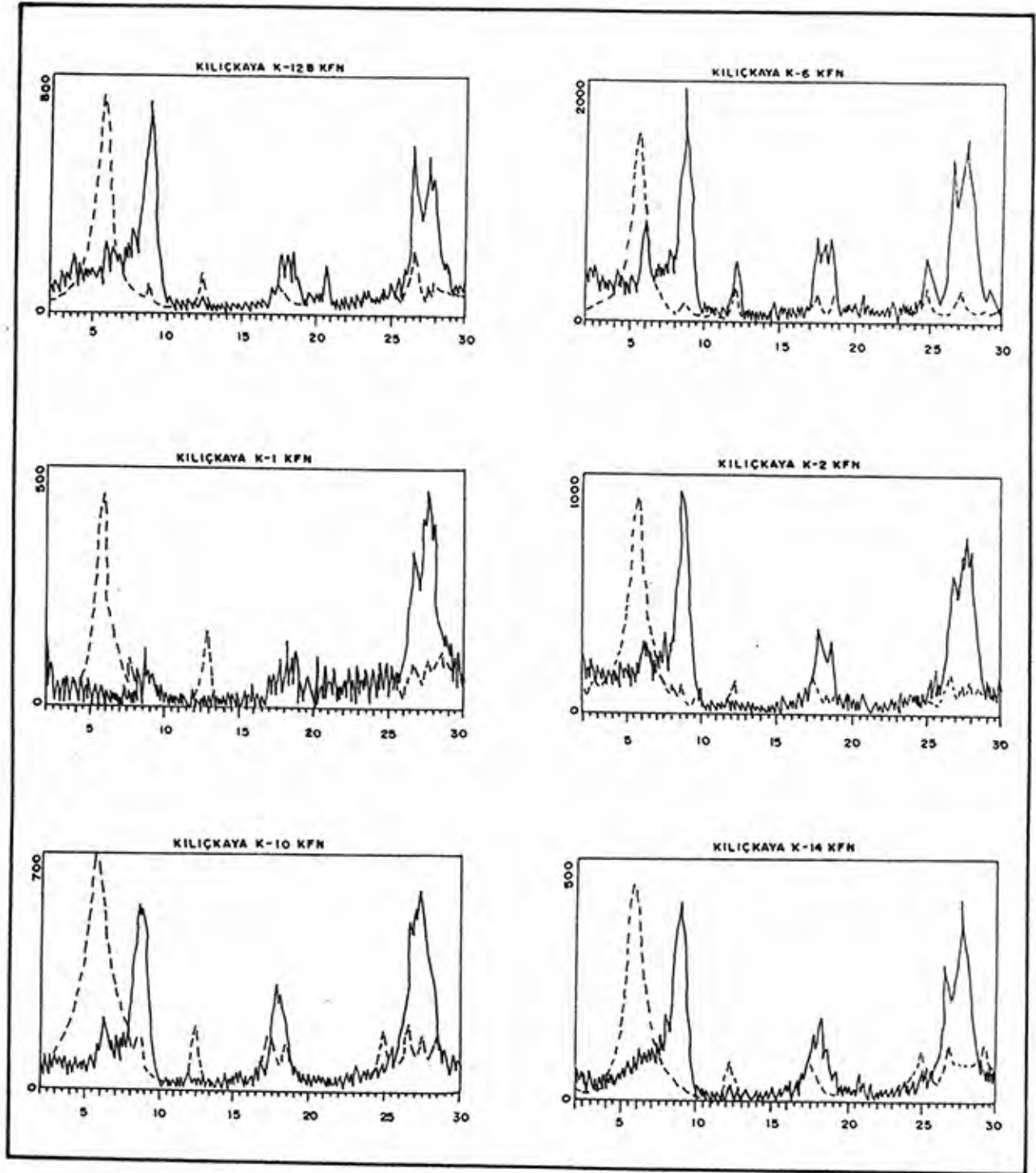
Şekil 4: Heyelan örneklerinin ince taneli bileşenlerinin Van Der Merve (1964) şişme potansiyeli abağındaki dağılımları

4'de verilmiştir. Bu sonuçlara göre heyelana katılan malzemelerde egemen olan kil mineralleri simektit ve kısmen de klorittir (Şekil 5).

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Çalışmadan elde edilen sonuç ve öneriler aşağıda özetlenmiştir.

1. İnceleme alanındaki heyelanların genellikle Oligo-Miyosen yaşlı



Şekil 5: Heyelan malzemesi kil örneklerinin x-ışınları difraktogramları

Şebinkarahisar formasyonundaki pekişmemiş birimlerde geliştiği belirlenmiştir.

2. Yörenin Kuzey Anadolu Fay zonunda olması nedeni ile neotektonik yapıların da heyelan oluşumuna katkıda bulunduğu saha gözlemleri ile saptanmıştır.

3. Heyelan malzemelerinde egemen olan bileşen silt ve kumdur.

4. Heyelan malzemelerindeki egemen kil minarelleri simektit ve kısmen klorittir. Bu tür killer çoğunlukla aktif ve düşük şişme potansiyeline sahiptirler.

5. Çalışma alanındaki yamaç eğimlerinin yüksek (40°-50°) olması, baraj su kotundaki mevsimsel değişimler ve bitki örtüsünün zayıf olması heyelan potansiyelini arttırmaktadır.

6. Bölgenin Karadeniz bölgesi iklim kuşağında yer alması nedeniyle, bol yağışlı ve bol kırıklı çatlaklı olması, birimlerin su ile etkileşimini kolaylaştırmakta, bu da özellikle silt ve kum içeriği fazla birimlerde heyelan oluşumunu arttırmaktadır.

7. Heyelanların kontrol altına alınabilmesi ve zararlarının en az düzeye indirilmesi için su drenajı ve ağaçlandırılmaya gereken önemin verilmesi, kayma potansiyeline sahip yüksek eğimli yamaçlarda yamaç eğimlerinin düşürülmesi ve daha ayrıntılı çalışmalar yapılması gerekmektedir.

6. TEŞEKKÜR

Yazarlar çalışmayı proje olarak destekleyen C.Ü. Araştırma Fonuna teşekkürlerini sunarlar.

7. YARARLANILAN KAYNAKLAR

ARAL, F., KARACAN, E., CERİT, O., (1991), Suşehri (Sivas)- Şebinkarahisar (Giresun) yöresi heyelanların incelenmesi. Türkiye 1.ulusal heyelan sempozyumu, Trabzon (Bazkıda).

GILLOT, E, J., (1968), Clay in engineering geology. Elsevier, Amsterdam, 296p.

SKEMPTON, A. W, (1953), The colloidal activity of clays: proc of the 3rd Int. Conf. on soil mech., Zurich, 1, 57-61

T.S.E., (1987), TS1900 İnşaat mühendisliğinde Zemin Laboratuvar Deneyleri

Ankara, 1535

VAN DER MERVE, D. H., (1964) The prediction of heave from the plasticity indeks and percentage clay fraction of soil Civil Eng. (South Africa), 6,103-107

YILMAZ, A., BİLGİÇ, T., (1985) Yukarı Kelkit çayı yöresi ve güneyinin temel özellikleri ve sonuçları, M.T.A.Genel Müd. Rap. No:7777, 207s. (Yayınlanmamış).

MASİF - KIRILGAN KAYA KÜTLELERİNDE AÇILAN TÜNELLERDE STABİLİTE SORUNLARI

Prof.Dr.Müh. Ergin ARIOĞLU

İ.T.Ü. Maden Müh. Bölümü Öğretim Üyesi

Y.Müh. Başar ARIOĞLU

Yapı Merkezi Holding A.Ş

Dr.Müh. Canan GİRGİN

Yapı Merkezi Holding A.Ş

ÖZET

Masif ve gevrek kayalar içinde açılan derin tünellerde teğetsel gerilmeler geçilen formasyonun yerinde dayanımını aşıyorsa, "kaya patlaması" olayı söz konusudur. Bu çalışmada, kaya patlama olaylarını açıklamak üzere "Stabilite sayısı" (S) basit bir yaklaşım kullanılarak tariflenmiştir. Stabilite sayısı tünel derinliği, laboratuvar basınç dayanımı ve tünel enkesit formunun bir fonksiyonu olarak tanımlanmış ve kaya patlamalarından kaynaklanan tünel hasarları muhtelif amaçla açılmış 17 adet tünel üzerinde tahkik edilmiştir.

ABSTRACT

Tunnel and underground mine openings in massive brittle rocks give rise to a problem in the form of sudden failures with explosive violence of the rock mass surrounding to openings, named as "rockbursting" in rock mechanics literature, especially in deep openings where high and anisotropic stresses are likely to occur. Rockbursting failures are seen as breaking up into fragments, blocks or slab, depending on type and magnitude of rock burst. In this study, a simple and reliable method for the stability assessment of underground mine openings/tunnels is defined as a function of tunnel depth (H), uniaxial compressive strength of laboratory rock sample (σ_{lab}) and tunnel shape factor. Performance of relationship $S = f(H, \sigma_{lab}, \text{shape factor})$ was checked with rockbursting cases of several tunnels opened up in the world.

1. GİRİŞ

Masif ve gevrek kayalar içinde açılan derin tünellerde tünel cidarı etrafındaki bölgede yüksek ve anizotropik gerilme bölgeleri oluşmaktadır. Bu gerilme büyüklükleri, verilen tünel formu ve tünel derinliğinde geçilen formasyonun yerinde dayanımını aşıyorsa, tünel kaya mekaniği literatüründeki "kaya patlaması" olayı ile karşı karşıyadır. Tünelde gözlenecek olası hasar, şu büyüklüklerle denetlenmektedir: gerilme şartları, tünel derinliği, geçilen formasyonun mekanik büyüklükleri (çatlaklılık ile ilgili faktörler, laboratuvar basınç dayanımı) ve açılan tünel enkesitinin formu. Bu çalışmada masif ve gevrek kayalar içinde açılan tünellerin dayanımını kantitatif bir şekilde ortaya koyan bir yaklaşım teklif edilmiştir. Bu yaklaşımın dayandığı temel büyüklüklerin kolaylıkla bulunabilmesi, önerilen yaklaşımın pratik kullanımını arttırmaktadır. Çalışma kapsamında geliştirilen Stabilite sayısı bağıntısı literatürde kaya patlama olgusu gözlenen tünel örnekleri ile karşılaştırılarak yaklaşımın uygulanabilirliği tartışılmıştır.

2. KAYA PATLAMASI OLAYININ MEKANİZMASI

Gevrek-masif kayalarda açılan derin tünel / galerilerde rastlanan “kaya patlaması” problemi “ani, tahripkar” bir göçme modudur. Yükleme sisteminde biriken birim deformasyon işinin, kırılma anı sonrası boşalma şeklini etkileyen iki faktör vardır :

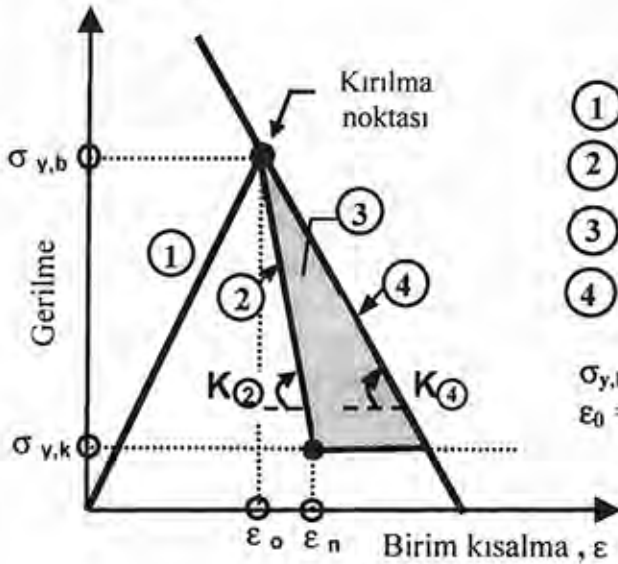
K_2 = Kırılma sonrası $\sigma = f(\epsilon)$ eğrisinin eğimi (katılığı)

K_4 = Yükleme eğrisinin eğimi (katılığı)

olmak üzere,

- $K_2 > K_4$ ve $\sigma_y \geq \sigma_{y,b}$ koşulları sağlanıyorsa “ yükleme makinası” analogisi sözkonusudur. Şekilde(3) ile gösterilen “sismik enerji fazlalığı”, yükleme sisteminden kaya kütlelerine transfer edilir. Bu enerji kaya kütlelerinin “kontROLSUZ” ve “tahripkar” kırılmasına neden olur (Şekil 1). Yüksek gerilme yoğunluğuna maruz tünel / galerilerde kırılmanın ani-kontROLSUZ ve tahripkar şekilde oluşması “kaya patlaması” olarak isimlendirilir.

- $K_2 < K_4$ durumunda -kırılma noktası sonrası- yükleme sisteminden kaya kütlelerine transfer edilen bir “sismik enerji fazlalığı” bulunmayacağından, kırılma modu “kontrollü” olup “tahripkar değildir”.



Şekil 1 Kaya patlaması olayının mekanizması

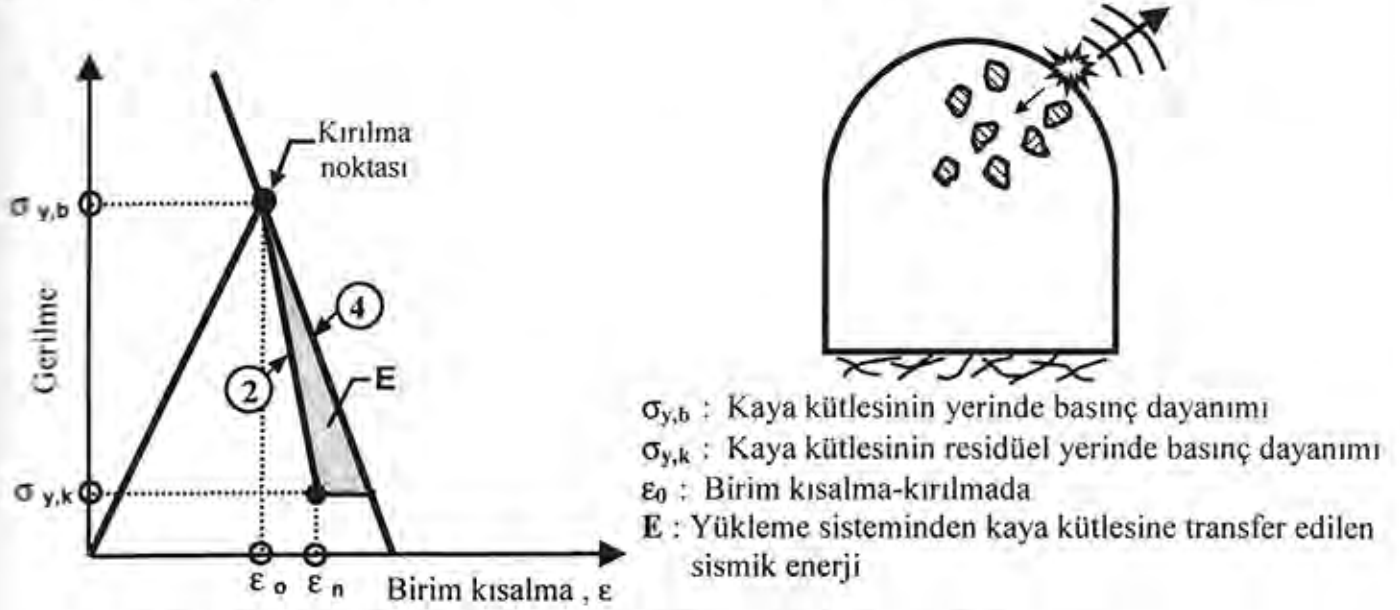
2.1 Kaya Patlaması Modelleri

Kaya patlaması olayı iç kaynaklı ve dış kaynaklı-sismik- kaya patlaması olarak iki başlık altında incelenebilir.

2.1.1 İç kaynaklı kaya patlaması

Kaya patlamasını tetikleyen etmen, orta ve tavan lağım atımlarda açığa çıkan basınç (P) dalgalarının yükleme sisteminin katılığını(4) yumuşatmasıdır, böylece sismik enerji fazlalığı azalır, daha kontrollü ve sünek bir kırılma modu meydana gelir. Ortaya çıkacak kaya

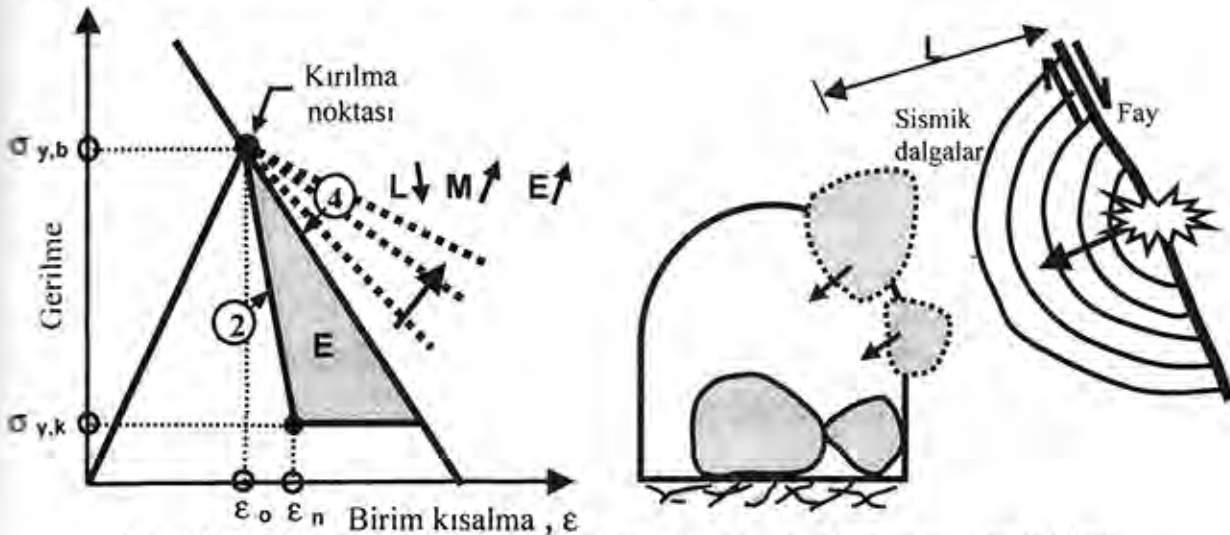
patlamasının şiddeti; atımın dış çepere uzaklığı, atımın çapı, kullanılan patlayıcı miktarı, çatlaklılık ve kayacın yerinde dayanımı gibi faktörlere bağlıdır. Kaya patlaması ile kırılacak olası blok boyut aralığı 0.25 - 0.75 m'dir. İç kaynaklı kaya patlamasını açıklayan prensip Şekil 2'de açıklanmıştır.



Şekil 2 İç kaynaklı kaya patlamasının mekanizması ve oluş biçimi

2.1.2 Dış kaynaklı sismik kaya patlaması

Gevrek-masif kayalarda açılan tünellerde tünel etrafındaki yüksek gerilme bölgeleri tünele yakın bir bölgede mevcut "mikro fayı" harekete geçirebilir. Fayın veya daykın hareketiyle sisteme transfer edilen sismik enerji fazlalığının neden olacağı hasar durumu fayın hareket miktarı, üretilen sismik enerjinin büyüklüğü, tünele uzaklığı, tünelin açıldığı formasyon ve tünel kaplamasının mekanik büyüklükleri ile ilintilidir. Fay hareketi ile ortaya çıkan "mikro-deprem" in büyüklüğü (M) 2 ile 4 Richter mertebesinde olup tünel/galerilerde orta ve yüksek düzeyde hasar durumu söz konusu olmaktadır (Şekil 3).

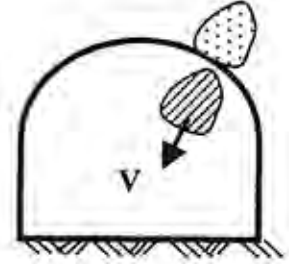


2.2 Kaya Patlamalarında Blok Fırlama Hızlarının Kestirilmesi

Kaya patlama olayında tünel/galeri içinde fırlayan kaya parçacıklarının hızının belirlenmesi, iş yeri emniyeti yönünden önemlidir. Anılan büyüklüğün belirlenmesine yönelik olarak yapılan basit yaklaşım aşağıda özetlenmiştir.

Katı yükleme koşulunda,

$$\underbrace{\frac{V_b \sigma_1^2}{2 E}}_{\text{Kaya kütlesinde depolanan elastik enerji}} \leq \underbrace{\frac{1}{2} M_b \cdot V^2}_{\text{Kinetik enerji}} = \underbrace{\frac{1}{2} (V_b \cdot \gamma) V^2}_{\text{Blok ağırlığı}}$$



$\sigma_{y,b}$ = Yerinde basınç dayanımı, E_y = Yerinde elastik modül

σ_{lab} = Laboratuvar basınç dayanımı, E_{lab} = Laboratuvarda elde edilen elastik modül

V_b = Blok hacmi, γ = Kaya kütlesinin yoğunluğu

O Kaya bloğunun fırlama hızı V :

$$V \approx \frac{\sigma_{y,b}}{\sqrt{\gamma E_y}} \quad ; \quad (\sigma_1 \approx \sigma_{y,b} \text{ kırılma koşulu}) \quad (\text{McGarr, 1997})$$

O Kabuller :

$$\sigma_{y,b} \approx 0.5 \sigma_{lab} \quad (\text{Arioğlu, Ergin, Arioğlu, B, Girgin, 1999})$$

$$E_y \approx 0.8 E_{lab}$$

O Kaya bloğunun fırlama hızı :

$$V \approx 0.56 \frac{\sigma_{lab}}{\sqrt{\gamma \cdot E_{lab}}} \approx 0.334 \frac{\sigma_{lab}}{\sqrt{E_{lab}}}$$

O Tipik değerler – kuvarsit

$$\left. \begin{array}{l} \sigma_{lab} = 200 \text{ MPa} \\ E_{lab} = 80 \text{ GPa} \\ \gamma = 2.8 \text{ t/m}^3 \end{array} \right\} [E_{lab} / \sigma_{lab} = 400]$$

Kaya bloğunun fırlama hızı $V \geq 7.5 \text{ m/sn}$ olarak bulunur.

• Fırlayan bir bloğun sahip olduğu kinetik enerji miktarı,

$$K = \frac{1}{2} M_b V^2$$

Örneğin, $M_b = 1 \text{ ton}$ için

$$K = \frac{1}{2} \times 1^t \times (10 \text{ m/sn})^2 = 50 \text{ kJ}$$

mertebedesindedir.

2.3 Stabilité İndisinin Gerilme, Derinlik ve Tünel Formuna Göre Değişimi

Masif-gevrek kayalarda açılan tünellerde stabilité indisi S ,

$$S = \frac{\sigma_{y,b}}{\sigma_1}$$

bağıntısı ile belirlenir.

$$\sigma_{t,r} = (A \cdot k - 1) \cdot \sigma_z$$

$$\sigma_{t,w} = (B - k) \cdot \sigma_z$$

$$k = \frac{\sigma_y}{\sigma_z} \cong 5.16 H^{-0.16}, H \text{ (m)} - \text{kristal yapıli kayaçlarda}$$

$$\sigma_{y,b} \cong 0.5 \sigma_{lab} \text{ (Arıoğlu,Ergin,Arıoğlu,B,Girgin, 1999) (Arıoğlu,Ergin,Girgin,1999)}$$

$$\sigma_z \cong 0.027 H, \text{ MPa, } H \text{ (m)}$$

Burada,

$\sigma_{y,b}$ = Kaya küttlesinin yerinde basınç dayanımı , MPa

σ_t = Tünel tavan ve yan cidarındaki teğetsel gerilmelerin büyüklüğü , MPa

($\sigma_{t,r}$ = Tavandaki teğetsel gerilme, $\sigma_{t,w}$ = Yan cidardaki teğetsel gerilme)

σ_z = Düşey derinlik basıncı , MPa

σ_y = Yatay derinlik basıncı , MPa

σ_{lab} = Laboratuvar basınç dayanımı , MPa

A, B= Tavan ve yan cidar şekil faktörleri (Çizelge 1)

k= Yatay gerilmenin düşey gerilmeye oranı

Çizelge 1 Tünel şekline bağıli tavan ve yan cidar şekil faktörleri

			
A= 3,2	A= 3,1	A= 3,0	A= 1,9
B= 2,3	B= 2,7	B= 3,0	B= 1,9

Palmström (1996) kaynağına göre stabilite sayısına bağıli olarak kaya patlama olayının şiddetinin değişimi aşağıda gösterildiğı gibidir :

Stabilite sayısı "S"	Gözlenen Olası Kırılma Modları
> 2.5	Herhangi bir stabilite sorunu sözkonusu değıli
2.5 - 1	Yüksek gerilme mevcut-hafif gevşeme var
1 - 0.5	Hafif kaya patlama veya yan cidarlarda plaka halinde belirgin kırılmalar
< 0.5	Ciddi-ağır kaya patlaması sözkonusu

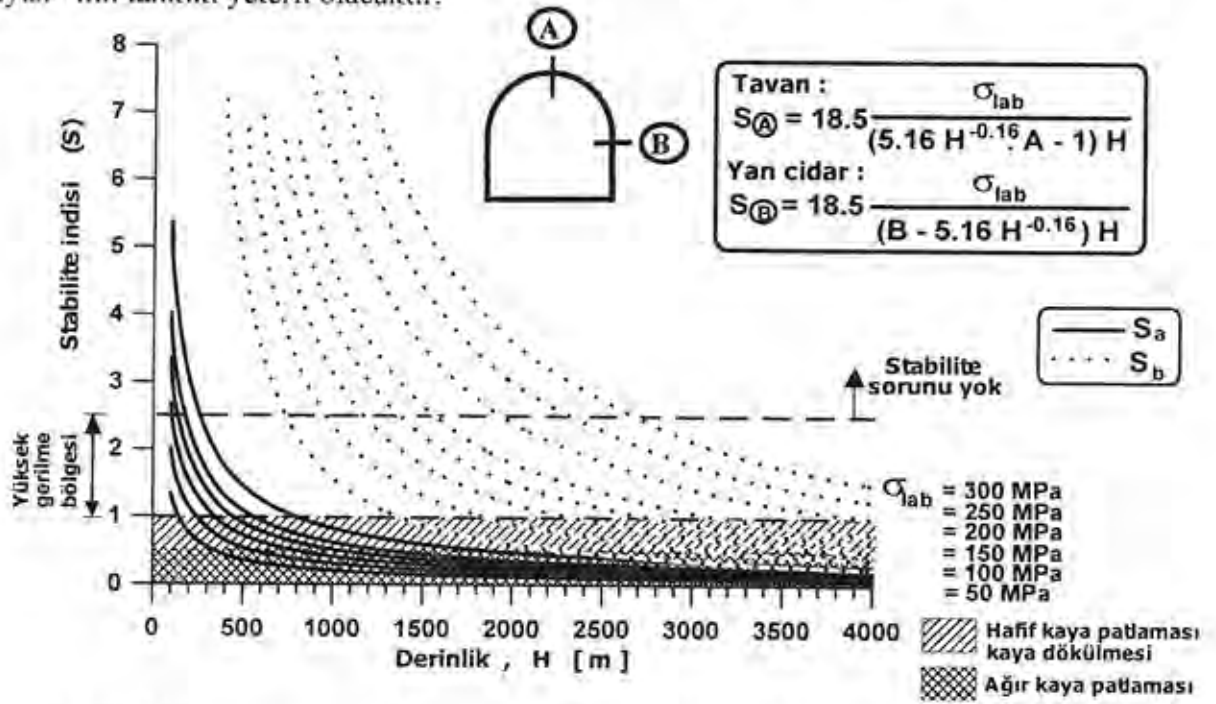
Yapılan sadeleştirmelerden sonra, Stabilite sayısı S en genel anlamda tünel derinliğı (H), tünel enkesit formu ve laboratuvar basınç dayanımının (σ_{lab}) bir fonksiyonu olup, örneğın kemer tipi tünellerde (A=3.2, B=2.3) Stabilite sayısı S,

$$\text{tavanda, } S = 18.5 \frac{\sigma_{lab}}{(5.16 H^{-0.16} A - 1) H}$$

$$\text{yan cidarda, } S = 18.5 \frac{\sigma_{\text{lab.}}}{(B - 5.16 H^{-0.16}) H}$$

bağıntısı ile ifade edilir. Kemer tipi tünellerde Stabilite sayısının, derinlik ve laboratuvar basınç dayanımı ile değişimi Şekil 3’de gösterilmiştir. Şekil 3’den çıkan belli başlı sonuçlar şunlardır:

- “Stabilite sayısı” artan derinlikle azalmaktadır.
- Verilen tünel derinliği için kayanın laboratuvar basınç dayanımı azaldıkça “Stabilite sayısı” da azalmaktadır.
- Kemer kesitli tünel / galeriler için, Stabilite sayısı beklendiği gibi, tavanda yan cidara göre daha düşük çıkmaktadır. Bu bakımdan kaya patlaması olayı açısından tavandaki “Stabilite sayısı”nin tahkiki yeterli olacaktır.



Şekil 3 Stabilite sayısının tavanda ve yan cidarda derinlik ve laboratuvar basınç dayanımına göre değişimi

2.4 Kaya Patlama Örneklerine Genel Bakış

Bu çalışmada tünel derinliği, tünel enkesit formu ve laboratuvar basınç dayanımının fonksiyonu olarak ifade edilen Stabilite sayısının (S), Grimstad, (1996) kaynağında verilen ve büyük bölümü Norveç karayolu tüneli olan 17 adet tünel hasarı örneği ile tahkiki toplu halde Çizelge 2 ve seçilen 11 adet örnek üzerinde Şekil 4’de verilmiştir. Çizelge 2 ve Şekil 4’den çıkan belli başlı sonuçlar aşağıda özetlenmiştir :

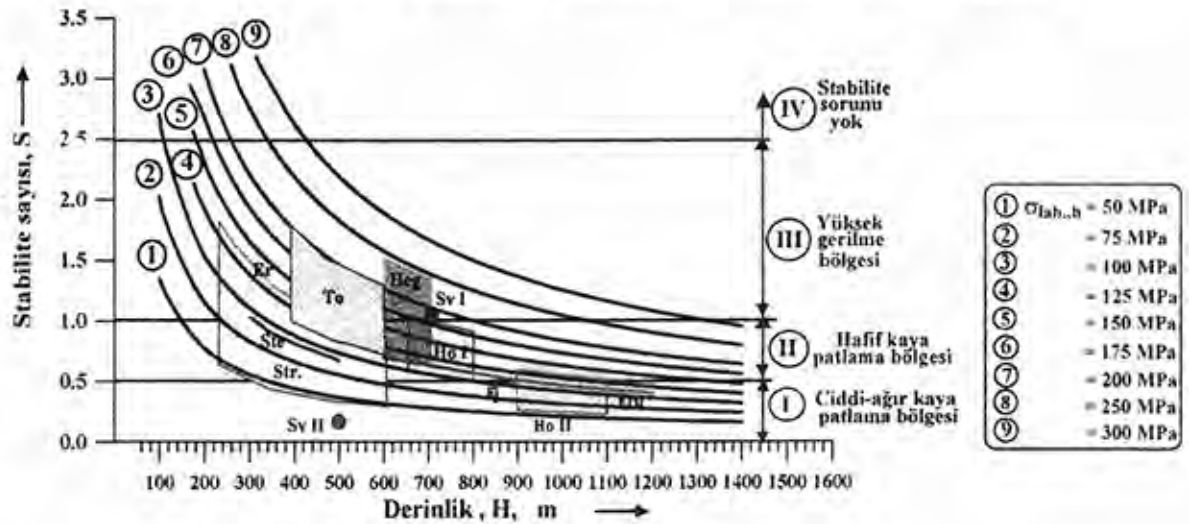
- Derinlik-basınç dayanımı- Stabilite sayısı ilintisi açısından tünel örneklerinin büyük bölümü $S < 1$, diğer bir deyişle “hafif” ve “ağır” kaya patlamalarının beklendiği (I) ve/veya (II) hasar bölgesinde yer almaktadır.

- Tünel örneklerinde beklenen hasar düzeyi ile tünellerin iksa sistemlerinde oluşan hasar tipleri karşılaştırıldığında aradaki büyük uyum göze çarpmaktadır. $S < 1$ olan tünellerde gözlenen belli başlı hasar tipleri kaya dökülmeleri; kaplamada çatlak, plakalanma ve yırtılma; saplamanın sıyrılması ve kırılması şeklinde özetlenebilir.

Çizelge 2 Çeşitli Tünel Projelerinde Kaya Patlamalarından Dolayı Gözlenen Hasarlar

Tünel ismi	H (m)	$\sigma_{lab,b}$ (MPa)	Geçici iksa türü	Kalıcı iksa türü	Toplam deformasyon	Hasar şekli	Hasar bölgesi
Strynfjellet	230-600	47-127	S	S	20-60 mm	KpP	I, II, III
Hoyanger I	650-800	100-177	S	S	10-40 mm	KD+KpD	I, II
Hoyanger II	900-1100	55-126	S	S	20-100 mm	KD+KpD+SK	II, (I), (III)
Fjærland	600-1200	110	S	S	10-40 mm	KD	I, II
Kobbaskaret	25-600	36-177	S+LGP	S+LGP	20-50 mm	KD	I, II, III, IV
Heggura	600-700	120-250	S+LGP	S+LGP		KD	II, III
Svartisen I	700	181	Yok	S		KD	II, III
Svartisen II	500	27	Yok	S	30-50 mm	KD	I, (II)
Tafjord	500-1200	82-185	S+LGP	S+LGP	10-50 mm	KD+KpP	I, II, III
Frudalen	900-1200	70-150	S+LGP	S+LGP	20-60 mm	KD+KpÇ	I, II
Tosen	400-600	110-200	S	S	1-20 mm	KD	II, III
Fodnes	650-1100	100-150	S+LGP	S+(LGP)	20-60 mm	KD+KpÇ+KpP	I, II
Amla	100-400	100-150	S+LGP	S+(LGP)	1-10 mm	KD+KpÇ	II, III, IV
Laerdalstunn.	800-1400	100-150	S+LGP	S+LGP	40-200 mm	KD+KpÇ+KpP	I, II
Stetind	300-500	90	S+LGP	S+(LGP)	10-50 mm	KpÇ+KpP	II
Pehuenche, Şili	400-1200	100-150	S+LGP	S+HGP+B	20-100 mm	KpP+KpD	I, II, III
Ertan, Çin	300-400	105-160	S+D/H/LGP	S+LGP+Kb+H	20-160 mm	KpP+KpD+SS	III, (II) (?)

Açıklamalar : KD : Kaya dökülmesi, KpÇ : Kaplamada çatlaklar, KpP : Kaplamada plakalanma, SK : Saplamanın kırılması
KpD : Saplama hizasındaki kaplamada deformasyon ve yırtılma, SS : Saplamanın sıyrılması
S : Kaya saplamaları, LGP : Çelik lifle güçlendirilmiş püskürtme beton, HGP : Çelik hasırla güçlendirilmiş püskürtme beton, H : Çelik tel hasır, Kb : Kablo ile ankraj, B : Beton kaplama elemanları, () : Kısmen uygulanmış



Açıklamalar : $\sigma_{lab,b}$ = Laboratuvar tek eksenli basınç dayanımı [MPa]

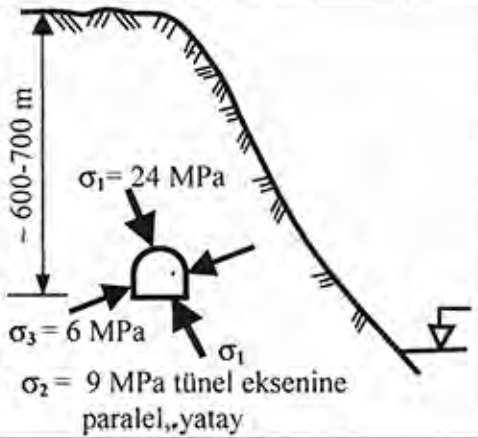
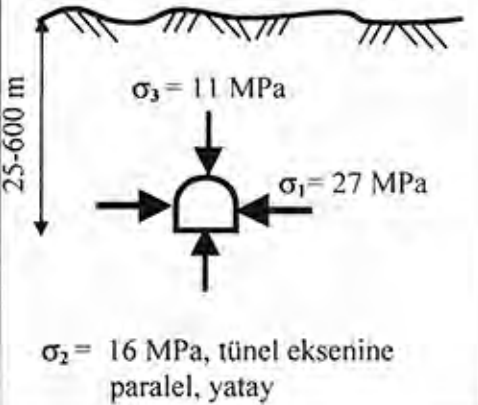
Str : Strynfjellet, Ho I : Hoyanger I, Ho II : Hoyanger II, Fj : Fjærland, He : Heggura

Sv I : Svartisen I, Sv II : Svartisen II, Fr : Frudalen, St : Stetind, To : Tosen, Er : Ertan, Çin

Şekil 4 Çeşitli tünel örneklerinde stabilite sayısı-derinlik-laboratuvar basınç dayanımı değişimleri ve Çizelge 2’de rapor edilen tünellerde gözlenen kaya patlama olayları ve hasar durumları

Sözkonusu tünel örneklerinden ikisi, Norveç karayolu tünellerinden olan Heggura ($\sigma_{lab.} = 120-250$ MPa, $H = 600-700$ m) ve Kobbaskaret ($\sigma_{lab.} = 36-177$ MPa, $H = 25-600$ m) tünelleri ile ilgili bazı mühendislik büyüklükleri Myrvang ve Davik,(1997) kaynağındaki verilerden yararlanarak Çizelge 3’de daha ayrıntılı olarak belirtildiğinden, yer ekonomisi sağlamak amacı ile burada ayrıca değerlendirmeye alınmayacaktır.

Çizelge 3 Heggura ve Kobbaskaret tünellerinin mühendislik büyüklükleri

Tünel ismi	Heggura	Kobbaskaret
	 $\sigma_1 = 24$ MPa $\sigma_3 = 6$ MPa $\sigma_2 = 9$ MPa tünel eksenine paralel, yatay	 $\sigma_3 = 11$ MPa $\sigma_1 = 27$ MPa $\sigma_2 = 16$ MPa, tünel eksenine paralel, yatay
Tünel inşa tarihi	1981-1982	1985-1986
Tünel uzunluğu	5280 m	4452 m
Hakim formasyon	Precambrian gneys masifi	Precambrian – İri taneli granitik gneys
Laboratuvar basınç dayanımı ($\sigma_{lab,b}$)	120-250 MPa	36-177 MPa
Laboratuvar elastik modülü ($E_{lab.}$)	17-63 GPa	14-30 GPa
Poisson oranı (ν)	0.10- 0.35	0.09-0.20
Tünel açma yöntemi	Klasik delme + patlatma	Delme + patlatma
İksa türü	- İlk uygulamalarda noktasal 2-3 m uzunluğunda reçineli tavan saplamaları - Tünel cidarında dökülme gözlenmesi üzerine ıslak- çelik lifle güçlendirilmiş püskürtme beton kaplama (kalınlığı 10-150 mm)+2-3m reçineli saplama uygulaması (İnşaatin ilk evresinde toplam 15500 adet, daha sonra da 5200 adet saplama (Toplam 20700 adet / 5280m= 3.9 adet/m). Bu uygulama sadece tünelin sağ tavan + sağ yan cidarına yapılmıştır. Bu iksa yöntemi tünel uzunluğunun yaklaşık %75’ine uygulanmıştır.	2.4-3.2m noktasal ankrajlı tavan saplamaları+10-150mm çelik lifle güçlendirilmiş püskürtme beton tünelin tavan ve yan cidarları içeren kesiminde uygulanmıştır. İlk evrede 20000 adet tavan saplaması (birim tünel uzunluğunda 4.5 adet tavan saplaması)
Stabilite problemleri	Tünel inşaatı boyunca tünelin sağ üst-sol alt köşelerinde “ağır cidar dökülmeleri” gözlenmiştir.	Tünel inşaatında tavan ve tabanda “ağır dökülmeler” gözlenmiştir. Tünelin resmi açılışından sonra da (1 ay → 12 ay) tünelde dökülmeler oluşmuştur.

Heggura tüneli ile ilgili mekanik büyüklükler istatistik matematiği ile değerlendirilerek, laboratuvar elastik modül, laboratuvar basınç dayanımı ve kaya yoğunluğu arasında bağıntılar çıkartılmıştır. Değerlendirme sonuçları aşağıda topluca gösterilmiştir.

Heggura tüneli için geçilen gnays formasyonuna ait, laboratuvar elastik modül ($E_{lab.}$), laboratuvar basınç dayanımı ($\sigma_{lab.}$) ve yoğunluk (γ) arasında çıkartılan regresyon bağıntıları,

$$E_{lab.} = 8.137 \times 10^{-6} (\sigma_{lab.} \gamma)^{1.696} \quad (n=10, r=0.865) \quad (15000 \text{ MPa} < E_{lab.} < 60000 \text{ MPa})$$

$$\frac{E_{lab.}}{\sigma_{lab.}} = 0.000362 \sigma_{lab.} \gamma + 26.391 \quad (n=8, r=0.854) \quad (125 < \frac{E_{lab.}}{\sigma_{lab.}} < 250)$$

olarak elde edilmiştir. Burada,

n = Numune sayısı

r = Elde edilen regresyon bağıntısına ait korelasyon katsayısı

$\frac{E_{lab.}}{\sigma_{lab.}}$ oranına ilişkin veriler değerlendirildiğinde anılan formasyon için oran 125-250

aralığında değişmektedir, diğer bir anlatımla $\frac{E_{lab.}}{\sigma_{lab.}}$ oranının düşüklüğü nedeni ile kaya kütlesi

“gevrek” bir davranış göstermektedir, nitekim bu tünelde gözlenen yaygın “kaya patlama” olgusu da laboratuvar ölçeğinde elde edilen sonuçları desteklemektedir.

SONUÇLAR

Bu çalışmada elde edilen belli başlı sonuçlar aşağıda özetlenmiştir :

- Masif-gevrek kaya kütlelerinde açılan yüksek gerilmelere maruz derin tünel/galeriler “kaya patlama” olayı ile karşı karşıyadır. Kaya patlama olaylarını açıklamak üzere basit bir yaklaşım kullanılarak bir “Stabilite sayısı” (S) tariflenmiştir (Şekil 1). Bunu denetleyen temel mühendislik faktörleri ise tünel derinliği (H), laboratuvar basınç dayanımı ($\sigma_{lab.}$) ve tünel enkesit formudur. Tünel, $S > 2.5$ ise herhangi bir stabilite problemi yoktur, $0.5 < S < 1$ durumunda “hafif”, $S < 0.5$ durumunda “ağır” kaya dökülmelerine maruzdur. Stabilite sayısı ve buna bağlı olarak tünel hasarlarındaki değişim, 17 adet tünel örneği (Çizelge 2) üzerinde tahkik edilmiştir (Şekil 4). Derinlik, laboratuvar basınç dayanımı ve tünel formuna bağlı olarak tariflenen Stabilite sayısı ile örneklenen tünel hasarları uyum içindedir.
- Kaya patlamalarının gözleendiği tipik iki karayolu tüneli örneği olan Norveç ve Kobbaskaret tünellerine ait teknik değerlendirmeler Çizelge 3’de takdim edilmiştir. Heggura tüneline geçilen gnays formasyonundan elde edilen numunelerin $E_{lab.}$ ve $\sigma_{lab.}$ verilerine göre $\frac{E_{lab.}}{\sigma_{lab.}}$

oranının 125-250 aralığında değiştiği belirlenmiştir. Bu oranın düşük olması sözkonusu

formasyonun “gevrek” davranış gösterebileceği, diğer bir anlatımla “kaya patlama” olaylarının gözlenebileceğine laboratuvar ölçeğinde işaret etmektedir.

TEŞEKKÜR

Yazarlar, çalışmanın yapılması ve yayınlanmasını teşvik eden Yapı Merkezi Holding A.Ş. Yönetim Kurulu Başkanı Sayın Dr.Müh.Ersin ARIÖĞLU’na burada teşekkür ederler. Çalışmada ileri sürülen sonuçlar hiç bir şekilde ilgili kuruluşları bağlamaz, sadece yazarlara aittir.

KAYNAKLAR

- Arıoğlu, Ergin, Girgin, C.** “Çelik Lifli Püskürtme Beton Kaplama Tasarımı-Kaya Patlama Olayına Maruz Tünellerde Kullanım” *4th Ulusal Kaya Mekaniği Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, Zonguldak, 22-23 Ekim 1998.
- Arıoğlu, Ergin, Arıoğlu, B, Girgin, C.** “Stability Evaluation and Design of Tunnel Openings in Brittle-Massive Rock Masses”, *3rd International Symp. on Sprayed Concrete*, (Ed : N.Barton-R.Kompen-K.Berg), Gol, Norway, 1999.
- Grimstad, E.** “Stability in Hard Rock Affected by High Stress and Supported by Sprayed Concrete and Rock Bolts” *2nd International Symp. on Sprayed Concrete*, (Ed : N.Barton-R.Kompen-K.Berg), Gol, Norway, 1996.
- Myrvang A.M., Davik, K.I** “Heavy Spalling Problems in Road Tunnels in Norway-Long Time Stability and Performance of Sprayed Concrete as Rock Support“, *International Symposium on Rock Support Proceedings*, (Ed : E.Broch-A.Myvang-G.Stjern), Lillehammer, Norway, 1997.
- Palmström, A.** (1996) “Characterizing Rock Masses by the RMI for Use in Practical Rock Engineering,Part 2: Some Practical Applications of the Rock Mass Index (RMI)” *Tunnelling and Underground Space Technology*, Vol. 11, No.3, pp.287-303.

AYAŞ TÜNELİNDE VE BASKILI ORTAMLARDA TÜNEL AÇIM SORUNLARI

THE PROBLEMS OF SOFT GROUND TUNNELING AT AYAŞ

Yılmaz Mahmutoglu

Mahir Vardar

Erdoğan Yüzer

İTÜ Maden Fakültesi, Uygulamalı Jeoloji Anabilimdalı, 80286, Maslak-İstanbul

ÖZ: Bu bildiride, üzerinde uzun bir süre araştırma imkanı bulabildiğimiz İstanbul-Ankara Hızlı Demiryolu projesinin bir parçası olan Ayaş Tünelinin iki ayrı noktasında karşılaşılan, birbirinden farklı jeomekanik problemin tanıtımı ve bunların giderilmesine yönelik olarak önerilen ve uygulanan yöntemler irdelenmeye çalışılmaktadır.

1975 yılında programa alınan demiryolu projesinin 1984 yılında bitirileceği öngörülmüş, ancak karşılaşılan tünelcilik sorunları ve hükümetlerin stratejik ve mali politikaları sonucu yapım işlerine pek çok kez ara verilmiş olması nedenleriyle halen tamamlanamamıştır. Ayaş tünelinde kazı çalışmaları her iki uçtan eş zamanlı olarak başlamış, ancak zamanla bu ilerlemeler arasında çok büyük fark oluşmuştur. Bunun nedeni, Erkeksu tarafında girişten hemen 770 metre sonra suya doygun akıcı zemin ortamıyla karşılaşılmış olmasıdır. Bir süre sonra Ayaş tarafında da km 6+475 den başlayarak aşırı derecede sıkışmış ve parçalanmış, latent plastik davranış gösteren şistlere ulaşılmıştır. Buradaki gerilme boşalımına bağlı kabarma özelliği gösteren klorit-talk şistlerde, yaklaşık 240 metrelik kesimde önlenemeyen aşırı deformasyonlar oluşarak önemli tünelcilik sorunları yaşanmaya başlanmıştır. Bu sorunların giderek büyümesinde ortam koşullarının kötülüğü dışında tünel üst yarı aynası ile halka kapanımı arasındaki mesafenin fazlalığı da etkili olmaktadır. Bütün önlemlere ve sağlamlaştırma çalışmalarına rağmen, yer yer 3 metreye varan konverjanslar yeterince denetim altına alınamamıştır. Bu durum, tünelin birden fazla taranmasını gerektirmiş, ilerleme hızlarını çok azalmış ve maliyetleri beklenmeyen düzeyde artırmıştır.

ABSTRACT: This paper summarises the definition and evaluation of two different geomechanical problems at the Ayaş tunnel, the longest tunnel on the route of Istanbul-Ankara speed railway project. Then, the tunnelling methods and precautions to overcome these problems have also been discussed in detail. The end of the year 1984 was foreseen as the completion time for whole project designed at the beginning of 1974. However, the construction works at the tunnel had been halted for several times, because of unexpected tunnelling problems met at each side of Ayaş tunnel and also financial politics of Turkish government. As a result of these situations, the tunnel still is not completed.

Excavation works were started from each portal of tunnel, eastern (Erkeksu) and western (Ayaş) portal at the same time. But, by the time a big and significant difference had come out in advances between two sides of tunnel. The reason of this difference is sudden collapse of saturated and loose sediments of Üçyatak formation at 770 meters from the Erkeksu portal. After a time, another tunnelling difficulty had been encountered at the West Side of the tunnel, when the excavation work reached to 6+475 km from the west portal of tunnel. From this point, excavation work could be advanced for 240 m in swelling rock of chlorite and talc schist of Erenler formation. The most important tunnelling problem related with excessive convergence arose at this part of tunnel, and in spite of several trimming and extra-precaution and modified supporting systems, the problem of instability could not be overcome due to huge convergence.

Giriş:

Ayaş Tüneli ülkemiz demiryolları ağının modernleştirilmesi programı içerisinde Arifiye-Sincan güzergahı üzerinde bulunan ve toplam uzunluğu 70 km yi (toplam güzergah uzunluğunun % 27 si) bulan 15 tünelden en uzun olanıdır. Tünelin uzunluğu 10064 m olup kesit alanı 100 m² dir. Tünelin belirli kesimleri farklı jeolojik yaşlara sahip oldukça farklı jeomekanik özellikleri olan formasyonlar içerisinden geçmektedir. Tünel güzergahının iki değişik bölgesinde karşılaşılan *Erenler* "metamorfik şist" ve *Üçyatak* "plastik kil" formasyonları tünel mühendisliği açısından istenmeyen iki ayrı jeomekanik davranış göstermektedir. Kazı ve sağlamlaştırma çalışmalarına tünelin doğu (Erkeksu tarafı) ve batı (Ayaş tarafı) ağızlarında aynı anda başlanmış ve tünelin Ayaş ağzından itibaren 6782 m lik kesiminin kemer betonu tamamlanmıştır. Erkeksu tarafında ise kemer betonu ancak ilk 805 m lik küçük bir kesimde bitirilmiş durumdadır. Diğer bir ifadeyle, Mayıs 1994 itibarıyla, tünelin toplam uzunluğunun % 75 ine karşılık gelen 7587 metrelik bir kesiminde nihai kaplama bitirilmiş durumdadır. Tünel açım faaliyetlerine her iki ağızdan aynı anda başlanmış olmasına rağmen, ilerlemeler arasında önemli bir fark oluşmuştur. Bunun nedeni Erkeksu tarafında karşılaşılan çok kötü zemin, "suya doygun akıcı ortam" durumuyla çok erken karşılaşılmış olmasıdır.

Diğer taraftan, Ayaş tarafında aşırı derecede sıkışmış ve parçalanmış latent plastik davranış gösteren şistlerle km 6+475 den sonra karşılaşılmıştır. Bu kesimde tünel üst yarı aynası 6853 metreye kadar ilerletilmiştir. Ancak Ayaş ağzındaki sorunun büyümesinde kötü kayaç koşulu dışında tünel üst yarı aynası ile bitirilen iç kaplama arasındaki mesafenin fazlalığı da etkili olmaktadır. Bu durum kazı sonrası gerilme boşalmasına bağlı kabarma özelliği gösteren klorit-talk şistlerde, tünel eksen boyunca, yaklaşık 240 metrelik kesimde açılan boşluk gabarisinin önlenemeyen aşırı deformasyonlarla küçülmesine neden olmuştur. Her iki tünelde karşılaşılan en önemli problem, bütün önlemlere ve sağlamlaştırma çalışmalarına rağmen, açılan boşluğun etrafında oluşan ve miktarı 2-3 metre arasında değişen konverjanslardır. Sorunlu kesimlerde karşılaşılan bu aşırı deformasyonlar son kaplamanın yerleştirilmesine imkan vermemiş ve sonuçta maliyeti birkaç kat arttıran bir veya birden fazla taramayı gerektirmiştir.

Uygulanan Tünel Açım Yöntemleri

Ayaş tarafında, tünel parçalı kazı tekniğiyle açılmaktadır. Kalot ile alt yarı arasındaki mesafe 30-40 m arasında değişmektedir. Kalotta kazı aynası yüksekliği 6.5 m dir. Taban "invert" betonu tünel aynasının yaklaşık 120-130 m gerisinden gelmektedir. Ayna uzunluğu 12 m olan ve birbirini ileriye doğru 5-6 m aşan ankrajlarla korunmaktadır. Geçici destekleme, püskürtme beton, çelik kafes, çelik iksa (TH profil, 21 kg/m ağırlığında ve 0.8 m aralıkla) ve tünelin her bir metresi için uzunluğu 200 m yi aşan sistematik ankrajlarla sağlanmaktadır. İBO ve SN tipi ankrajlarla boyu 8 m olan kablolu ankrajlar birlikte kullanılmaktadır. Nihai kaplama betonu ağır donatılıdır ve ters kemer betonu ile birlikte kapalı bir halka oluşturur. Yoğun geçici sağlamlaştırma elemanlarının kullanılmasına rağmen tünelde 300 cm ye varan konverjanslar oluşmaktadır. Tarama çalışmalarını sınırlandırmak amacıyla kazı kesitinin bazı kesimlerde öngörülenden daha fazla tutulmasına rağmen tarama işlemi tünelde en büyük sorun olarak ağırlığını korumaktadır. Sorunlu kesim içerisinde, iç kaplamanın yerleştirildiği bazı noktalarda taban betonunda kabarma ve parçalanmalar oluşmaktadır.

Erkeksu tarafında ise tünel inşaatı önlemlerinin en son tekniklerinden birisi olan jet-grout teknolojisi kullanılmaktadır. Tünel, konsolide olmamış, kil minerallerinden montmorillonit ve illitin % 90 egemen olduğu siltli kil niteliğindeki sedimanter kayaç içerisinde açılmaktadır. Tünel, oluşturulacak kazı kesitini belirli bir açı ile çevreleyen çift sıra jet-grout kazıklarıyla önceden korunmaktadır. Tünel tabanında oluşabilecek kabarmaların önlenmesi amacıyla bu kazıklar taban için de öngörülmüş ve uygulamaya konmuştur. Ayrıca ortamdaki yeraltısuyunun uzaklaştırılması amacıyla tünelin her iki tarafında ve tünel taban kotunda iki ayrı yan galeri sürülmüştür. Tünelde geçici sağlamlaştırma elemanları ve son kaplama betonu nitelikleri Ayaş ağzında uygulananla benzer özelliklerdedir.

Ayaş Ağzı

Ayaş Ağzındaki sorunlu kesim Permokarbonifer yaşlı Erenler formasyonu içerisinde kalmaktadır. Tünel güzergahı üzerinde görülen en yaşlı birim niteliğinde olan bu formasyon bölgede Elmalıkaya ve Abdulsalam dağının doğu eteklerinde yaklaşık 1 km² lik bir alanda yüzlek vermektedir. Az metamorfik, yeşilimsi, koyugri, koyu yeşil, yer yer pembemsi kloritşist, serizitşist, fillit ve yer yer siyahımsı, koyu renkli rekristalize kireçtaşlarından oluşmuştur. Yüzeyde, genellikle çok yumuşak ve ayrılmış niteliktedir. Formasyon içerisinde hiç bir fosil kaydına raslanılmamış olmasına rağmen önceki çalışmalarda, bu birimin yaşı permokarbonifer olarak kabul edilmiştir. Erenler formasyonu Tünelin Ayaş Ağzı'nda önlenemeyen deformasyonların olduğu kesimi oluşturur (Şekil 1).

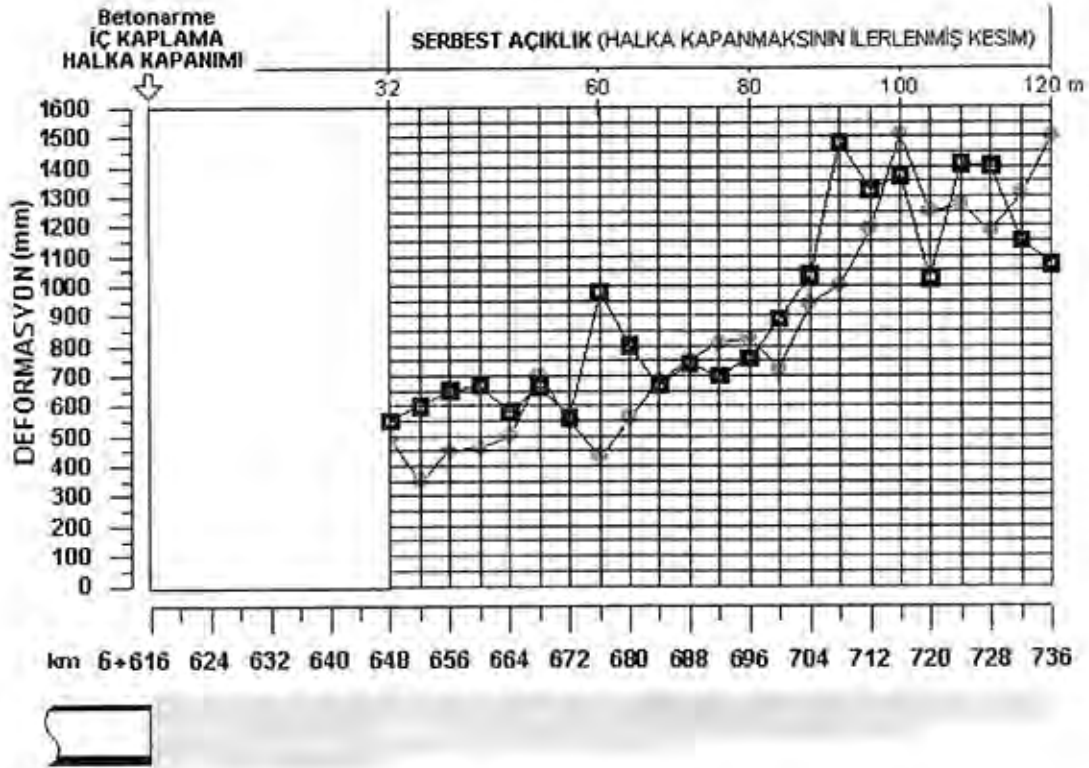
Kayacın büyük tektonik gerilmeler altında geçirmiş olduğu jeolojik süreçten kaynaklanan özellikleri ve kayanın türü dikkate alındığında, ortamdaki birikmiş bir miktar kalıcı (rezidüel) gerilmenin kısmen kazı sonrası kabarma basıncı şeklinde ortaya çıkabileceği, daha tünel güzergahının jeolojik araştırması aşamasında (Weiss, 1978), vurgulanmıştır.

içinde karşılanamayacak miktarda deformasyonlar oluşmaktadır. Bu aşırı deformasyonların önemli nedenlerinden biri kayacın türü ve geçirmiş olduğu metamorfizma-tektonizma sürecinden kaynaklanan davranışıdır. Tünel etrafındaki etkilenme zonu "gevşeme zonu" karşılaşılan kayacın zamanla plastikleşmesi-akmasına bağlı olarak dağın içine doğru giderek büyümektedir. Bu deformasyonları, mevcut tünel kazı ve sağlamlaştırma yöntemi içinde "önlenemeyen deformasyonlar" olarak değerlendirmek gerçekçi bir yaklaşımdır. Bunlar ayrıca üçüncü boyut etkisine bağlıdır. Nitekim, ayna ile tamamlanmış radye kapanımı (ring-halka) arasındaki mesafenin artmasına bağlı olarak tünel içindeki deformasyonların da hızla arttığı ve alınan sağlamlaştırma önlemlerinin yetersizleştiği kanıtlanmıştır (Şekil 2 ve Şekil 3). Bu durum, adım adım ve titizlikle yapılan konverjans ölçümlerinin zamana ve ilerleme mesafesine göre değerlendirilmesiyle, açık olarak görülmüştür. Yatay ve düşey konverjans ölçüm kayıtları incelendiğinde, düşey deformasyonların 1850 mm, yatay deformasyonların ise 1300 mm ye (km 6+717) ulaştığı görülmüştür. Ayrıca, elde bulunan konverjans ölçümleri zamana bağlı olarak değerlendirildiğinde, mevcut destekleme sistemi ile bu deformasyonların 100-150 gün içerisinde kararlı hale geldikleri anlaşılmaktadır. Bu süreler sonunda deformasyon hızları yaklaşık 2 mm/gün mertebesine düşmektedir. Çizelge 1 de sorunlu kesim içerisinde kalan bir bölgede bazı ölçüm kesitleri için deformasyon hızlarının 2 mm/gün'e ulaştığı süreler (tn) gün olarak verilmiştir. Diğer taraftan, kalıcı iç kaplama betonunun, ancak deformasyonların 10 mm/ay mertebesine inmesi durumunda yerleştirilmesinin uygun olacağı da bilinen bir diğer gerçek durumundadır. Sorunun hafifletilmesinde, tünel radyesi ve iç kaplamasının kazı aynasına olabildiğince yaklaştırılmasının etkin bir önlem olarak dikkate alınması gerekmektedir. Ancak, DLH adına sorunlu kesimle ilgili hazırlanan danışmanlık raporlarında dile getirilen bütün ısrarlı tutuma rağmen, tünel radyesi ve iç kaplaması, olması gereken şekilde kazı aynasına yeterince yaklaştırılamamıştır.

- Arazi koşulları ve ortamın niteliği dikkate alındığında, ikincil gerilme tahkikleri ve kaplama içi ve dokanak yüzeyi gerilme ölçümleri verilerine göre, tünelin iç kaplamasının da kısa sürede yerleştirilerek ön sağlamlaştırma elemanlarıyla birlikte çalıştırılabilmesi halinde, tünelde kalıcı stabilitenin daha küçük konverjanslarla sağlanabileceği anlaşılmıştır. Fakat bu durumda, iç kaplamanın pirizlenme süresince devam etmekte olan deformasyonlardan ve çevre kayacından kaynaklanan kabarma basınçlarından korunması gerekmektedir. Bu amaçla iç-dış kaplama arasına bir deformasyon yastığının yerleştirilmesi önerilmiş, öneri belirli bir kesimde uygulanmış ve bundan da olumlu sonuçlar alınmıştır (Şekil 4).
- Diğer taraftan yapımcı firma da değişik zamanlarda ve farklı kesimler için projeler hazırlayarak işveren "DLH Genel Müdürlüğü" ne sunmuştur. Bu projelerde; ring kapanıncaya kadar geçen süredeki önlenemeyen deformasyonları karşılayacak şekilde tünel kazı kesitinin arttırılması, sağlamlaştırma öge ve unsurlarının niteliklendirilmesi ve çoğaltılması, kaplama kalınlığının ve niteliğinin arttırılması, tünel tabanında kalın ters kemer kaplamanın yerleştirilmesine ilişkin, değişik öneriler geliştirmiş ve bunların büyük bir bölümü de onaylanarak uygulamaya konulmuştur. Ancak bu uygulamalarda, geliştirilen projelerden olumlu sonuçların alınmakta olduğu yeterince kanıtlanmaksızın, kazı çalışmaları daha ilerideki kesimlere kaydırılmıştır. Böylece projeler; kanımızca, açılmamış kesimlerdeki çalışmaları belirleyecek ve yönlendirecek yerde, açılmış kesimlerin sorunlarını çözmeye çalışan, onaylama projelerine dönüşmüştür. Ayrıca, suya karşı son

derece hassas olan grafit şist, klorit-kalk şistler içinde delme ve ankrajlamada kuru tekniklerin veya reçineli bağlayıcıların kullanılmasına ilişkin değerlendirmeler de uygulamaya sokulamamıştır.

- Ayaş Ağzındaki, bir türlü giderilemeyen sorunları incelemek veya bu sorunların anlaşılmasına ya da giderilmesine katkıda bulunmak üzere yerli ve yabancı uzmanların görüşlerine başvurulmuş, uzun ve ayrıntılı görüşme, tartışma ve değerlendirmeler yapılmıştır. Bunların sonucunda, önlem ve işlemler açısından bütünüyle uyum halinde olan, fakat tünel açım felsefesine ve dolayısıyla yöntem uygulamasında birbiriyle tümüyle çelişen iki farklı anlayış ortaya çıkmıştır.

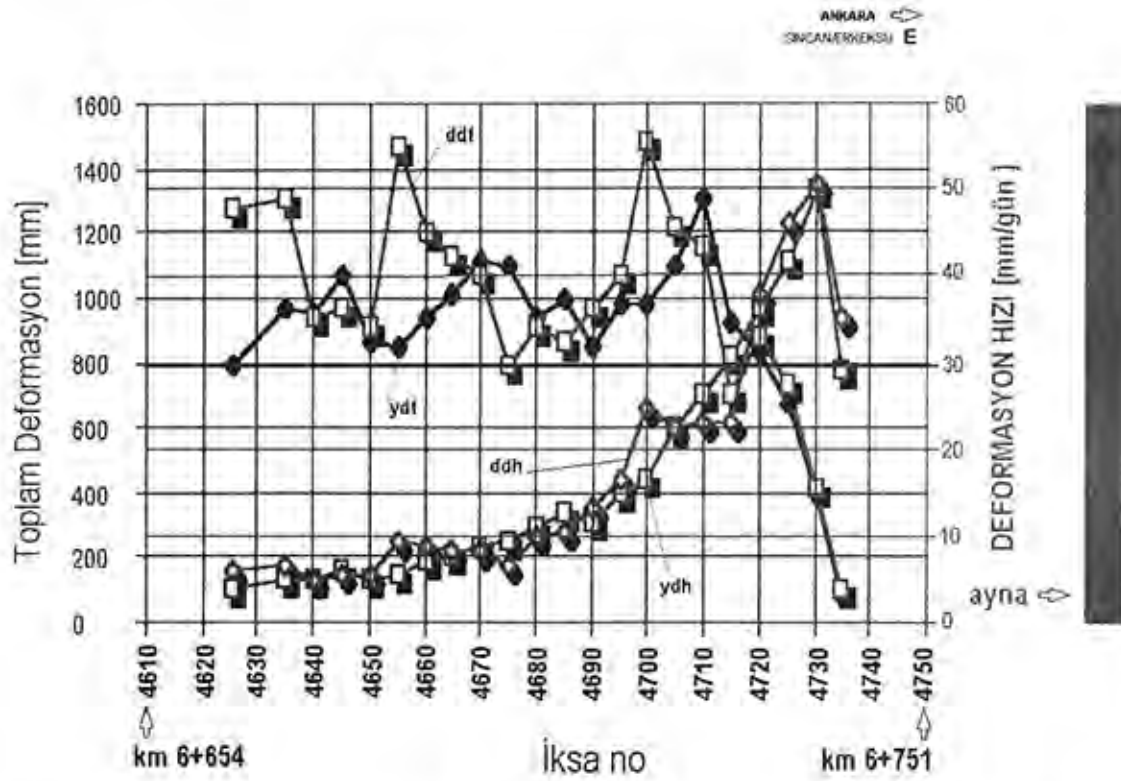


Şekil 2: Ayaş Tüneli, Ayaş Ağzında km 6+616 - km 6+736 arasında ölçülen toplam yatay ve düşey deformasyonların değişimi (Vardar 1994).

Buna göre:

1. "Ayaş tüneli Ayaş Ağzı ancak deformasyon kontrollü ve taramalı yöntemle açılabilir." Tünelde, gerilmelerin tümüyle boşalmasına kadar gerekli olan deformasyonlar için konverjansa izin vermek ve bunun gerektirdiği kadar tarama(lar) yapmak, zor jeolojik koşullarda kaçınılmazdır. Çünkü tünelin açıldığı her ortam psödoplastikleşmeler sonucunda oluşan kemerlenmelerle, deformasyonların ekonomiklik çerçevesinde durdurulmasına elverişlidir. Arın "ayna" nın radye kapanımından ve iç kaplamadan olan uzaklığının (kazı ve imalat ano boylarının) deformasyonlara olumsuz etkisi olamaz. Tekrarlanan taramalar, kayacın davranışına olumsuz yönde etkilemez, tam tersine psödoplastikleşmeyi yönlendirerek ve hızlandırarak deformasyonların durdurulmasına yardımcı olur. Bu nedenle tünel, mevcut yöntem ve koşullarda, ancak yer yer 3 m ye kadar

ulaşması beklenen konverjansın gerektirdiği **tekrarlamalı tarama** ile açılabilir (Daller 1993).



Şekil 3: Ayaş Ağzında km 6+654 – km 6+751 arasında ölçülen düşey ve yatay toplam deformasyonlar ile deformasyon hızlarının aynadan uzaklığa bağlı değişimi.

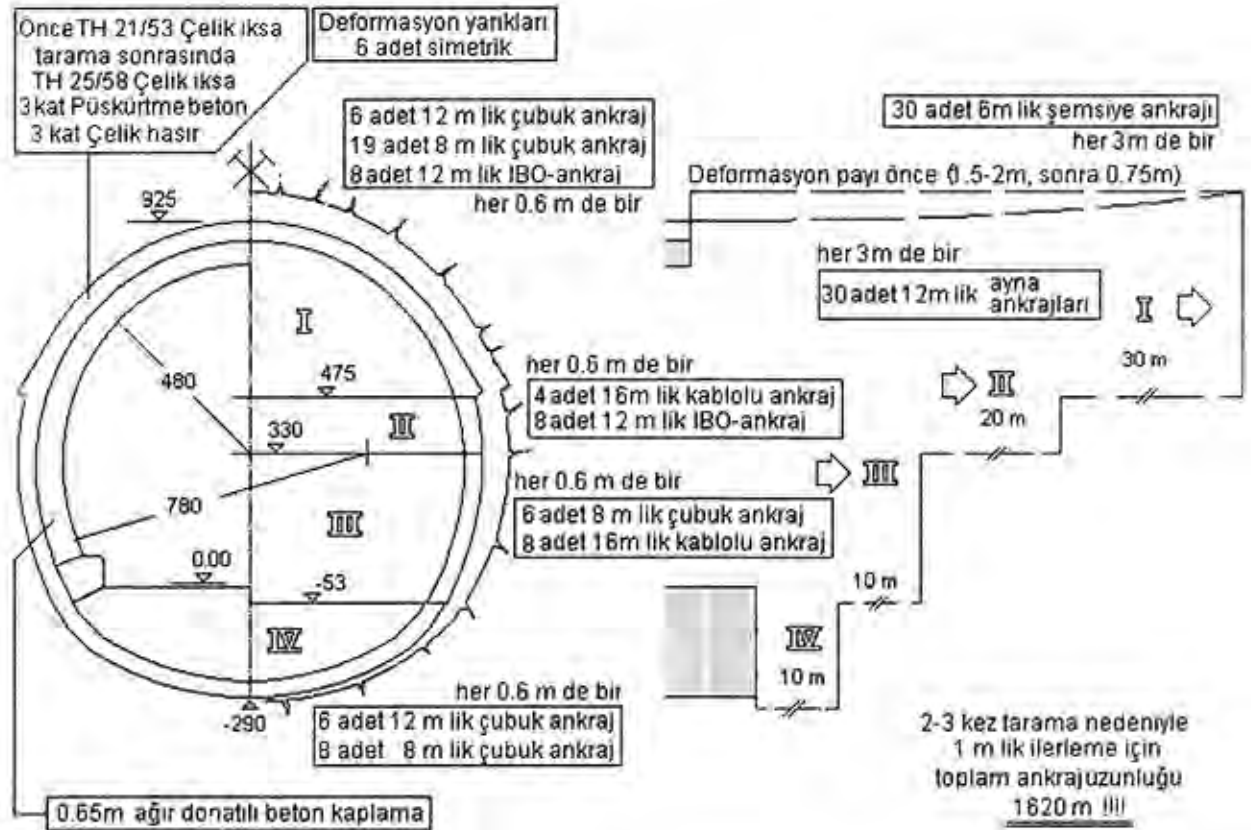
2. “Ayaş Tüneli Ayaş Ağzı deformasyon kontrollü taramasız yöntemle de açılabilir.” Tünelde arazi koşullarından kaynaklanan ve tünel açımının zorunlu kıldığı, kaçınılmaz önlem ve işlemlere bağımlı deformasyonlar vardır. Bunlar önlenemez. Tünelde radyal gerilmelerin olabildiğince azaltılabilmesi için deformasyonlara izin vermek gerekir. Ancak bu teknik deformasyonların makul (optimal) bir sınırı vardır ve bunlarla “deformasyon kontrollü açım teknikleri” kullanılarak başedilebilir. Bunun için kazı kesitinin bir miktar (önlenemeyen+teknik deformasyonlar) kadar artırılması gerekli ve yeterlidir. Teknik, “uygulamadan kaynaklanan” deformasyonların sınırlandırılması, önlemlerin uygun seçilmesinin yanı sıra ayna mesafesinin olabildiğince azaltılması ve iç kaplamanın radye kapanımını sağlayacak şekilde aynaya yaklaştırılmasıyla olur (Vardar 1994). Başka bir ifadeyle; deformasyonların denetimi; en kesitte önlemlerin uygun seçimi, ilerleme kesitinde ano boylarının ayarlanması ve işlemlerde sürenin olabildiğince kısa tutulmasıyla sağlanabilir.

Ayaş Ağzındaki sorunlu kesimde kayaç latent plastik davranış gösterdiğinden, en ekonomik çözüm, oluşan arazi basınçlarının bir bölümünün iç kaplamaya taşınmasıyla elde edilebilir. Tekrarlamalı tarama, kazı boşluğunu çevreleyen kayacın giderek hacminin artmasına, “fiziksel gevşemesine”, neden olur ve kayacın primer dayanımını sürekli azaltır. Dolayısıyla taramadan olabildiğince kaçınmak gerekir.

Ayaş Ağızı'nda km 6+560 ila 6+610 arasında onarım maksadıyla onaylanarak uygulanan projeden sonra, km 6+624 den km 6+712 ye kadar, deformasyon payının artırıldığı kazı kesiti, ters kemer betonu da niteliklendirilerek, sayısı artırılmış sağlamlaştırma elemanı ve konverjansı denetleyen kayar eklemli (kayıcı bağ) iksalar kullanılarak uygulanmıştır (Şekil 4). Bu projenin onaylanma mantığı yukarıda belirtilen 2 numaralı yaklaşımdır.

Bunların dışında, ayrıca, aynanın ilerletilmesinden önce tünel kazı kesiti etrafındaki potansiyel radyal deformasyonların bir kısmının açılacak bir yarık yardımıyla önceden aktif hale getirilmesi önerilmiştir (Kovari,1993). Önerilen yarıkların ise birbirini kesen 15 cm çapındaki deliklerin bir kemer şeklinde, kazılacak kesit etrafında, önceden açılması ile sağlanabileceği vurgulanmış, ancak bu öneri tüneldeki konverjansın sürekli ve çok büyük olması nedeniyle uygulamaya sokulmamıştır.

Ancak, uygulamada aynaya olan mesafe giderek artırılmış ve proje önlemler açısından farklılık göstermeyen, fakat ilerleme anolarının boyları, uygulama zamanı ve işlemleri açısından daha fazla birinci yaklaşıma uyan bir görünüm almıştır.



Şekil 4: Ayaş ağızındaki sorunlu kesimde km 6+560-km 6+610 arasında deformasyon payının bırakılması ve sağlamlaştırma elemanlarının niteliklendirilmesi esasına dayalı tünel açım yöntemi(Vardar 1994).

Deformasyonların önlenemez oluşu, önce önlemlerin yeniden gözden geçirilmesini gerektirmiş ve bu amaçla km 6+712 deki 4594 nolu üst yarı iksasından itibaren çan kesitli, kayar bağli TH 21/58 profillerin ve 4648-4649 nolu iksalar arsından, sonra da

kablolu ankrajların kullanıldığı modifiye proje uygulanmıştır. Bu arada, 4695 ve 4706 nolu iksalar arasına kendidelen (İBO) ankrajlar yerleştirilerek etkinlikleri araştırılmıştır.

Ankraj ve blon kafalarına yerleştirilen yük ölçerlerden yapılan nihai okumalar dikkate alındığında, bunların büyük çoğunluğunun zamanla, teknik işlevlerini yitirdikleri anlaşılmıştır. Bütün bu önlem ve çabalara rağmen, tarama gerektiren konverjansın önü, mevcut ilerleme şekliyle alınamamıştır.

Çizelge 1: Ayaş Tüneli Ayaş Ağzındaki bazı ölçüm kesitleri için hesaplanan deformasyon hızlarının 2 mm/gün'e düşmesi için geçen süreler.

<u>Kilometre</u>	<u>tn (gün)</u>
6+717	105
6+700	110
6+680	120
6+649	150
6+640	145

Erkeksu Ağzı

Erkeksu Ağzındaki sorun, teknik açıdan Ayaş Ağzındakine benzer olmasına rağmen jeomekanik açıdan tümüyle farklıdır. Buradaki temel problem, teknik açıdan Ayaş ağzındakine benzer olan aşırı konverjanslardır. Sorun girişten itibaren geçilen volkanik kayalarla ayrık kayaların yapısal, "faylı", dokanak oluşturduğu noktadan itibaren (Erkeksu Ağzından itibaren km 0+770) başlamıştır. Akyatak formasyonu içerisindeki, ayrık kayaç niteliği gösteren suya doygun kil, silt, kum ve çakıl boyutundaki malzemenin Ocak 1985 tarihinde tünel içerisine akmasıyla birlikte başlayan kayacın kendisini tutamaması sorunu, henüz tam olarak aşılamamıştır (Şekil 5).

Sorunla karşılaşıldığında uygulanan dörtlü galeri yöntemi, belirtilen zemin güçlükleri nedeniyle başarılı olamamış, müteahhit firma tarafından çok galerili "multi drift" sistem olarak bilinen yöntemin uygulanmasına geçilmiştir. Bu arada anılan sistemin ilk aşaması olan araştırma galerisinin açımına başlanmıştır. 2.20x 0.90 m boyutlu, tam rijit galerinin aynası 19.61 metrede iken, 21 Ocak 1985 tarihinde, yüksek basınçlı su ve beraberinde zemin akmasıyla karşılaşılmış ve yaklaşık 150-200 m³ hacmindeki akıcı zemin tünel içine dolarak, tünel çalışmalarının tamamen durdurulmasına neden olmuştur (Yüzer ve Diğ. 1989).

Bu tarihlerde başlatılan araştırma çalışmalarında ilk hedef, göçüğün olduğu bölgenin özelliklerinin belirlenmesine yöneliktir. Bu araştırmalar sırasında yüzeyden ve tünel içerisinde açılan değişik uzunluk ve konumdaki sondajlarda gözlem ve deneyler yapılmış, sorunun boyutu eksen istikametinde irdelenmiştir. Ayrıca yeraltısuyunun ortamdaki uzaklaştırılması amacıyla tünelin sağ ve solunda iki adet 20 şer metrelik drenaj galerisi açılmıştır. Sorunun ortaya çıktığı km deki tünel aynasında araştırma ve drenaj amaçlı olmak üzere toplam boyları 370 metre ve değişik konumlara sahip 7

adet tünel içi sondajı açılmıştır. Ayrıca yeraltısuyunun ortamdan uzaklaştırılması ve sorunlu kesimin durumunu tesbit etmek üzere, güzergahın bu kesiminde yüzeyden derinlikleri 140 ila 150 metre arasında değişen 5 adet sondaj daha açılmıştır.

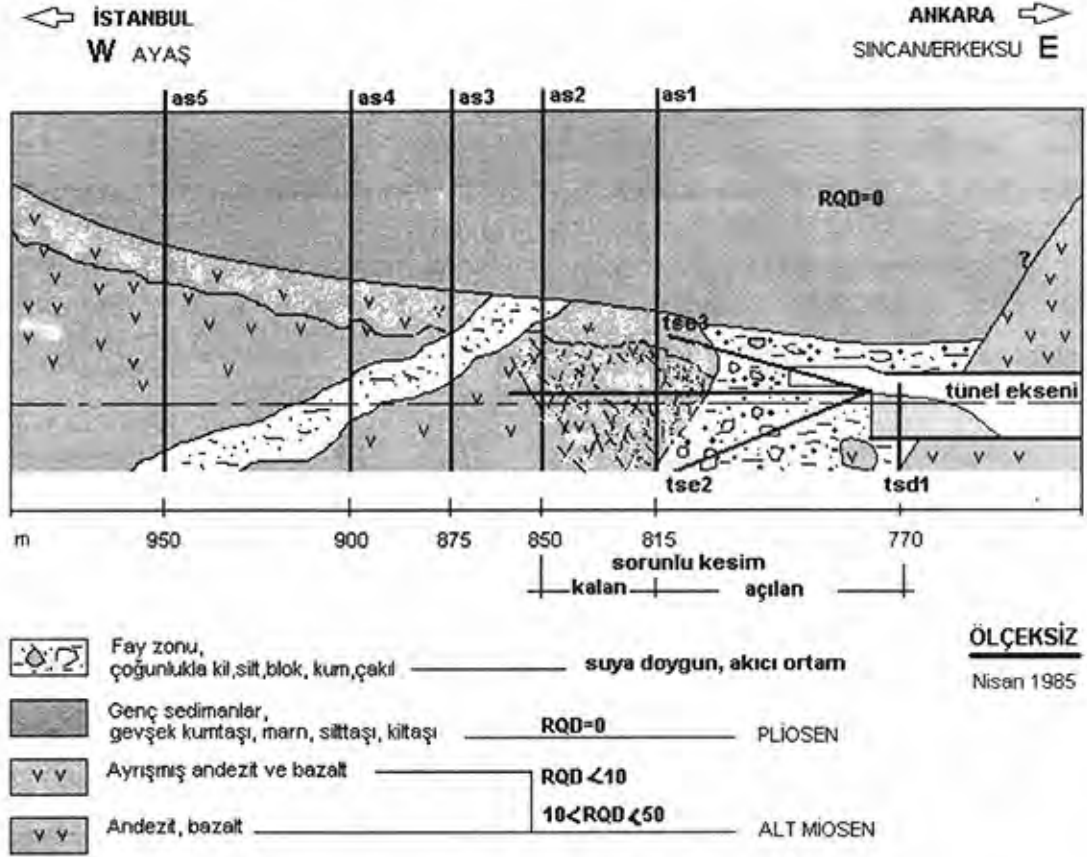
Çizelge 2: Ayaş Tüneli Erkeksu Ağzında ölçülen yatay ve düşey deformasyonların zamana bağlı değişim ve dağılımı.

Km	Toplam Deformasyon [mm]		Zaman [gün]	Ortalama Hız [mm/gün]	
	Yatay	Düşey		Yatay	Düşey
0+772	196	143	100	1.96	1.43
774	186	269	98	1.89	2.74
774.2	275	279	96	2.86	2.90
775.4	363	289	95	3.82	3.04
776.4	438	303	94	4.65	3.22
777.4	452	295	93	4.86	3.17
778.3	-	307	92	-	3.33
780	1006	301	73	13.78	4.11
781.1	972	302	72	13.50	4.19
781.9	667	313	71	9.39	4.40
782.8	1058	135	68	15.55	1.98
783.7	659	294	67	9.83	4.38
784.9	402	250	66	6.09	3.78
785.7	457	207	57	8.01	3.63
786.5	457	274	56	8.16	4.89
787.6	224	176	56	4.00	3.14
788.6	298	137	54	5.52	2.53
789.6	99	139	54	1.83	2.57

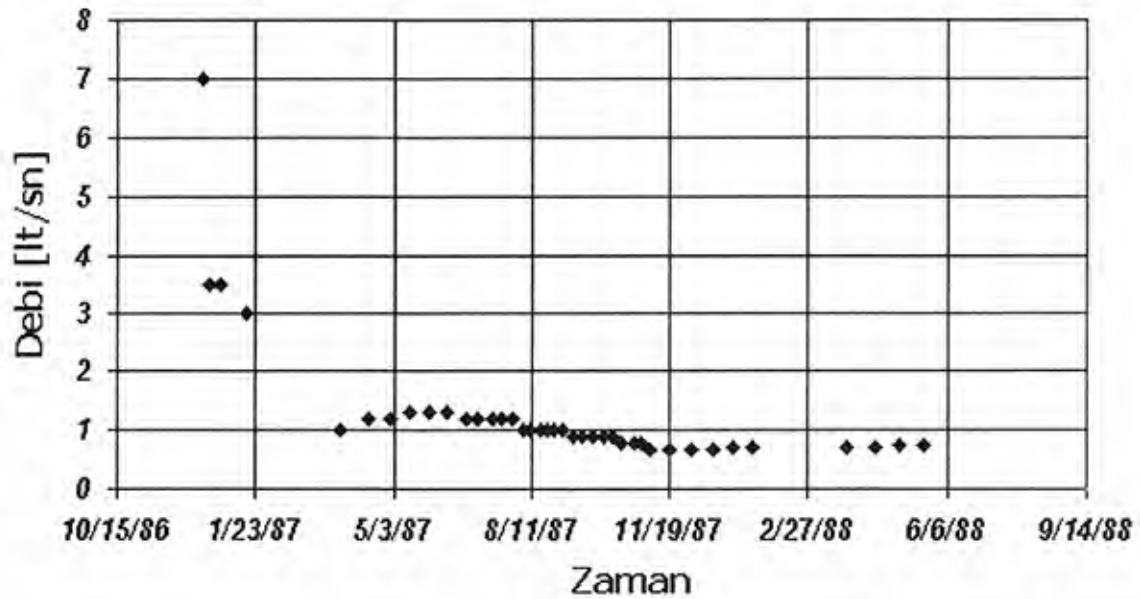
Şekil 6 da, bölgedeki yeraltısuyunun durumunu belirlemek amacıyla tünel içerisinde eksene paralel açılmış olan TSY-4 sondajında ölçülen debi değişimi zamana bağlı olarak verilmiştir. Ancak aynı amaçla, aynı tarihlerde tünel içerisinde açılan sondajların bazılarında hiç su geliri olmamıştır. Buna örnek olarak, baş yukarı 30° eğimle açılan TSE-3 nolu sondajı verilebilir. Bu durum, göçüğün olduğu kesimde karşılaşılan ayrık kayaç ortamının hidrojeolojik açıdan ne kadar heterojen olduğunun bir kanıtıdır. Kuyu debisindeki ani düşüş, drenaj öncesi bölgedeki mevcut yeraltısuyunun belirli bir basınç altında bulunduğunu göstermektedir.

Erkeksu Ağzındaki akıcı nitelikteki kil, silt, kum türündeki ayrık kayaçlarda rastlanan bu sorun tünel kazı ve sağlamlaştırma yönteminde değişiklik yapılmasını zorunlu hale getirmiştir. Bunun sonucu olarak da kazı öncesi açılacak ortamı daha güvenli hale

getirmeyi amaçlayan, aynanın ilerisine ve kazı gabarisi dışına doğru 10-20° eğimli, aynayı tamamen çevreleyen, çift sıra jet-grout kazıklarından oluşan bir ön-sağlamlaştırma, iyileştirme yöntemi seçilmiştir.



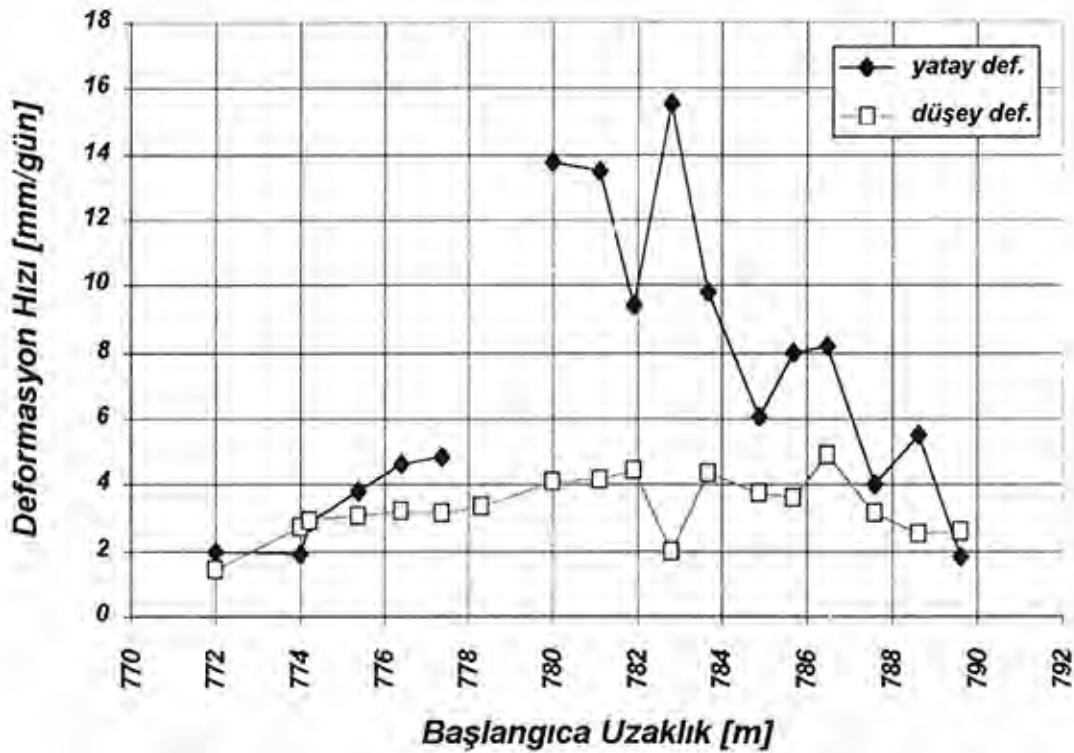
Şekil 5: Ayaş Tüneli, Erkesu Ağzındaki sorunlu "faylı" kesimin jeolojik kesiti



Şekil 6: Erkesu Ağzında aynada çamur akmasını takiben drenaj amaçlı açılan yatay TSE 4 sondajından gelen suyun debisindeki zamana bağlı değişim.

Bu yöntemle kazı aynasının üst kısmının, kazı öncesi yapılan çift sıra jet-grout kazıklarıyla, “koruyucu şemsiye”, korunması amaçlanmıştır. Erkeksu Ağzında, Jet-grout şemsiye uygulaması, değişik şekillerde modifiye edilerek son ana kadar uygulanmıştır. Aynı uygulama daha sonraları topukların desteklenmesinde de kullanılmıştır.

Bu uygulamalardan elde edilen bilgi ve tecrübelerin ışığı altında, jet-grout uygulama tekniği bir çok kez modife edilmiş, ancak, istenmeyen deformasyonlar durdurulamamış ve kazı gabarisinde düşey ve yatay deformasyonlara bağlı daralmalar oluşmuştur (Çizelge 2). Bu teknikle yaklaşık on yıldan beri, Erkeksu ağzında iç kaplamada yapılabilen ilerleme miktarı, yalnızca 35 m dir. Tünelin bu kesiminde karşılaşılan düşey ve yatay ortalama deformasyon hızları Şekil 7 de verilmiştir.



Şekil 7: Erkeksu Ağzının sorunlu kesiminde ölçülen yatay ve düşey ortalama günlük deformasyon miktarları

Sonuçlar

Ayaş tüneline karşılaşılan problemlerin tanımlanmasına yönelik olarak bugüne kadar yapılan çalışmalar, tünelin kalan kısmının açılması ile ilgili proje ve işlemlere yön verebilecek düzeyde ve ayrıntıdadır. Jeomekanik açıdan, tünelin sorunlu kesimlerinde karşılaşılan ortam niteliklerinin problemin esas nedeni olduğu açıktır. Bunun sonucu olarak ortaya çıkan aşırı konverjanslar dünyada örneğine az rastlanır büyüklüktedir. Ayaş ağzındaki sorunlu kesimde kalıcı, “rezidüel”, gerilmelerin, kazı sonrası boşluk etrafında oluşan sekonder gerilme durumunun da etkisiyle, kayaç dayanımını aştığı bilinmektedir. Ayrıca, buradaki aşırı konverjansın, diğer bir nedeni de kayanın türünden kaynaklanan kabarmalardır. Bölgedeki metamorfik kayaçların jeo-tektonik

evriminden kaynaklanan kalıcı gerilmelerin kazı sonrasında zamana bağlı boşalması sonucunda oluşan kabarmalar, kemer betonun tamamlandığı kesimlerde, tünel tabanı radye betonunda, belirli bir süre sonra hasarların oluşmasına neden olabilmektedir. Bu durum, ters kemer betonunun olabildiğince kalın tutulmasına rağmen, tünelin sınırlı kesimlerinde, kalıcı stabilite sorununun aşilamadığı anlamında yorumlanabilir.

Kaynaklar

- Daller. J., (1993), Ayaş Tunnel, Final Technical Report on Tunnelling in Graphitic Schist, Geoconsult, Vienna
- Kovari. K., (1993), Ayas Tunnel, Final Report on Site Visit, Zurich
- Vardar. M., Yüzer. E., (1994), Ayaş Tüneli Erkeksu ve Ayaş Kısımındaki Problemler Hakkında Görüş ve Değerlendirmeler, İTÜ Maden Fakültesi, İstanbul.
- Weiss. E. H., (1978), Baugeologischer Langenschnitt Prognose Für Den Eisenbahntunnel, Sincan-Ayaş
- Yüzer. E., Vardar. M. ve Durgunoğlu. T., (1989), Arifiye-Sincan Çift Hat Demiryolu, Ayaş Tüneli Jeoteknik Etüdü ve Sorunlu Kesim Geçiş Projesi, İTÜ Maden Fakültesi, İstanbul

İSTANBUL METROSUNDA GEÇİLEN KAYAÇLARIN YERALTI KAZILARI AÇISINDAN YORUMU

EVALUATION OF ROCKS FOR UNDERGROUND EXCAVATION ALONG THE SUBWAY ROUTE OF İSTANBUL

Uzm. Jeo.Yük. İsmail ERİŞ

İTÜ Maden Fakültesi Uygulamalı Jeoloji Anabilim Dalı Maslak İstanbul

Öz

İstanbul metrosu, Haliç ve Boğaz atık su kollektörleri güzergahı fizibilite ve kazı çalışmaları sırasında elde edilmiş, temel kayanın çeşitli litolojilerine ait çok sayıda laboratuvar ve arazi deneyi sonuçları bulunmaktadır. Bu deneylerin büyük bir kısmı kanalizasyon ve metro tünelleri güzergahlarında yapılmış sondajlardan elde edilen karot örnekleri üzerinde gerçekleştirilmiştir. Bunlar, ortamın **malzeme özelliklerini** yansıtan **endeks, dayanım ve deformasyon** karakteristikleri ile kuyu ve galeri içinde yapılan deneysel çalışmalardan elde edilen **kaya kütlelerinin deformasyonuna ve davranışına** ait verilerden oluşmaktadır. Bu çalışmada, ortamın davranışı, karşılaşılan sorunlar ve bunların **litoloji ve süreksizlik özellikleri** ile ilişkileri incelenmiştir.

Abstract

There are numerous laboratory and in-situ tests on the different lithologies of the main rocks along the İstanbul subway route, which have been performed during feasibility studies and excavations. Most of the tests were performed on core samples obtained from the drillings on the route. These tests comprise index properties, strength characteristics of the material. Some experimental studies were carried out at underground excavations to obtain rock mass deformation and data. In this research, the behaviour of the rock mass during excavation and supporting procedures related to lithology and discontinuity properties has been investigated by associating data with engineering geological data.

Jeoloji

Güzergah boyunca temel kaya, Trakya formasyonu olarak bilinen kumtaşı, çamurtaşı, kiltası, silttaşı ve çakıltası mercekli, türbiditik istiften oluşmaktadır. (Baykal, F.; Kaya, O., 1963) ve (Önalın, M. 1988) tarafından yapılmış çalışmalarda birimin Karbonifer-Vizyeyen yaşında olduğu belirtilmektedir.

Avrupa yakasında geniş alanlarda yüzeylenen ve İstanbul Paleozoyik'inin en üst kesimini oluşturan birim, kireçtaşı mercekli, fosfat yumruları içeren, çört tabakaları ile başlamakta, bunun üzerine ardalanmalı olarak kiltası, kumtaşı, türbiditik kumtaşı, şeyl ve çamurtaşından oluşan klastik kalın bir istif gelmektedir. Türbiditik çökel niteliği taşıyan istifin, taze kumtaşı düzeyleri açık gri, açık yeşil, renklidir. Hava ile temas eden yüzeyleri, hızla ayrışarak açık kahve, kirli sarı, bir renk almaktadır. İnce tabakalı ve kalın laminealı koyu gri, siyah renkli şeyl katmanlarını oluşturan kil, kaollinit ve illit türündedir. Bazı kumtaşı düzeylerinde izlenen alt paralel laminasyon zonunda, çökelme sırasında dip akıntıları ile oluşmuş, küçük ölçekli devrik kıvrımlar gözlenmektedir. Tabanı izlenemeyen formasyonun kalınlığı 2000m. den fazla tahmin edilmektedir.

Formasyonun kumtaşı katmanlarına ait ince kesitlerinde, yaklaşık %70-80 oranında kırıntılı malzeme, %20-30 oranında matriks içerdikleri görülmüştür. Kırıntılı malzeme farklı boyutlarda olup küt köşeli ve yarı yuvarlak eliptiktir.

Bileşiminde

%25 - 30 kuvars (çoğun metamorfik)

%10 - 15 mika (muskovit, biyotit)

% 8 - 10 sedimanter kayaç parçası (çamurtaşı)

%10 - 15 metamorfik kökenli yabancı kayaç (mikafillit ve şist)

%30 - 45 feldspat

ve yaklaşık %5 oranında FeO bulunmaktadır.

Bazı örneklerde yabancı kayaç oranı %50 ye yaklaşmıştır. Bu özellikleri ile kumtaşları, feldispatik-litik grovak yer yer subgrovak niteliği göstermektedir.

Şeyller ve çamurtaşlarının ince kesitlerinde, bol miktarda kil ile %25-30 civarında küt köşeli, silt boyutlu kuvars kırıntıları ve %1-2 civarında gelişigüzel dağılmış ince kum boyutlu kuvars taneleri görülmektedir. Fay zonlarına ve magmatik kökenli dayklara yakın yerlerden alınmış olan örneklerin ince kesitlerinde metamorfizma izlerine de rastlanmaktadır.

Tektonik durum

Ordovisiyen başlarından Erken Karbonifer'e kadar olan dönemde, çekme gerilmelerinin etkisinde kalarak sürekli derinleşen havzanın, Geç Vizeyen sonrası sıkışma rejiminin etkisiyle kapanmaya ve Pasifik tipi aktif kıta kenarı koşullarına bürünmeğe başladığı, Trakya formasyonunun çökelmiş olması ile anlaşılmaktadır (Seymen 1995). Bu dönemde Sancaktepe, Çavuşbaşı, Gebze-Tavşanlı asit derinlik sokulumları ile magmatik yayı evrimleştiren okyanusal kabuğun kapanması sırasında oluşan deformasyonlar, eksenleri K-G uzanımlı kıvrımlar ve bindirmeler sonucu bölge, Hersiniyen dağ silsilesi (Okay ve diğ.1994) içindeki yerini almıştır. Magmatik yayım evrimini tamamlamasından sonra, ikinci kez deformasyon geçiren bölge, önceki kıvrımlarla eşlenik ekay tektoniği kazanmıştır. Bu iki evreli kıvrımlanma nedeniyle, dom ve küvet yapıları oluşmuştur.

Permiyen dönemindeki aşınma sürecinden sonra bölge, Liyas öncesinde K-G kabuk sıkışmasından etkilenmiş, D-B eksen gidişli kıvrımlar meydana gelmiştir. Bu yapılar bir bakıma Kimmeriye orojenezinin (Şengör ve Yılmaz, 1981) kenar kıvrımları niteliğindedir.

Geç Eosen döneminde Sarıyer, Şile, Ağva yöresinde yer alan, Kretase yaşlı kalk-alkali karakterli volkaniklerin üzerine, K-G yönlü Alpin tipi orojenik hareketlerle Paleozoyik temelin itilmesi, eksenleri D-B uzanımlı kıvrımları ve yeni fay sistemlerini meydana getirmiş, İstanbul Paleozoyik temele, bu günkü karmaşık yapısal özelliklerini kazandırmıştır.

Magmatik Aktivite

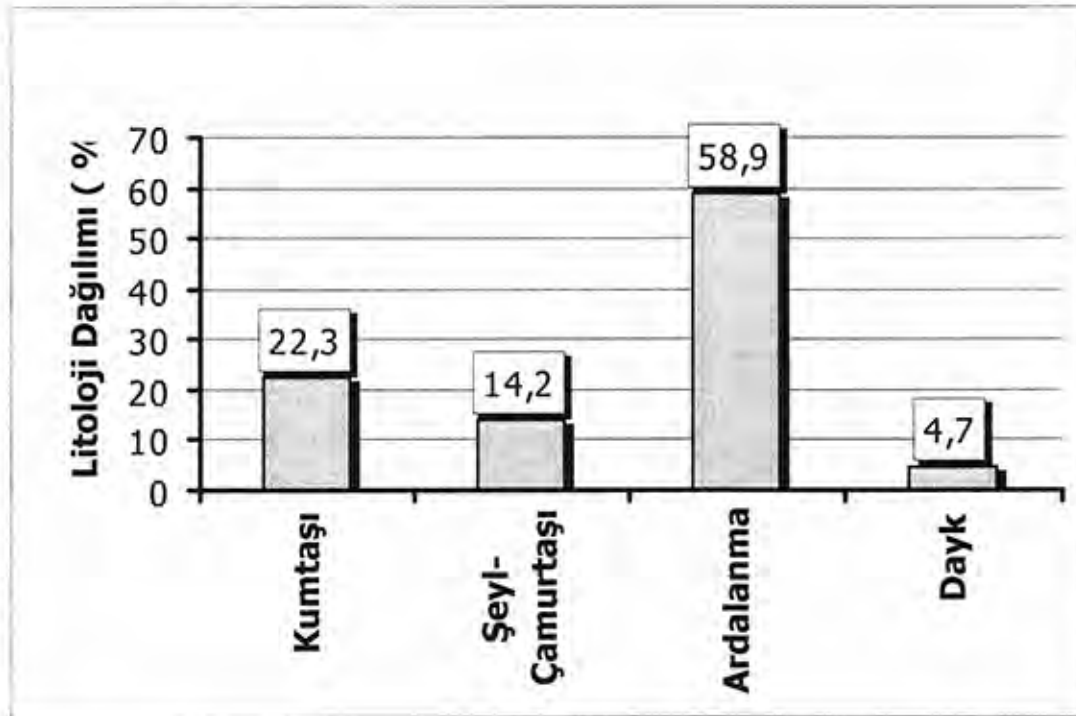
İstanbul metro güzergahının Taksim-Levent kesiminde açılan tünellerde ve istasyon kazılarında Trakya formasyonunu kesen andezit ve diyabaz daykları, bir kaç cm. ile 120m. arasında değişen kalınlığa sahiptir. Magmatik kökenli olan bu damar kayaçları, Alpin tipi hareketler sırasında Üst Kretase volkanizması sonucu oluşmuşlardır. Heterojen bir mineralojik bileşim ve doku gösteren bu daykların çoğu ileri derecede ayrılmıştır. Zincirlikuyu ile Levent arasındaki tünelli kesimde 120m. den daha kalın diyabaz-mikrogabro bileşimli bir magmatik sokulumu rastlanmıştır Aynı kayaç, Levent'teki Demirbank binasının temel kazısında da

görülmektedir. Andezit ve diyabaz daykları, Paleozoyik temel kayalar içerisinde %4-5 lik bir hacimsal orana sahiptir.

Litoloji Dağılımı ve Süreksizlik Özellikleri

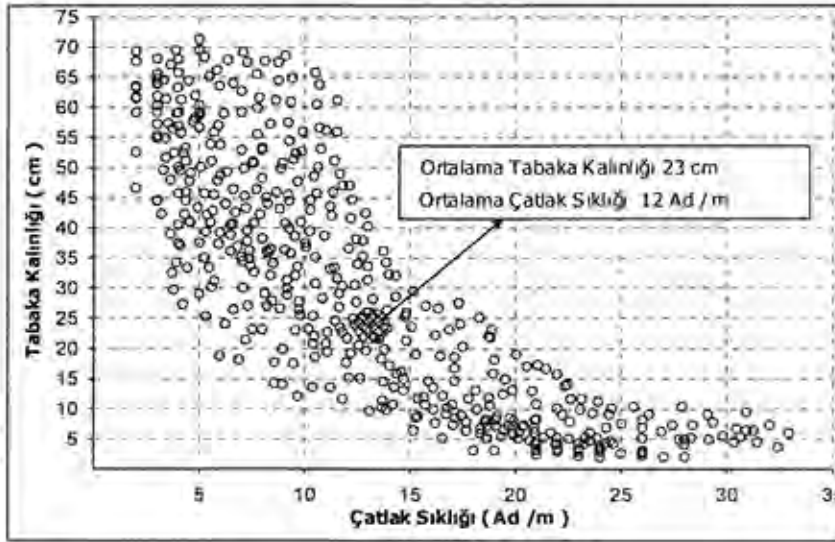
Taksim-4, Levent arasında yer alan metro tünellerinin kazı çalışmaları sırasında geçilen litolojik birimler, ortalama 1.5m aralıklarla çizilmiş olan tünel enkesitleri yardımı ile değerlendirilmiş ve toplam kazı boyuna oranlanarak % dağılımları bulunmuştur (Şekil1). Buna göre geçilen formasyonun yaklaşık %60 ı kumtaşı-şeyl, çamurtaşı ardalanmasından % 22 si salt kumtaşı, %14 ü ise çamurtaşı-şeyl tabakalarından oluşmaktadır. Andezit ve diyabaz bileşimli magmatik daykların kazı ortamındaki payı %4,7 dir.

Formasyonun kazı düzeyindeki kesimleri, ayrışmanın etkisi ile yer yer elle ufalanabilecek kadar dayanım kayıplarına uğramıştır. Bu karakteri ile Trakya formasyonu, çeşitli mühendislik uygulamaları bakımından, özel olarak incelenmesi gereken bir kaya ortamıdır.



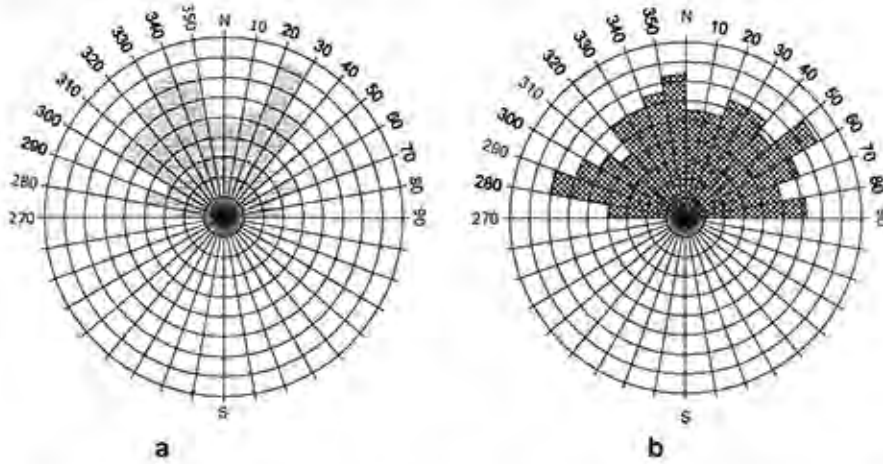
Şekil 1- Trakya formasyonunun metro düzeyinde geçilen litolojileri ve % dağılımı

Tünel kazı aynalarında tabaka kalınlığı ve süreksizlik yoğunluğu ölçümleri birlikte değerlendirildiğinde tabaka kalınlıklarının 2cm ile 70cm arasında değiştiği, ortalama tabaka kalınlığının ise 23cm olduğu görülmektedir. Çatlak sıklığı tabaka kalınlığına bağlı değişmekte, tabaka kalınlığı arttıkça çatlak sıklığı azalmaktadır (Şekil2). Bu durumda doğal olarak kalın tabakalı kesimlerde kaya kalitesi iyileşmektedir.



Şekil 2- Metro düzeyinde Trakya formasyonunun tabaka kalınlığı-çatlak sıklığı ilişkisi

Metro istasyon kazılarında 73, tünellerde 124 olmak üzere, toplam 197 adet fay belirlenmiştir. Bu fayların istatistik değerlendirmesinde, farklı doğrultuda uzanan iki sistemin geliştiği görülmektedir (Şekil3a). Bunlardan biri N10-60W, diğeri N10-40E doğrultuludur. İki ana fay sistemi arasındaki ortalama açılar 20^0 ve 100^0 dir. Bunların 27 tanesi, eğim açıları 10^0 - 35^0 arasında yoğunlaşan ters faylardan oluşmaktadır. Fay zonu kalınlıkları bir kaç 10cm. ile 30m. arasında değişmektedir. Fay hatları, Alpin tipi orojenik hareketlerle yer yer kıvrılmış, oluşan dom ve küvet yapılarına uyumlanarak terslenmiştir.



Şekil 3 – Metro kazılarında Ölçülen ikincil süreksizliklerin doğrultuları. (a) Fay doğrultuları; (b) Sistematik çatlak doğrultuları

Formasyon, en az 3 farklı doğrultuda gelişmiş sistematik eklem takımının yanısıra, düzensiz çatlak sistemleri de içermektedir (Şekil3b). Çatlak araları 5-6cm ile 20-70 cm arasında yoğunlaşmaktadır. Çatlak yüzeylerinin genellikle düzlemsel ve kil sıvalı olması nedeniyle, birim kaya elemanları arasındaki sürtünme direnci çok düşük olmaktadır. Sondajlarda ve tünellerde hesaplanan RQD değerleri % 0-40 arasında yoğunlaşmakta, nadiren % 65-70'e kadar ulaşmaktadır. Kaya malzemesi, hava ve su ile temas ettiğinde parçalanarak kısa sürede zemine dönüşmektedir. Bu nedenle, kazı yüzeylerinin hava ile teması kısa sürelerde engellenmelidir.

Kazı yüzeylerinin açıkta bırakılması halinde, zamanla şev stabilitesi problemleri ile karşılaşmaktadır.

Yeraltısuyu ve Gaz Durumu

Araştırma sondajlarında yapılan basınçlı su testlerine göre formasyona ait permeabilite değerleri ($K=10^{-5}$ - 10^{-8} cm/sn) arasında değişmektedir. Bu sonuçlar, ortamın geçirimsiz olduğunu göstermektedir. Ancak, su temini amaçlı açılmış olan sondajlarda fay zonlarından 15-20 ton/gün su alınabilmektedir. Osmanlı dönemine ait su iletim kanallarından ve mevcut şebeke kaçaklarından beslenen kaya ortamı, yeraltı kazı çalışmaları sırasında yer yer stabilize sorunları yaratmaktadır. Ortalama 20m derinlikteki tünel kazılarında yeraltısuyu sızıntı ve damlama şeklinde kendini belli etmektedir. Eski su iletim kanallarından ve mevcut şebeke kaçaklarından dolayı zaman zaman akış halindeki yeraltısuyu ile karşılaşmaktadır.

Benzin istasyonlarından ve oto tamirhanelerinden atılan, petrol türevli yağlar ve benzeri akışkanlar yağmur ve atık sularla yeraltına sızmaktadır. Yüzeye yakın derinliklerdeki yapay boşluklarda zamanla biriken bu gazlar, kazı sırasında yangınlara neden olabilmektedir. Metro tünel kazılarında bu tür sorunlarla karşılaşmıştır.

Jeomekanik Özellikler

Trakya formasyonunun çeşitli litolojilerine ait çok sayıda laboratuvar ve arazi deneyleri gruplandırılarak Çizelge1’de bir araya getirilmiştir. Bu deneylerin büyük bir kısmı kanalizasyon ve metro tünelleri sondajlarından elde edilen karotlar üzerinde gerçekleştirilmiştir. Ayrıca kuyu ve galeri içinde yapılan deneysel çalışmalarla kaya kütlelerinin davranışı ve deformasyon özellikleri araştırılmıştır.

Çizelge1.Trakya formasyonunun farklı litolojilerine tek eksenli basınç direnci deneyi sonuçları

Litoloji	Basınç Direnci (Mpa)	E . Modülü (Gpa)	Deney Sayısı
Kumtaşı	42 - 67	8.62 - 9.00	82
Çamurtaşı	15 - 36	2.85 - 4.60	69
Kiltaşı	21 - 54.5	4.37 - 6.25	148

Kumtaşlarının basınç dirençlerinin, kilttaşları ve çamurtaşlarına oranla oldukça yüksek değerlere sahip oldukları görülmektedir (Çizelge1). Kiltası ve çamurtaşlarının basınç dayanımlarında taşın tabakalanma durumuna göre, önemli farklılıklar ortaya çıkmaktadır. Tabakalanmanın iyi geliştiği deney örneklerinde normal gerilme ile tabaka eğimi arasındaki açı 30-55 derece olduğunda, en düşük dayanım değerleri elde edilmektedir. Bu durumda kırılma, tabaka düzlemleri boyunca gerçekleşmektedir. Ayrışmış olan örneklerde %80’den fazla dayanım kayıpları olduğu belirlenmiştir.

Tünel düzeyi kayaçlarının jeomekanik özelliklerini belirlemek amacıyla, Taksim parkında 20m derinlikte açılan 40m uzunluğundaki araştırma galerisinde ve galeri üzerinde kalan örtü kayacında yapılan yerinde (*in -situ*) deneylerde ortamın deformasyon modülü ve pressiometrik modülü araştırılmış, elde edilen sonuçlar, Çizelge2 ve Çizelge3’de bir araya getirilmiştir. Çizelge2’de kaya ortamının deformasyon modülünün 367.5-3787 Mpa arasında değiştiği görülmektedir. Değişik litolojilerin deformasyon modülü değerlerinde de önemli farklar bulunmaktadır. Bu durum, projelendirme aşamasında kaya ortamın modellenmesindeki güçlükleri ortaya koymaktadır.

Taksim araştırma galerisi üstündeki kuyularda gerçekleştirilen pressiometre deneylerinde, 17.4-246 Mpa arasında değişen pressiometrik modül değerleri bulunmuştur (Çizelge3). Elde edilen sonuçlar, Çizelge2'deki deformasyon modülü değerleri ile kıyaslandığında benzer heterojenliğin, örtü kayacı için de geçerli olduğu sonucuna varılmaktadır.

Çizelge2- Taksim araştırma galerisinde elde edilen deformasyon modülleri

Deney No	Litoloji	Deformasyon Modülü (Mpa)	Max. Basınç (Mpa)
1	Kumtaşı	639.6 - 1449	30
2	Kumtaşı	2416.9 - 2630	30
3	Kiltaşı	2535.7 - 3787.2	30
4	Kumtaşı	627.6 - 1275.7	30
5	Kiltaşı-Kumtaşı	513.7 - 1594.6	30
6	Kumtaşı	623.1 - 1022.3	30
7	Kumtaşı	367.5 - 606.7	35
8	Kiltaşı-Kumtaşı	1926.7 - 2548.9	21

Çizelge3- Taksim araştırma galerisi sondajlarında gerçekleştirilen pressiometre deney sonuçları

Sondaj No	Derinlik (m)	Pressiometrik Modülü (Mpa)	Limit Basınç (Mpa)
S -10	20	26,3 - 182,6	2,41 - 5,74
S -11	20	17,4 - 198,2	1,42-4.81
S -12	18.5	113,9 - 219,9	3,52- 5.05
S -13	28.5	60,2 - 246,0	2,62- 5.85

Kaya Kalitesi

Metro tünellerinin ortalama 1.5m aralıklı kazı aynalarında kaya kalitesi parametreleri belirlenerek ortamın 20m derinlikteki kaya kaliteleri bulunmuştur (Şekil 4). Buna göre kaya ortamın RMR değerleri 10-50, Q değerleri ise 0.1-3 arasında değişmektedir (Barton,1974; Bieniawski,1974). Bu değerler, orta ve kötü kaya sınıflarını temsil etmektedir.

Taşın tek eksenli basınç direnci ile kaya kütle oranı (RMR) değerleri, aşağıdaki bağıntıda yerlerine konarak, kaya ortamın hesaplanan eksenel dayanımları Şekil4'te verilmiştir (Hoek, 1983; Hoek ve Brown, 1988). Buna göre, kaya ortamın eksenel yüklenmesi durumunda hesaplanan taşıma kapasitesi 0.02-1MPa arasında değişmektedir.

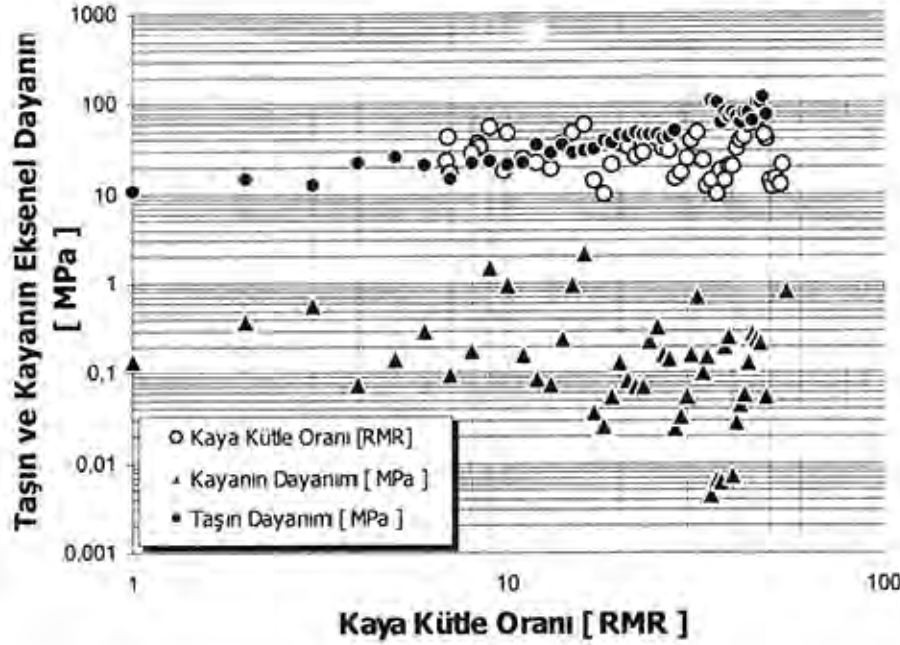
$$\sigma_k = (s \sigma_{taş}^2)^{0.5}$$

Burada:

σ_k = Kayanın tek eksenli basınç dayanımı,

$\sigma_{taş}$ = Taşın tek eksenli basınç direnci,

s = RMR kaya sınıfına bağlı ampirik katsayıdır.

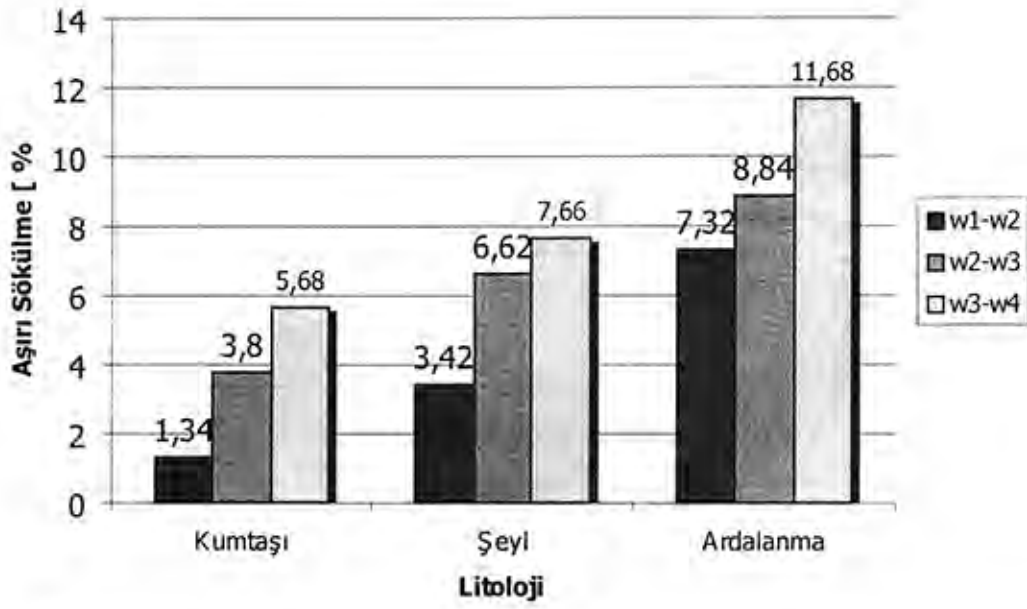


Şekil 4- Trakya formasyonun metro ve kanalizasyon tünelleri düzeyi kayaçlarına ait kaya kalitesi malzeme dayanımı ve kaya direnci ilişkisi.

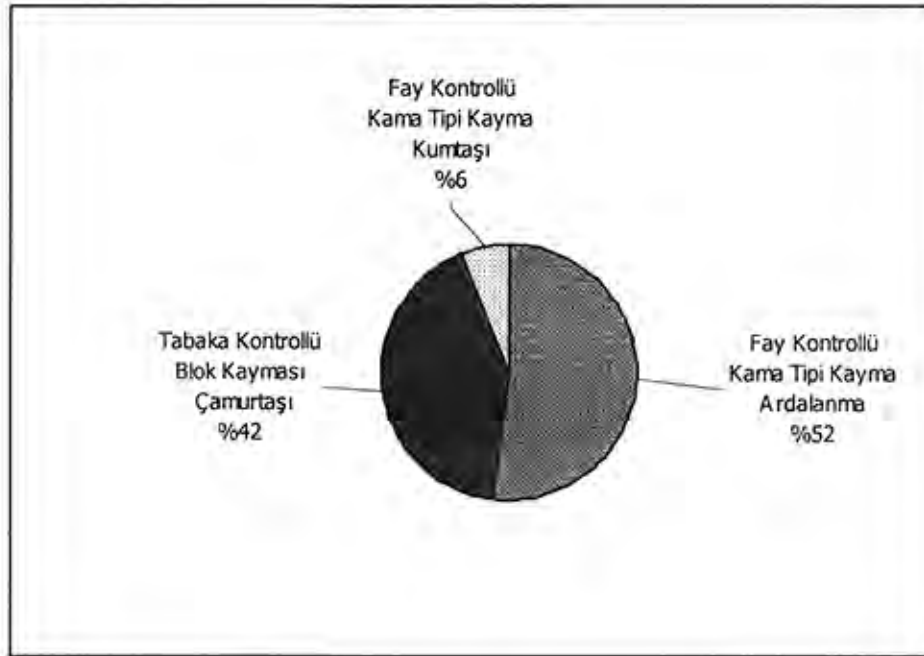
Aşırı Sökülmeler ve Göçükler

İstanbul metrosunun bir bölümünü oluşturan Mecidiyeköy-Levent kesimindeki tünel kazı çalışmaları sırasında gerçekleşen aşırı sökülme (fazla kazı) miktarları, litolojiye ve ayrışma durumuna bağlı değerlendirilmiş, elde edilen sonuçlar grafik haline getirilmiştir (Şekil 5). Buna göre, kazı kesitinin tümünün az ayrışmış (W1-W2) kumtaşı olması halinde, aşırı sökülme ortalama %1.34 olmaktadır. Aynı litolojik ortamda ayrışmanın artması durumunda fazla kazı miktarlarında %5.7'ye varan belirgin artışlar gerçekleşmektedir (Şekil 5). Tünelin kiltası-çamurtaşından oluşan ve şeyl olarak adlandırılmış kazı kesitlerinde, aşırı sökülmenin kumtaşlarına oranla yaklaşık 1.5 kat arttığı görülmektedir. Bu durum, killi kaya ortamlarında doğal süreksizliklerle sınırlı birim kaya elemanları arasındaki sürtünme direncinin zayıf olmasından kaynaklanmaktadır. Kumtaşı ve şeyl tabakalarından oluşan ardalanmalı kazı kesitlerinde aşırı sökülme miktarları %11.7 yi bulmaktadır. Bu tür kazı kesitlerinde, kiltalarına oranla daha kalın tabakalı kumtaşlarının birim kaya elemanları daha büyüktür. Fazla kazı artışında, killi düzeylerdeki zayıf sürtünme direnci ile kumtaşlarından gelen sızıntı halindeki su etkili olmaktadır. Bu durumda, Trakya formasyonunun ardalanmalı düzeyleri, ortamdaki her litolojik birimden daha olumsuz kazı koşullarını oluşturmaktadır (Şekil 5).

Kazı çalışmaları sırasında oluşan göçükler (kaya boşalmaları), litolojiye, fay ve tabaka konumlarının denetimindeki özel geometrik koşullara bağlıdır. Özellikle kazı dışına eğimli tabakaların bulunduğu tünel kesitlerinde, kesişen iki fay sistemi ile tavanda oluşan ve askıda kalan kaya blokları ani olarak kazı alanına doğru hareket ederek düşmektedir. Göçük sonucu kayan malzeme miktarları, tünel çapına ve askıda kalan kaya bloğunun boyutlarına bağlı olarak 2-83m³ arasında değişmektedir (Şekil 6). Metro tünellerindeki göçüklerin %58'i fay kontrollü kama tipi kayma, %42'si ise tabaka kontrollü blok kayması şeklinde olmuştur. Göçüklerin litolojiye göre dağılımı incelendiğinde %52'sinin ardalanmalı kaya ortamlarında meydana geldiği görülmektedir (Şekil 6).



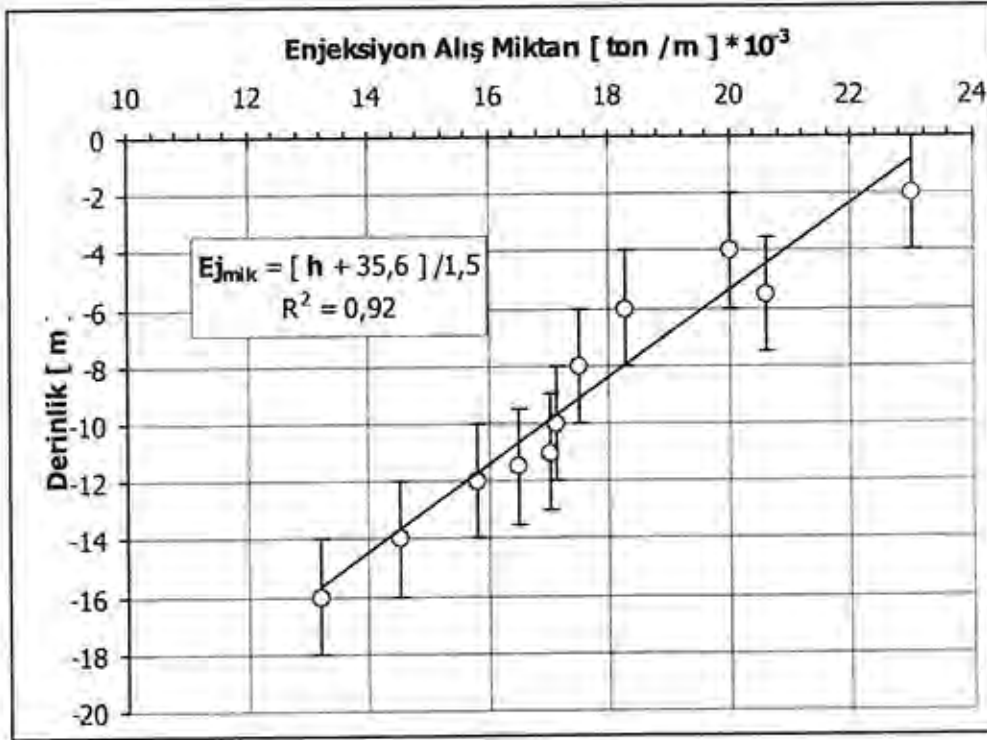
Şekil 5 – Mecidiyeköy-Levent kesimindeki tünel kazılarında gerçekleşen aşırı sökülmelerin (fazla kazı) litolojiye ve ayrışma durumuna göre dağılımı



Şekil 6 – Mecidiyeköy-Levent kesimindeki tünel kazılarında gerçekleşen göçük mekanizmaları ve litolojiye bağlı % dağılımları

Enjeksiyon Kabul Etme Yeteneği

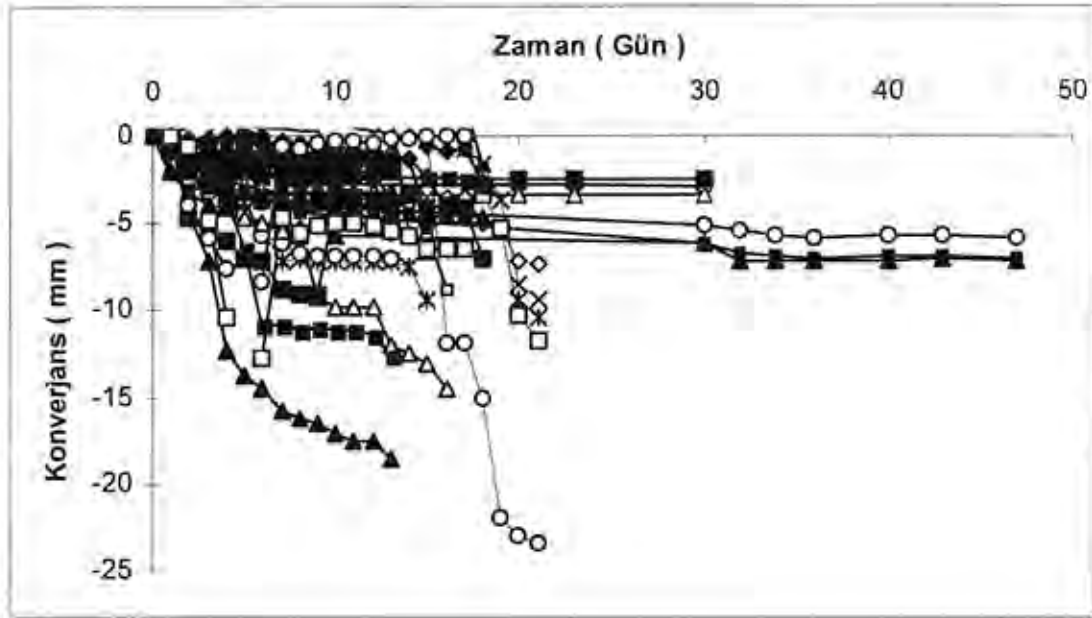
Metro tünellerinin köprü ve alt geçit geçişlerinde uygulanan konsolidasyon amaçlı enjeksiyon çalışmalarının sonuçları değerlendirilmiş, Gültepe alt geitinde su/imento karışımı 2/1 olan enjeksiyon sonuçları aşağıda örnek olarak verilmiştir (şekil 7). Kıvrımlı kumtaşı tabakalarının bulunduğu bu bölgede, 2m derinlikteki enjeksiyon alışlarının 23kg/m olduğu, 10m derinlikte 17kg/m ye kadar düştüğü, alışların derinlikle azaldığı görülmektedir (Biberoğlu, 1998). Bu verilerden hareketle yapılan regresyon analizlerinde, teorik olarak 36m derinlikten sonra enjeksiyon alışlarının minimum düzeyde kalacağı anlaşılmaktadır. Bu durum, kumtaşlarındaki efektif porozitenin ayrışmaya bağlı olarak arttığını, 36m'lerden sonra ayrışma etkisinin giderek azaldığına işaret etmektedir.



şekil 7 – Gültepe alt geçidi konsolidasyon enjeksiyonu uygulamalarında gerçekleşen metre başına imento alış miktarlarının derinliğe bağlı değişimi

Tünel İçi Deformasyonları (Konverjans)

Üst yarı ve alt yarı şeklinde iki kademeli kazı programının uygulandığı metro tünellerinde, tünel içi deformasyonların zamana bağlı gelişimini izlemek amaçıyla ortalama 20m aralıklarla konverjans ölçüm kesitleri oluşturulmuştur. Zamana bağlı gerçekleştirilen ölçümlerde deformasyonların ilk üç haftada 5mm dolayında gerçekleştiği, bazı ölçüm kesitlerinde 25mm'ye kadar çıktığı görülmektedir (şekil 8). Püskürtme beton, elik hasır ve sistematik bulonlama şeklinde uygulanan ön sağlamlaştırmadan sonra deformasyonlar sona ermektedir. Buradan hareketle Trakya formasyonunda açılacak y zeeye yakın şehir içi tünellerinde,  n sağlamlaştırmanın ilk 3 günde tamamlanması gerekmektedir.



Şekil 8 –İstanbul metrosunun kazı çalışmaları sırasında Şişli-Levent güzergahında gerçekleşen konverjans miktarları

Sonuçlar

İstanbul Paleozoyik temelin en üst kesimini oluşturan Trakya formasyonu, tektonik dokanaklarla (fay) sınırlı litolojik korelasyonu çoğu kez yapılamayan bloklu bir yapıya sahiptir.

Metro güzergahının incelen kesimindeki litoloji, %59'u kumtaşı-çamurtaşı ardalanmasından, %22'si kumtaşı, %14'ü çamurtaşı ve %5'i dayklardan oluşmaktadır.

Formasyonun ilk 20m lik kesimi ayrışmanın etkisi ile yer yer elle ufalanabilecek kadar dayanım kayıplarına uğramıştır. Bu karakteri ile Trakya formasyonu, çeşitli mühendislik uygulamaları bakımından özel olarak incelenmesi gereken bir kaya ortamıdır.

Formasyonun tabaka kalınlıkları 2–70 cm arasında yoğunlaşmaktadır. Ortalama çatlak sıklığı 12 ad/m dir. Kaya kalitesi genelde orta ve kötü olarak tanımlanabilir.

Yeraltısuyu bakımından geçirimsiz olan birim, kazı çalışmaları sırasında sızıntı ve damlama şeklindeki yeraltısuyu hareketi, süreksizlik yüzeylerinin sürtünme direncini önemli derecede azatmaktadır.

Malzeme olarak orta ve zayıf dayanımlı düşük elastisite modülü değerlerine sahiptir.

Kaya ortamın eksenel yüklenmesi durumunda 0.1-1 MPa arasında değişen dayanım değerleri elde edilmektedir.

Tünellerde gerçekleşen aşırı sökülme (fazla kazı) miktarları, litolojiye ve ayrışma durumuna bağlı olarak değişmektedir. Aşırı sökülme oranları, kumtaşlarında ortalama %1.34-%5.7, çamurtaşlarında %3.4-%7.7 ve kumtaşı-çamurtaşı ardalanmalı kazı kesitlerinde %7.3-%11.7dir.

Kazı çalışmaları sırasında oluşan göçükler (kaya boşalmaları), litoljiye, fay ve tabaka konumlarının denetimindeki özel geometrik koşullara bağlıdır. Metro tünellerindeki göçüklerin %58'i fay kontrollü kama tipi kayma, %42'si ise tabaka kontrollü blok kayması şeklinde gerçekleşmiştir.

Metro tünellerinin köprü ve alt geçit geçişlerindeki konsolidasyon amaçlı enjeksiyon çalışmalarında, alırların derinlikle azaldığı ve 36.m'den sonra enjeksiyon alırlarının minimum düzeyde kalabileceği anlaşılmaktadır.

Metro tünellerinde, tünel içi deformasyonları ilk üç haftada 5mm dolayında gerçekleşmekte, bazı ölçüm kesitlerinde 25mm'ye kadar çıkmaktadır.

Kaynaklar

BAYKAL, F., KAYA, O., 1963; İstanbul bölgesinde bulunan Karbonifer'in genel stratigrafisi, M.T.A. Dergisi, 61, Ankara.

ÖNALAN, M. 1988; İstanbul Devoniyen çökellerinin sedimenter özellikleri ve çökme ortamları. İstanbul Yerbilimleri Sayı 6, Sayfa 92 -108

OKAY ve diğ. 1994; Kinematic history of the opening of the Black Sea and its effects on the surroundings regions. Geology. 22 pp 161-177

SEYMEN, İ. 1995; İzmit Körfezi ve çevresinin jeolojisi. İzmit Körfezi Kuvaterner İstifi. S 1-21 İstanbul.

ŞENGÖR, A.M.C; YILMAZ, Y, 1981; Tethyan evolution of Turkey. Plate Tectonic Approach Tectonophysics. 23, pp 10-19

BİBEROĞLU, S. 1995; Gültepe alt geçidi konsolidasyon enjeksiyonu uygulaması ve sonuçları.

BARTON, N.R 1974; Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support. Rock Mechanics,

BIENIAWSKI, Z.T 1974; Geomechanical classification of rock masses and its application in tunnelling. Proc. 3rd Int. Cong. Rock Mechanics, Denver, Vol. 2, Part 2, pp 27-32

RMR KAYA SINIFLAMA SİSTEMİNE GÖRE BÜYÜK YERALTI AÇIKLIKLARININ TAHKİMAT TASARIMI ÜZERİNE BİR ÖNERİ

A PROPOSAL FOR THE DESIGN OF THE SUPPORT SYSTEM OF LARGE UNDERGROUND OPENINGS ACCORDING TO RMR ROCK CLASSIFICATION SYSTEM

Ömer Aydan

Princeton University, Dept. of Civil Engineering and Operations Research, Princeton, USA
(on leave from Tokai University, Dept. of Marine Civil Engineering, Shimizu, JAPAN)

Toshikazu Kawamoto

Aichi Institute of Technology, Dept. of Civil Engineering, Toyota, JAPAN

ÖZ: Büyük boyutlu yeraltı yapılarının inşası gün geçtikçe artmaktadır. Dolayısıyla bu tür yapılarla ilgili bilgi birikiminin artmasına orantılı olarak kaya sınıflamalarından yararlanarak tasarımları son yıllarda yapılmaya başlanmıştır. Bu amaçla sınıflama sistemleri içinde Q-sistemi olarak bilinen kaya sınıflaması yaygınca kullanılmaktadır. Tünelcilikte popüler olan RMR sistemi olarak bilinen kaya sınıflaması büyük açıkların tasarımında pek kullanılmamaktadır. Bunun en başlı nedeni RMR sisteminde bu tür yapılar için tahkimat tasarım önerisinin olmayışdır. Bu çalışmada Japonya ve diğer ülkelerde inşa edilen büyük yeraltı açıklıklarının tahkimat sistemleri için geliştirilen CAVERN adlı bir veri tabanından yararlanarak RMR kaya sınıflama sistemini esas alan büyük açıklıkların tahkimat sistemi için bir öneri sunulmuş ve tipik bir yeraltı santralı açıklığının tahkimat sisteminin tasarımına uygulanmış ve diğer yöntemlerle karşılaştırılmıştır.

ABSTRACT: The construction of large underground openings has been increasing in recent years parallel to the technological developments. The design of such structures has been widely carried out using numerical methods. Nevertheless, the design of support systems of these structures have been recently started to be carried out by using rock classifications. Particularly the use of Q-system is quite wide spread all over the world. Although RMR rock classification system is also popular, its use is restricted to tunnels and mine entries. The reason for this may be related to the lack of design guidelines for large scale underground openings. The authors have been recently working on the development of some guidelines for the design of support systems for large-scale underground structures by using the RMR rock classification method. For this purpose, the authors compiled the data on construction details and support systems of large underground openings built in Japan and other countries. An integrated data-base system has been developed for the data of large scale underground structures. The authors outline this data-base system and present some processed data together with some empirical relations among the size of underground openings and the dimensions of support elements. Finally, some guidelines for the support systems are proposed for a typical underground opening for electric power stations.

1 GİRİŞ

Teknolojik ilerlemelere paralel olarak büyük boyutlu yeraltı yapılarının inşası gün geçtikçe artmaktadır. Özellikle bu yapıların tasarımı genellikle sayısal yöntemler kullanılarak yapılmaktaysa da, bu yapıların sayısını ile bilgi birikiminin artması orantılı olarak kaya sınıflamalarından yararlanarak tasarımları son yıllarda yapılmaktadır. Sınıflama sistemleri içinde Q-sistemi olarak bilinen kaya sınıflaması yaygınca kullanılmaktadır. RMR sistemi olarak bilinen kaya sınıflaması da popüler olmasına karşın büyük açıkların tasarımında pek kullanılmamaktadır. Bunun nedeni sözü edilen sınıflama sistemi tarafından bu tür yapılar için tahkimat tasarım önerisinin olmayışıdır. Bu yayında yazarlar Japonya ve diğer ülkelerde yapılan büyük yeraltı açıklıklarının inşası ve tahkimat sistemlerini kapsıyan bir veri tabanı geliştirilmiş ve bu veri tabanından yararlanarak RMR kaya sınıflama sistemini esas alan büyük açıklıkların tahkimat sistemi için bir öneri getirilmiştir. Önerilen sistemi ve tipik büyüklükteki yeraltı santrallerine uygulayarak Japonyada kullanılan Denken sınıflarını esas alarak tahkimat tasarımına uygulaması bir örnek olarak verilmiştir.

2 BÜYÜK YERALTI AÇIKLARI İÇİN VERİ-TABANI SİSTEMİ

Bu çalışmada geliştirilen veri-tabanı CAVERN olarak adlandırılmış ve *Veri-tabanı alt sistemi* ile *Veri-işlem ve Grafıksel Gösterim Alt Sistem*'inden oluşmaktadır. Detayları aşağıda verilmiştir.

2.1 Veri-tabanı Alt Sistemi

Veri tabanının oluşturulmasında kullanılan parametreler genelde 7 kısımdan oluşmaktadır: Açıklıkla ilgili genel parametreler; Açıklığın geometrik verileri; Çevre kayaya etkiyen gerilimler; Çevre kayacı oluşturan taşın cinsi ile fiziksel ve mekanik özellikleri; Tavan ve yanduvarda kullanılan tahkimat elemanlarının geometrik ve mekanik özellikleri; Kaya kütlelerinin mekanik özellikleri ve Kaya kütlelerinin sınıflaması. Veriler ACCESS programlama dilini kullanarak geliştirilen CAVERN adlı veri tabanına işlenmiştir. Veri-tabanına işlenmiş büyük yeraltı açıklıklarının sayısı şu anda 106'dır.

2.2 Veri-işlem ve Grafıksel Gösterim Alt Sistemi

Elde edilen verilerden değişik koşullar için veri dosyasının oluşturulması için True BASIC programlama dilinde yazılmış bir program kullanılmaktadır. Kullanıcı istediği bir koşula göre herhangi iki parametre arasındaki ilişkiyi araştırabilmesi için veriler bir ASCII tipi bir veri dosyasına aktarılmaktadır. Bu veri dosyasından grafıksel gösterim ile veriler arası görgül ilişkisinin elde edilmesinde SMA4WIN adlı başka bir grafik programından yararlanılmaktadır. Bu grafik programında önceden tanımlanmış veya kullanıcı tarafından tanımlanabilen fonksiyonları seçmek mümkün olmaktadır. Yazarların kullandığı bu program kullanışı kolay ve maliyetinin çok düşük olması nedeniyle tercih etmektedirler. Bu olay tamamen kişisel bir tercih olması nedeniyle istenirse kullanıcı bu programın yerine başka bir grafik programını seçebilir.

3 TAHKİMAT TASARIMI İÇİN VERİLERİN ANALİZİ

Bir önceki bölümde kısaca anlatılan veri tabanını kullanarak ön görülen değişik koşullar için açıklık

boyutları ile tahkimat elemanlarının geometrik parametreleri arasındaki ilişkiler RMR'a göre incelenmiştir. İlk uygulamada RMR ile ankor uzunluğunun (L) kemer genişliğine (L_a) ve yanduvvar yüksekliğine (H_s) olan oran arasındaki ilişkiler araştırılmış ve aşağıdaki bağıntılar bulunmuştur.

$$\text{Tavan için } \frac{L}{L_a} = 0.8 - \frac{RMR}{200} \quad \text{Yanduvvar için } \frac{L}{H_s} = 0.7 - \frac{RMR}{200} \quad (1)$$

Bu ilişkilerin geliştirilmesinde problemleri açıklıkların verileri esas alınmıştır. Tavan ve yanduvvardaki ankorların yerleştirilme aralığı ile RMR arasında ise aşağıda verilen ilişkiler elde edilmiştir:

$$\text{Tavan için } e_{as} = 2 + 0.02RMR \quad \text{Yanduvvar için } e_{as} = 2 + 0.03RMR \quad (2)$$

Benzer şekilde saplama uzunluğunun (L_b) açıklık genişliğine veya yanduvvar yüksekliğine olan oran ile RMR ve tavan ve yanduvvar için saplama yerleştirme aralığı ile RMR arasında problemleri açıklıklar esas alınarak aşağıda verilen görgül ilişkiler elde edilmiştir:

Saplama uzunluğu

$$\text{Tavan için } \frac{L_b}{L_a} = 0.35 - \frac{RMR}{500} \quad \text{Yanduvvar için } \frac{L_b}{H_s} = 0.30 - \frac{RMR}{500} \quad (3)$$

Saplama aralığı

$$\text{Tavan için } e_{bs} = 1 + 0.015RMR \quad \text{Yanduvvar için } e_{bs} = 1 + 0.015RMR \quad (4)$$

RMR kaya sınıflamasında nedense bugüne kadar püskürtme beton önemli bir tahkimat elemanı olarak düşünülmemiştir. Son yıllarda püskürtme beton teknolojisindeki gelişmeler püskürtme betonu önemli bir tahkimat elemanı durumuna getirmiştir. Özellikle çelikağla birlikte püskürtme beton tabaka halinde açıklık çeperine püskürtülmektedir. Veri-tabanındaki veri olarak işlenmiş bütün açıklıklarda ya çelikağ yada lifli püskürtme beton kullanılmıştır. Bu nedenle püskürtme beton kalınlığı için geliştirilen ilişkilerin bu tür püskürtme beton için geçerli olduğu düşünülmelidir. Püskürtme beton kalınlığı t 'nin açıklık genişliğine olan oranı ile RMR ilişkisi

$$\text{Tavan için } \frac{t^{sr}}{L_a} = 0.0125 - \frac{RMR}{10000} \quad \text{Yanduvvar için } \frac{t^{sw}}{H_s} = 0.0075 - \frac{RMR}{18000} \quad (5)$$

olarak bulunmuştur. Yukarıda tahkimat elemanları için yapılan incelemelerin yanısıra tavanda ve yanduvvarda tahkimata etkiyecek basınç ile RMR arasındaki ilişkiyi de incelemişlerdir. Bu inceleme ile birlikte değişik kişiler tarafından önerilen ilişkilerin doğruluğunda araştırılmıştır. Uzun yıllardan beri tünecilik dünyasında kohezyonsuz sürtünme özelliğine sahip ortamlar için kemerlenme kuramına dayanan Protodyakanov ve Terzaghi'nin geliştirdikleri ilişkilerden tahkimat basıncı hesabı yaygın olarak yapılmaktadır. Bu ikilişinin farklı bir düşünceden yola çıkmasına rağmen sonuçta elde ettikleri tavan için tahkimat basıncı aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$\frac{p_s^r}{\gamma L_a} = \frac{1}{\tan \phi} \quad (6)$$

Burada γ kayanın birim ağırlığıdır. Yukarıdaki bağıntıda kayanın sürtünme açısı gerekli olup, yazarlar sürtünme açısı ile RMR arasında şu ilişkiyi geliştirmişlerdir:

$$\phi = 20 + 0.5 * RMR \quad (7)$$

Diğer yandan yine tünecilikte Deere vd. (1969) önerdiği bir başka ilişkidende tahkimat basıncı hesaplanmaktadır. Deere vd. (1969) tahkimat basıncı ile RQD arasında

$$\frac{p_i'}{\gamma L_a} = 0.2 + 0.025 RQD \quad (8)$$

yukarıdaki gibi bir ilişkiyi önermişlerdir. (8) nolu ilişkiyi kullanabilmek için yazarlar RQD ile RMR arasındaki gerçek ölçüm sonuçlarından yararlanarak aşağıdaki ilişkiyi geliştirmişlerdir:

$$RQD = 15 + 0.85 * RMR \quad (9)$$

Diğer yandan Ünal (1985) tahkimat basıncı ile RMR arasında aşağıdaki ilişkiyi önermiş olup bu ilişki yaygın olarak Bieniawski tarafından kullanılmaktadır:

$$\frac{p_i'}{\gamma L_a} = \left(1 - \frac{RMR}{100}\right) \quad (10)$$

Barton vd. (1974) ise diğer yandan şu ilişkiyi önermektedir:

$$p_i' = \frac{200}{J_r} \frac{1}{\sqrt[3]{Q}} \quad (11)$$

Burada J_r eklem pürüzlülük katsayısıdır. Şekil 1'de yukarıda öne sürülen bağıntılar ile gerçek gözlem sonuçları karşılaştırılmıştır. Aynı şekilde bu çalışmada geliştirilen formüllerden yararlanarak tahkimat sisteminin sağladığı basınç şu ilişkiden hesaplanmıştır:

$$\frac{p_i'}{\gamma L_a} = \frac{T_a}{e_{as}^2} + \frac{T_b}{e_{bs}^2} + \sigma_c^{sh} \frac{2I^{sh}}{L_a} \quad (12)$$

Burada T_a ve T_b kaya ankor ve saplamasının çekme, σ_c^{sh} ise püskürtme betonun basma dayanımıdır.

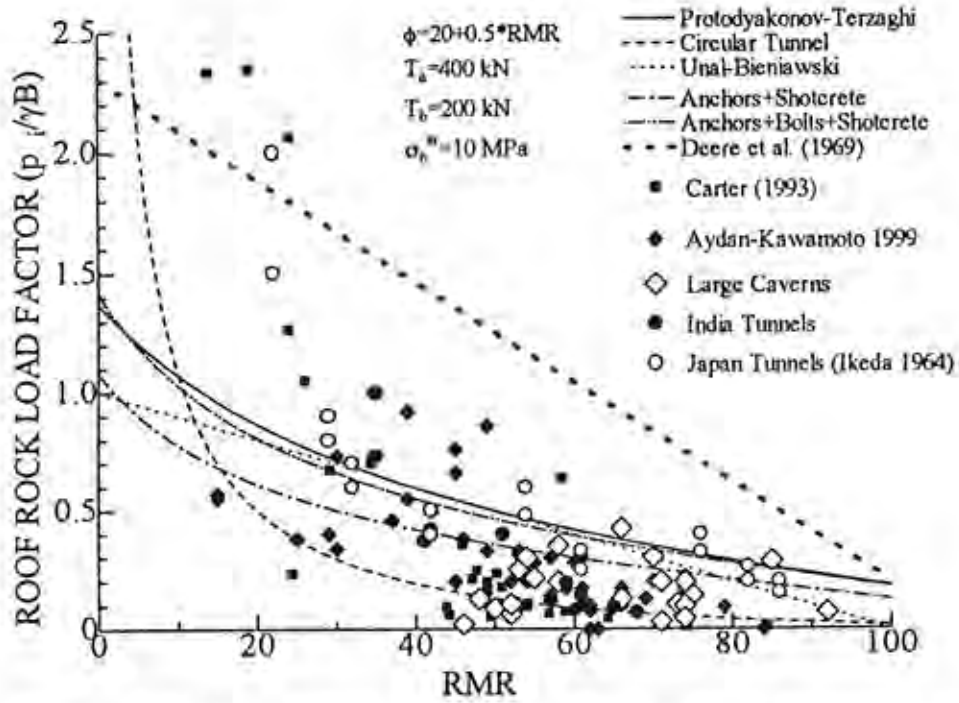
Tavan için elde edilen sonuçlarla gözlem sonuçları karşılaştırıldığında, önerilen formüllerden genelde RMR'nin değeri 40'tan büyük olduğu sürece daha büyük değerler elde edilmektedir. Fakat RMR'nin değeri 40'tan daha küçük olması durumunda gözlem değerleri büyük olabilmektedir. Bu durum açıklık çeperinde oluşan gerilme dağılımı kaya kütesinin dayanımını aşmasından dolayı oluşan yenilme olgusundan kaynaklandığı düşünülebilir. Bu durumda kayanın yenilmesinden dolayı oluşan plastik zondan kaynaklandığı varsayılan ek basınç şu şekilde verilebilir (Aydan 1989):

$$p_i = \frac{2\sigma_0 - \sigma_c}{q+1} \left(\frac{a}{R_p}\right)^{q-1} + \frac{\gamma a}{q-2} \left[1 - \left(\frac{a}{R_p}\right)^{q-2}\right], \quad q = \frac{1 + \sin \phi}{1 - \sin \phi} \quad (13)$$

Yukarıdaki formüldende görüleceği üzere plastik zonun büyüklüğünün bilinmesi gerekli olmaktadır. Bunun için plastik zonun genişliği kaya ankoru veya kaya saplamasının uzunluğu arasında yapılacak bir varsayımdan yararlanılabilir. Genelde plastik zonun genişliği kaya ankoru veya kaya saplamasının uzunluğunun yarısı olduğu şeklinde bir varsayım yaygın olarak yapılmaktadır. Böyle bir durum için plastik zon yarıçapı ile saplama boyu arasında aşağıdaki gibi bir ilişki önerilecektir.

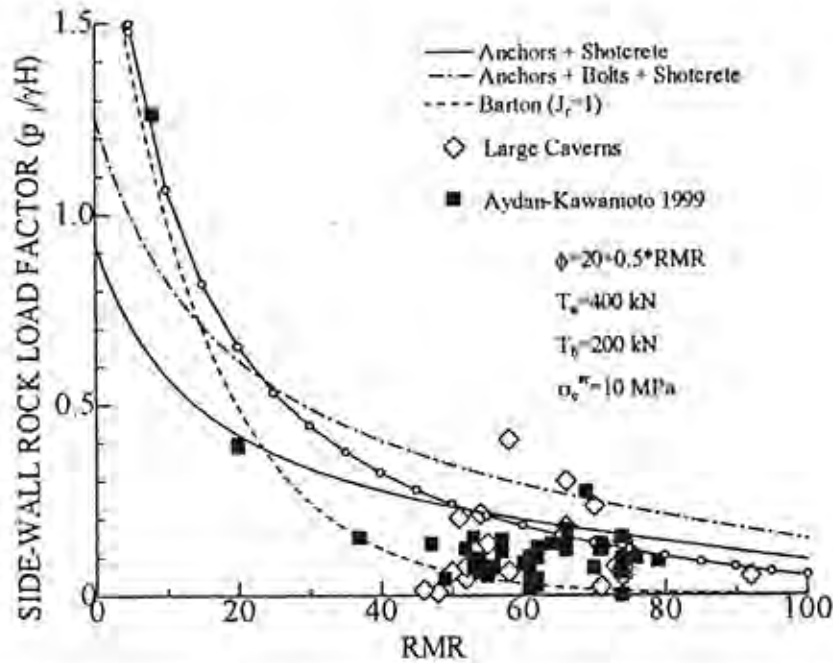
$$\frac{R_p}{a} = 1 + \frac{L}{L_a}, \quad a = \frac{L_a}{2} \quad (14)$$

Yanduvara gelecek basınç ile ilgili önerilen bağıntıların sayısı oldukça azdır. Bu konuda Barton vd. (1974) tavan için önerdikleri bağıntıda kullanılan Q'nun yerine yanduvaz için Q'nun değeri artırılmış şeklinin kullanılmasını önermektedir. Yanduvaz için artırılmış Q'nun değeri Q' olup yazarlar tarafından geliştirilen şu bağıntıdan hesaplanabilir:



Şekil 1 Tavanda tahkimata gelecek basınç için önerilen bağıntılarla gözlemlerin karşılaştırılması

Figure 1 Comparison of observed support pressure with those computed from proposed formula for roof



Şekil 2 Yanduvarda tahkimata gelecek basınç için önerilen bağıntılarla gözlemlerin karşılaştırılması

Figure 2 Comparison of observed support pressure with those computed from proposed formula for sidewall

$$Q' = 3.3 * Q^{0.12} \quad (15)$$

Şekil 2'de yanduvardır için önerilen ilişkiler ile gözlem sonuçları karşılaştırılmıştır. Tavan için bu çalışmada önerilen formülleri kullanarak tahkimat basıncının hesabına benzer şekilde yanduvardır için tahkimat basıncı aşağıdaki ilişkilerden hesaplanabilir:

$$\frac{P_1^w}{\gamma L_a} = \frac{T_a}{e_{ax}^2} + \frac{T_b}{e_{bx}^2} + \sigma_c^{th} \frac{2I^{th}}{H_s} \quad (16)$$

Şekildende görüleceği üzere Barton vd. (1974)'nin ilişkisinin pek sağlıklı olmadığı kolaylıkla söylenebilir.

4 RMR'A GÖRE TAHKİMAT TASARIM ÖNERİSİ

Burada Japon Kaya sınıflaması olarak yaygınca kullanılan DENKEN sınıflaması esas alınarak 24 m genişliğinde ve 40 m yüksekliğinde bir yeraltı açıklığı için tahkimat tasarımı önerilecek ve diğer önerilerle karşılaştırılacaktır. Başka boyutlardaki açıklıklar için geliştirilen ilişkiler kullanılarak tasarım yapılabilir. Çizelge 1 ve 2 tavan ve yanduvlar için tahkimat tasarım önerisini göstermektedir.

5 SONUÇLAR

Bu çalışmada RMR kaya sınıflama sistemine göre büyük açıklıkların tahkimat tasarımı için bir öneri sunulmuştur. Bu önerinin geliştirilmesinde Japonya ve diğer ülkelerde inşa edilen 106 tane büyük yeraltı açıklığının verilerin değerlendirilmesi için geliştirilen CAVERN adlı bir veri-tabanı sistemi kullanılmıştır. Tahkimat tasarımı için geliştirilen ilişkilerde problemli olan açıklıklar esas alınmış ve RMR'a bağlı olarak herhangi bir boyuttaki açıklıklar için geçerlidir. Büyük yeraltı santrallarının açıklıklarının genişliği 24 m yüksekliği 40 m olduğunu gözönünde bulundurarak değişik kaya sınıfları için tahkimat tasarım örneği hazırlanmış ve Çizelge 1 ve 2'de bunlar sunulmuştur. Sonuç olarak burada sunulan öneri ile RMR kaya sınıflama sistemine göre hem büyük açıklıkların tahkimat tasarımı hem de herhangi bir boyuttaki açıklık için tahkimat tasarımı mümkün olmaktadır.

KAYNAKLAR

- Aydan, Ö. (1989): The stabilisation of rock engineering structures by rockbolts. Nagoya University, Doctorate Thesis (1989).
- Barton, N., Lien, R., Lunde, I. (1974): Engineering classification of rock masses for the design of tunnel supports. *Rock Mechanics*, 6(4), 189-239.
- Barton, N. (1995): The influence of joint properties in modelling jointed rock masses, 8th Int. Rock Mech. Congress, Tokyo, 1023-1032.
- Bieniawski, Z.T. (1989) *Engineering rock mass classifications*. New York: Wiley.
- Carter, T.G (1992): A new approach to surface crown pillar design. 16th Canadian Rock Mechanics Symposium, 75-83.
- Deere, D.U., R.B. Peck, B. Schmidt and J.E. Monsees (1969): Design of tunnel liners and support systems. US Dept. of Transportation, Washington.
- Ikeda, K. (1970). Classification of rock conditions for tunnelling. 1st Int. Congress on Engineering Geology, IAEG, Paris, 1258-1265.
- Terzaghi, K. (1946): Introduction to tunnel geology in rock tunnelling with steel supports. Commercial Shearing and Stamping Co., Youngstown, Ohio.

Ünal, E. (1983): Design guidelines and roof control standards for coal mine roofs, PhD Thesis, Pennsylvania State University, University Park, 355pp.

Çizelge 1 Tavan için Kaya sınıflamalarına göre tahkimat tasarım önerisi ve diğer yöntemlerle karşılaştırılması

Table 1 Proposed support system for a typical cavern and comparisons with other methods for roof

DENKEN Kaya sınıflaması A. RMR:80-100. Q:40-1000. L_a 24m. :25kN/m³

Yöntem	Tahkimat Basıncı (kPa)	Kaya Saplaması			Kaya Ankuru			Püskürtme Beton	
		Uzunluk (m)	Aralık (m)	Dayanım (kN)	Uzunluk (m)	Aralık (m)	Dayanım (kN)	Kalınlık (mm)	Dayanım MPa.
RMR-B	0-90	6	2.5<	200				0	10
Q-BLL	0-25	5.6	>2.0	100	9.6	2-4	400	0-50	10
Q-NMT	0-18	6	>4.5	200				50	10
RMR-AK	0-97	3.6-4.3	2.3-2.5	200	7.2-9	3.4-4.0	400	60-111	10

DENKEN Kaya sınıflaması B. RMR:65-80. Q:10-40. L_a 24m. :25kN/m³

Yöntem	Tahkimat Basıncı (kPa)	Kaya Saplaması			Kaya Ankuru			Püskürtme Beton	
		Uzunluk (m)	Aralık (m)	Dayanım (kN)	Uzunluk (m)	Aralık (m)	Dayanım (kN)	Kalınlık (mm)	Dayanım MPa.
RMR-B	90-180	6	2.5<	200				0-50	10
Q-BLL	25-50	5.6	1.5-2.0	100	9.6	2-4	400	50-100	10
Q-NMT	18-31	6	2.5-4.5	200				50	10
RMR-AK	97-147	4.3-5.0	2.1-2.3	200	9-11	3.7-3.4	400	111-144	10

DENKEN Kaya sınıflaması CH. RMR:50-65. Q:4-10. L_a 24m. :25kN/m³

Yöntem	Tahkimat Basıncı (kPa)	Kaya Saplaması			Kaya Ankuru			Püskürtme Beton	
		Uzunluk (m)	Aralık (m)	Dayanım (kN)	Uzunluk (m)	Aralık (m)	Dayanım (kN)	Kalınlık (mm)	Dayanım MPa.
RMR-B	180-270	6	2-2.5	200				50	10
Q-BLL	50-100	5.6	1.0-2.0	100	9.6	2-4	400	100-150	10
Q-NMT	46-63	6	1.6-2.3	200				50-90	10
RMR-AK	147-252	5.0-5.8	1.8-2.1	200	11-12	3.1-3.4	400	132-168	10

DENKEN Kaya sınıflaması CM; RMR:35-50.Q:1-4. L_a 24m.:25kN/m³

Yöntem	Tahkimat Basıncı (kPa)	Kaya Saplaması			Kaya Ankuru			Püskürtme Beton	
		Uzunluk (m)	Aralık (m)	Dayanım (kN)	Uzunluk (m)	Aralık (m)	Dayanım (kN)	Kalınlık (mm)	Dayanım MPa.
RMR-B	270-360	6	1.5-2.0	200				50-100	10
Q-BLL	100-150	5.6	1.0-1.5	100	9.6	2-4	400	150-250	10
Q-NMT	84-133	6	1.3-2.1	200				90-120	10
RMR-AK	252-325	5.8-6.5	1.6-1.8	200	12-14	2.8-3.1	400	168-204	10

DENKEN Kaya sınıflaması CL; RMR:20-35.Q:0.1-1. L_a 24m.:25kN/m³

Yöntem	Tahkimat Basıncı (kPa)	Kaya Saplaması			Kaya Ankuru			Püskürtme Beton	
		Uzunluk (m)	Aralık (m)	Dayanım (kN)	Uzunluk (m)	Aralık (m)	Dayanım (kN)	Kalınlık (mm)	Dayanım MPa.
RMR-B	360-480	6	1.5-2.0	200				50-100	10
Q-BLL	150-225	5.6	1.0-1.5	100	9.6	2-4	400	150-250	10
Q-NMT	133-431	6	0.7-1.3	200				120-250	10
RMR-AK	325-516	6.5-7.5	1.3-1.6	200	14-17	2.4-2.8	400	204-252	10

Çizelge 2 Yanduvay için Kaya sınıflamalarına göre tahkimat tasarım önerisi ve diğer yöntemlerle karşılaştırılması

Table 2 Proposed support system for a typical cavern and comparisons with other methods for roof

DENKEN Kaya sınıflaması B. RMR:80-100. Q:40-1000. H_v 40m. :25kN/m³

Yöntem	Tahkimat Basıncı (kPa)	Kaya Saplaması			Kaya Ankuru			Püskürtme Beton	
		Uzunluk (m)	Aralık (m)	Dayanım (kN)	Uzunluk (m)	Aralık (m)	Dayanım (kN)	Kalınlık (mm)	Dayanım MPa.
RMR-B		8	>2.5	200					
Q-BLL	5<	8	>4	100					
Q-NMT	<10	9	>4	200					
RMR-AK	<85	4.0-5.2	2.3-2.5	200	8-11	4.6-5.0	400	78-111	10

DENKEN Kaya sınıflaması B. RMR:65-80. Q:10-40. H_v 40m. :25kN/m³

Yöntem	Tahkimat Basıncı (kPa)	Kaya Saplaması			Kaya Ankuru			Püskürtme Beton	
		Uzunluk (m)	Aralık (m)	Dayanım (kN)	Uzunluk (m)	Aralık (m)	Dayanım (kN)	Kalınlık (mm)	Dayanım MPa.
RMR-B		8	>2.5	200					
Q-BLL	5<	8	>4	100					
Q-NMT	10-18	9	4	200					
RMR-AK	85-134	5.2-6.4	2.1-2.3	200	11-14	4.1-4.6	400	111-144	10

DENKEN Kaya sınıflaması CH RMR:50-65. Q:4-10. H_v 40m. :25kN/m³

Yöntem	Tahkimat Basıncı (kPa)	Kaya Saplaması			Kaya Ankuru			Püskürtme Beton	
		Uzunluk (m)	Aralık (m)	Dayanım (kN)	Uzunluk (m)	Aralık (m)	Dayanım (kN)	Kalınlık (mm)	Dayanım MPa.
RMR-B		8	2-2.5	200					
Q-BLL	50-100	8	1.5-2.0	100	14	4-6	400	100-150	10
Q-NMT	34-46	9	2-3	200					
RMR-AK	134-206	5.2-7.6	1.8-2.1	200	14-17	3.7-4.1	400	111-144	10

DENKEN Kaya sınıflaması CM RMR:35-50. Q:1-4. H_v 40m. :25kN/m³

Yöntem	Tahkimat Basıncı (kPa)	Kaya Saplaması			Kaya Ankuru			Püskürtme Beton	
		Uzunluk (m)	Aralık (m)	Dayanım (kN)	Uzunluk (m)	Aralık (m)	Dayanım (kN)	Kalınlık (mm)	Dayanım MPa.
RMR-B		8	1.5-2.0	200				30	10
Q-BLL	100-150	8	1.0-1.5	100	14	4-6	400	150-300	10
Q-NMT	61-98	9	1.8-2	200				90-120	10
RMR-AK	206-433	7.6-8.8	1.6-1.8	200	17-20	3.2-3.7	400	178-211	10

DENKEN Kaya sınıflaması CL RMR:20-35. Q:0.1-1. H_v 40m. :25kN/m³

Yöntem	Tahkimat Basıncı (kPa)	Kaya Saplaması			Kaya Ankuru			Püskürtme Beton	
		Uzunluk (m)	Aralık (m)	Dayanım (kN)	Uzunluk (m)	Aralık (m)	Dayanım (kN)	Kalınlık (mm)	Dayanım MPa.
RMR-B		8	1.5-2.0	200				30	10
Q-BLL	150-225	8	1.0-1.5	100	14	4-6	400	300-400	10
Q-NMT	98-147	9	1.4-1.8	200				120-150	10
RMR-AK	433-600	8.8-10.4	1.3-1.6	200	20-24	2.6-3.2	400	211-255	10

RMR-B: Bieniawski (1973); Q-BLL: Barton, Lien, Lunde 1974; Q-NMT: Barton 1995; RMR-AK: Aydan-Kawamoto 1999

VOLKANİT ARAZİLERDE YER SEÇİMİNE YENİ BİR YAKLAŞIM

A new approach for site selection in volcanics

Recep KILIÇ, Ankara Üniversitesi, Jeoloji Müh. Bölümü, Tandoğan Ankara

R. Pelin BİLGEHAN, N.Ü., Aksaray Müh. Fakültesi, Jeo. Müh. Bölümü, Aksaray

ÖZ

İnceleme alanı Ankara kuzeyinde Karşıyaka semtinde gecekondu önleme bölgesinde yer almaktadır. Bu bölgede Miyosen yaşlı andezitler ve piroklastikler esas temeli oluşturur. Bunlar üzerinde Miyosen yaşlı marl ve Üst Pliyosen yaşlı çökeller yer almaktadır. Volkanitler, aktivitenin yaşına bağlı olarak farklı süreksizlik takımı ve ayrışma derecesine sahiptir. Hidrotermal ayrışma aglomera ve tüflerde daha etkilidir. Kırmızı renkli andezitlerdeki ayrışma, daha genç olan gri renkli andezitlere oranla daha fazladır.

İnceleme alanında 10 m ile 24 m arasında değişen derinliklerde 37 adet toplam 547 m temel sondajı yapılarak volkanitleri temsil eden karot numuneleri alınmıştır. Andezitin fiziksel ve jeomekanik özellikleri incelenmiştir. Tek eksenli basınç direnci ile P ve S dalga hızlarının kayıp yüzdelerinin geometrik ortalaması ile ifade edilen “birleşik ayrışma indeksi, (UAI)” hesaplanmıştır (Kılıç, 1995). Andezitler bu sınıflamaya göre “orta ayrışmış” ve “fazla ayrışmış” kaya gurubundadır. Ayrışma derecesine bağlı olarak inceleme alanında yatay ve düşey yönde mikro bölgelendirme yapılmıştır. Ayrışma derecesi ve süreksizlikler göz önüne alınarak taşıma gücü değerleri ve şev stabilitesi açısından yaklaşımlar elde edilmiştir.

ABSTRACT

The study area takes place at the northern part of the city of Ankara, where new apartment-building are being erected. The Miocene aged andesite and pyroclastics constitute the majority of the unit. The Miocene marl and Upper Pliocene deposits are on the volcanics. The degree of alteration and the number of discontinuity sets increase with the formation aged. The hydrothermal alteration is very distinct, particularly in tuff and agglomerate sequences. The alteration degree of reddish andesites more than grey andesites.

In order to determine stratigraphy and to acquire andesite samples, 37 boreholes, between 10 m and 24 m, in the study area 547 m were drilled. The physical and geomechanic properties of the andesites are investigated. The unified alteration index (UAI) which is a geometrical mean of uniaxial compressive strength and P wave velocity contributes appreciably to zoning of an urban area regarding the rock mass quality (Kılıç, 1995). The andesites are “moderately altered” and “highly altered” rock based on the unified alteration index (UAI). The alteration degree and discontinuities survey depending on bearing capacity and slope stability problems are approximate.

1.GİRİŞ

Bu çalışmada, Ankara'nın kuzeyinde Karşıyaka semtindeki Ankara andezitlerinin jeolojik, yapısal ve jeomekanik özellikleri incelenmiştir (Şekil.1 ve 2). Birimlerin stratigrafik tanımlamasını yapmak için sondajlardan karot numunesi alınmıştır. Jeomekanik özellikler Ankara Üniversitesi kaya mekaniği laboratuvarında, P ve S dalga hızları Elektrik İşleri Genel Müdürlüğü laboratuvarında belirlenmiştir. Volkanitlerin ayrışma derecesi ile taşıma gücü ve kazılabilirliği arasında yakın ilişki olduğu bilinmektedir. Birleşik ayrışma indisine (UAI) bağlı olarak sınıflandırılmış ve mikrobölgelendirme haritası yapılmıştır. Volkanitlerin taşıma gücü laboratuvar yöntemleri yanında sondaj kuyularında pressiometre deneyi ile incelenmiştir.

2. JEOLojİ

Ankara'daki volkanitler Karşıyaka, Keçiören, Altındağ ve Hüseyingazi semtlerinde yayılım göstermektedir. Volkanitler genel olarak tüf, aglomera ve andezitlerden oluşurlar. Çalışma alanında Miyosen süresince iki volkanik aktivite gelişmiştir. İnceleme alanında aglomera, andezit, marn ve Üst Pliyosen çökelleri yüzylemektedir (MTA, 1980) (Şekil 1,ve2.).



Şekil.1 İnceleme alanı ve Ankara çevresindeki volkanitler
Fig.1 The areal distribution of the volcanics in the city of Ankara

2.1. Aglomeralar

Aglomeralar, kırmızı ve pembe renkli, kırıklı ve son derece ayrılmıştır. Andezit blok, çakılları ile tüflerin karışımından oluşmuştur. Aglomeralar BH24, BH27, BH29 ve BH33 nolu sondaj kuyularında gözlenmiştir. Akma yüzeyleri ile süreksizlikler açıkça görülememektedir.

2.2 Andezitler

Andezitler renk ve yapılarına bağlı olarak iki gruba ayrılmıştır. Gri andezitler, kırmızı andezitlerden daha gençtir.

2.2.1. Gri andezitler

Gri andezitler akma yüzeyleri ve çatlaklara sahiptirler. BH3, BH4, BH8, BH9, BH10, BH38, BH39 ve BH40 nolu sondaj kuyuları ile bu kuyuların çevresinde görülmektedir. Çatlaklar çoğunlukla şişen tipte kil minerali ile doludur ve/veya demiroksit ile sıvanmıştır.

Çatlaklar arası mesafe 1 cm ile 15 cm ve çatlak açıklığı 1 mm ile 50 mm arasında değişmektedir.

Gri andezitlerdeki akma yüzeyleri topoğrafik eğime uygundur. Akma yüzeyleri, BH7 nolu sondaj çevresinde N45E/38NW, BH3 çevresinde N72W/40NE, BH39 ve BH40 da ise N30W/40SW dır (Şekil.2). Altı ana kırık takımı belirlenmiştir. Bunlar BH7 çevresinde N70E/65NW ve N50W/35SW, BH3 çevresinde N42W/33SW ve N40E/65NW, BH39 ve BH40 çevresinde de N65W/85SW ve N45E/60NW dir.

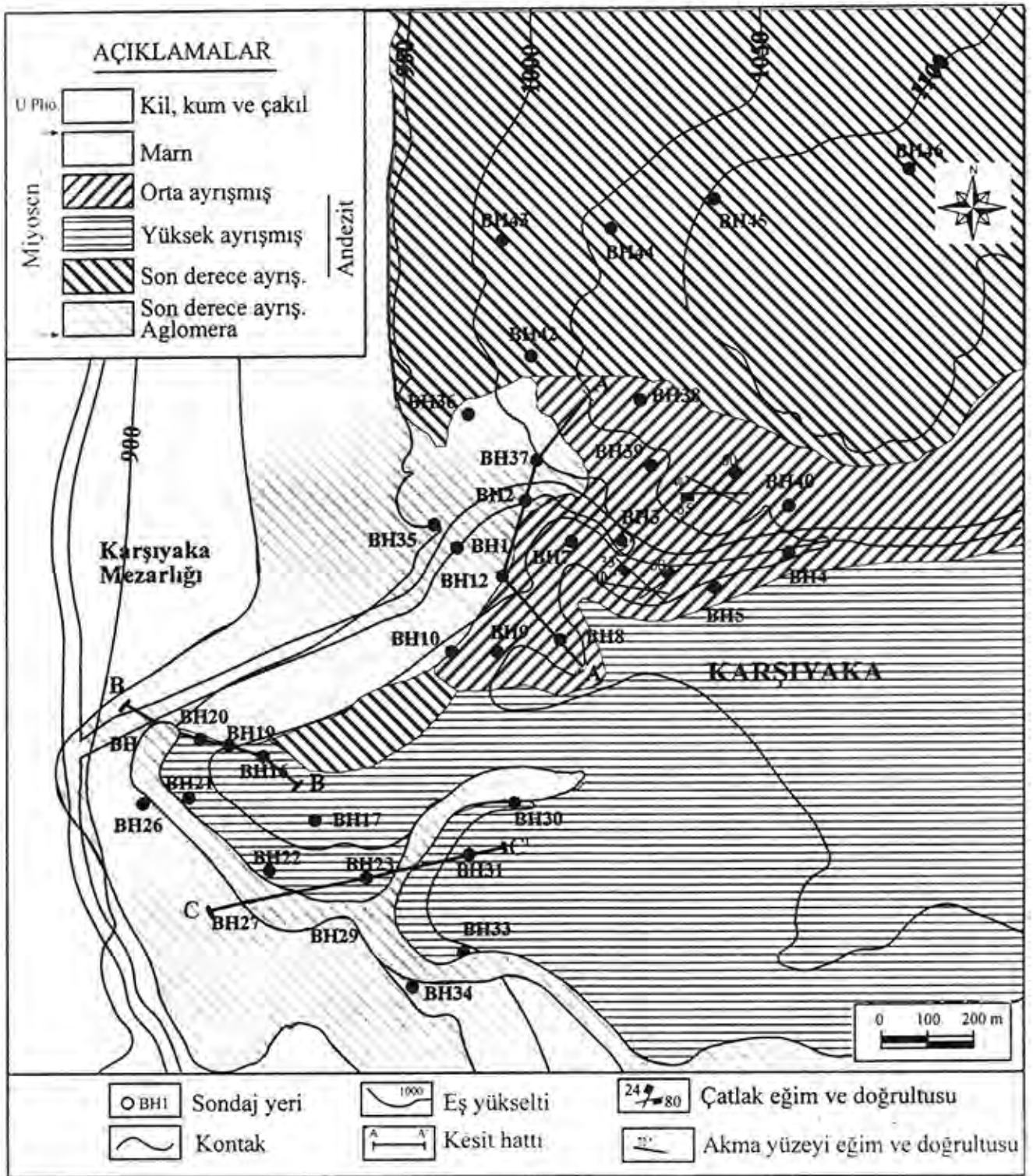
Hyalopilitik dokudaki gri andezitler, andezin, ojit ve amfibolden oluşur. Plajiolazlar zonlanmış yapıdadır. Amfiboller bazen epidota dönüşmüştür.

2.2.2. Kırmızı andezit

Kırmızı andezitin rengi pembeden koyu kahverengiye kadar değişmektedir. Bu durum çalışma alanında BH10 un güneyi ve BH38 in kuzeyinde gözlenmiştir. Akma yüzeyi bu tür andezitlerde gözlenememiştir. Eklemler N34E/24NW ve N50E/80SW şeklinde yönelmişlerdir. Kırıklar şişen tipte kil minerali ile doludurlar. Bu andezitlerin mineralojik bileşimi gri andezitlere benzerdir. Kırmızı andezitler kırık zonlarda son derece ayrılmış ve kile dönüşmüştür.

2.3. Marn

Boz renkli marn, aglomera ve andezit üzerinde uyumludur (Şekil.2). Eğim ve doğrultu eski topoğrafyaya paraleldir. Marn yüksek plastisiteli kil davranışı göstermektedir.



Şekil.2 Karşıyaka bölgesinin jeolojik haritası ve ayrışma bölgeleri (Ankara)

Fig.2 The engineering geological map and alteration zones of the Karşıyaka (Ankara)

2.4. Üst Pliyosen çökelleri

Üst Pliyosen çökelleri kil, silt, kum ve çakıl bileşimindedir. Miyosen üzerinde uyumsuz olarak yer almaktadır (Şekil.2).

3. ARAZİ İNCELEMELERİ

Arazi çalışmalarında süreksizlikler ölçülmüş, 1/1000 ölçekli mühendislik jeolojisi ve ayrışma derecesi haritaları yapılmıştır. Kaya birimlerinin düşey yönde dağılımı belirlemek için toplam uzunluğu 547 m olan 37 adet temel sondajı açılmış ve karot numuneleri alınmıştır. Karot yüzdesi (CR) %10 ile 100 arasındadır. Kaya kalite katsayısı (RQD) %0 ile 65 arasında değişmektedir. Sondajlardan geçen jeolojik kesitler hazırlanmıştır (Şekil.3).

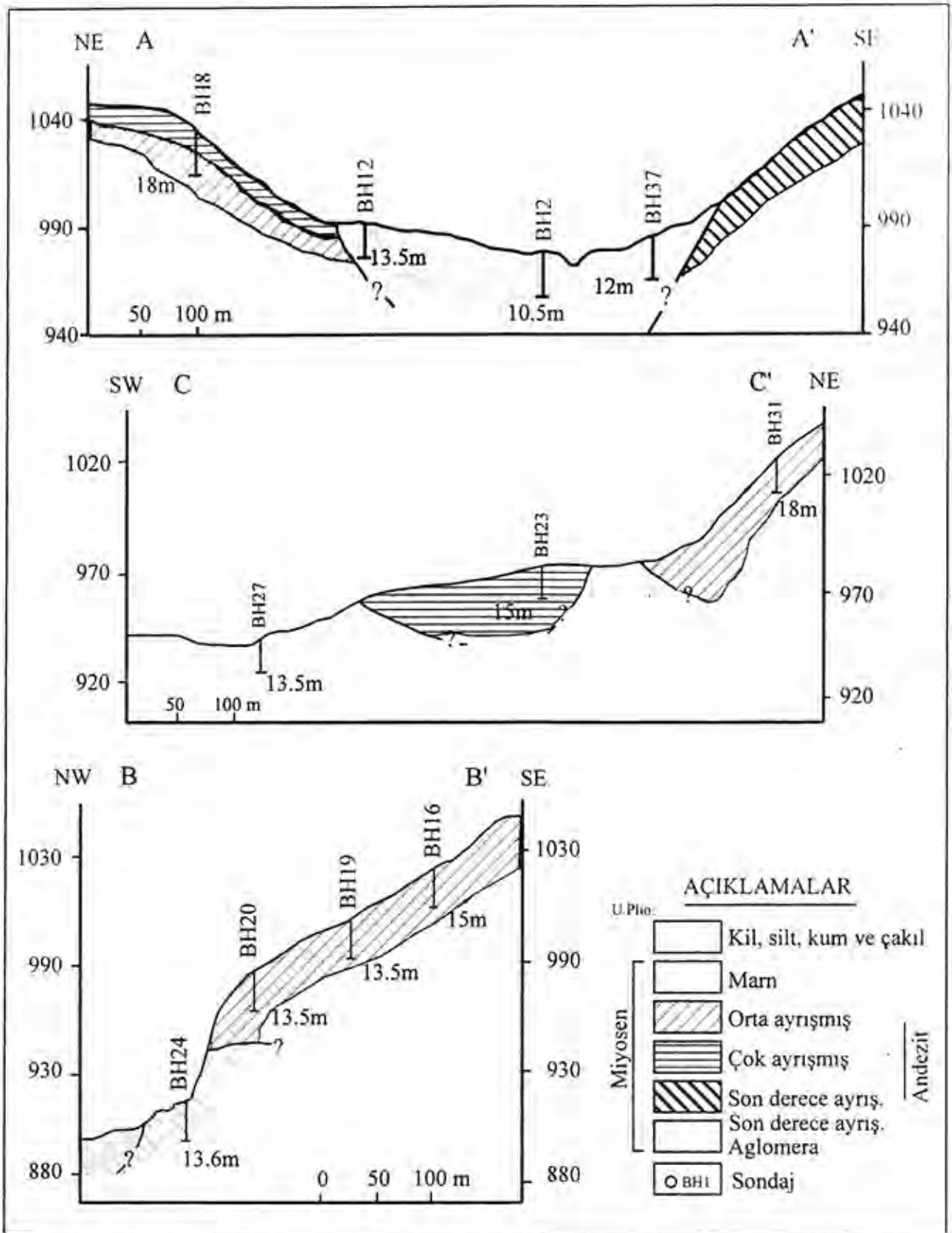
Aglomera ve andezitlerin elastik özellikleri Mernard-G tipi pressiyometre ile BH14, BH27, BH30 ve BH31 nolu kuyularda incelenmiştir. Andezit ve aglomera için başlangıçtaki basınç değişimi 5.90 ve 63.00 kg/cm² arasındadır. Andezit ve aglomeralarda yer altı suyuna rastlanmamıştır.

4. LABORATUVAR İNCELEMELERİ

Laboratuvarda 40 adet andezit numunesi üzerinde deney yapılmıştır. Kuru yoğunluk (ρ_d), tek eksenli basınç direnci (σ_c), statik elastisite modülü (E_s), poisson oranı (ν), P dalga hızı (C_p) ve S dalga hızı (C_s) ASTM standartlarına uygun olarak belirlenmiştir. Çizelge.1 de andezitin ölçülen jeomekanik özellikleri değerlendirilmiştir. Andezitler RQD ye bağlı olarak “çok kötü”, “kötü” ve “iyi” kaya gurubunda ve modül oranına bağlı olarak “düşük dirençli”, “orta dirençli” ve “yüksek dirençli” kaya gurubundadır (Deer ve Miller, 1968).

Çizelge.1 Andezitin jeomekanik özelliklerinin istatistiksel değerleri

Özellikler	Min	Max	Ortalama	S.sapma	S.hata
Kuru yoğunluk, ρ_d , kg/cm ²	2.18	2.58	2.44	0.099	0.022
Tek eksenli bas.dir., σ_c , kg/cm ²	262	1370	802	309.09	69.115
Din.elas.mod., E_d , kg/cm ² x10 ⁵	1.85	5.10	3.52	0.83	0.19
Stat.elas.mod., E_s , kg/cm ² x10 ⁵	1.44	4.41	2.80	0.79	0.18
Poisson oranı, ν	0.24	0.34	0.30	0.027	0.006
P-dalga hızı, C_p , km/s	2.92	5.12	4.35	0.515	0.118
S-dalga hızı, C_s , km/s	1.97	2.73	2.34	0.23	0.05
Birleşik ayrışma indeksi, UAI	0.35	0.61	0.46	0.066	0.016



Şekil.3 İnceleme alanının jeoloji kesiti ve ayrışma zonları

Fig.3 The geological section of the studied area and alteration zones

5. ANDEZİTLERİN AYRIŞMA DERECEİ

Andezitlerde ayrışma derecesinin belirlenmesinde, karot numune üzerinde P dalga hızı (C_p) ve andezitin tek eksenli basınç direnci (σ_c) kayıp yüzdeleri esas alınmıştır (Kılıç, 1995a ve 1995b): Andezitlerde birleşik ayrışma indisi (UAI) aşağıdaki eşitlik ile hesaplanmıştır

$$UAI = \sqrt{\left[1 - \frac{C_{pa}}{C_{pi}}\right] \left[1 - \frac{\sigma_{ca}}{\sigma_{ci}}\right]}$$

Burada;

C_{pa} =Ayrışmış andezitin P dalga hızı

C_{pi} =Ayrışmamış andezitin P dalga hızı

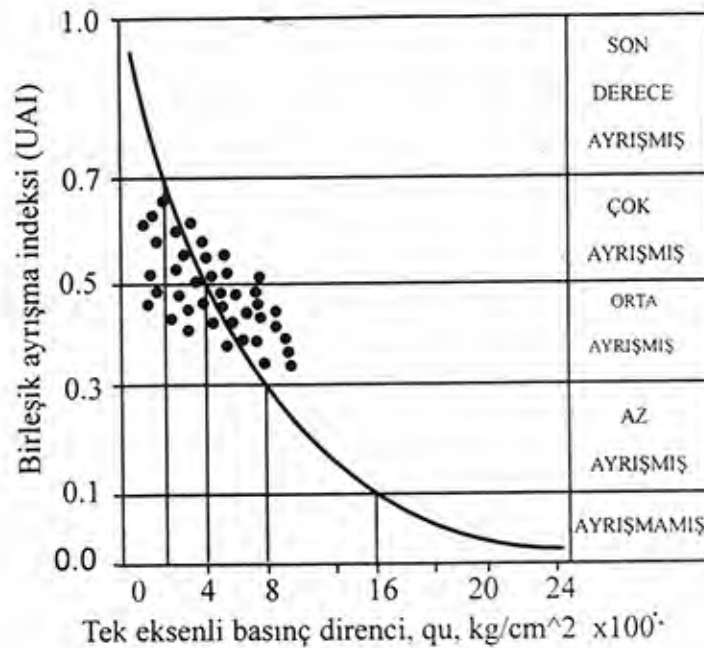
σ_{ca} =Ayrışmış andezitin tek eksenli basınç direnci

σ_{ci} =Ayrışmamış andezitin tek eksenli basınç direnci

UAI ya göre diyabaz ve bazalt gibi mafik kayalar 5 guruba ayrılmıştır. Andezitler bu sınıflamaya göre gruplandırılmış ve sonuçları Çizelge 2 ve Şekil 4 de verilmiştir.

Andezit için UAI ile σ_c arasında aşağıdaki ilişki mevcuttur.

$$UAI = \exp(-0.62 - 3.59 \cdot 10^{-4} \sigma_c) \quad (r = -0.71)$$



Şekil.4 Mafik kayaların UAI ya göre sınıflaması ve Karşıyaka andezitlerinin dağılımı

Fig.4 The classification system based on UAI and Karşıyaka andesites plotted

Karşıyakadaki andezitlerin %60 ı “orta ayrıışmış” ve %40 ı “yüksek ayrıışmış” tır. Bu sınıflamalar Şekil.2 deki jeoloji haritası ve Şekil.3 deki kesitler bölgelendirilerek gösterilmiştir.

Çizelge.2 Mafik kayalar için UAI, σ_c ve C_p ye bağı sınıflama sistemi ve andezitin ayrıışma derecesi yüzdeleri

Gr.	Ayrıışma derecesi	UAI	$C_p(m/s)$	$\sigma_c(kg/cm^2)$	Ayrıışma %
I	Ayrıışmamış	<0.10	>6750	>1600	0
II	Az ayrıışmış	0.10-0.30	6750-5500	1600-800	0
III	Orta ayrıışmış	0.30-0.50	5500-4250	800-400	60
IV	Çok ayrıışmış	0.50-0.70	4250-3000	400-200	40
V	Son derece ayrıışmış	0.70<	3000>	200>	0

6. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Karşıyaka civarındaki volkanitlerin arazi ve laboratuvar incelemelerinden elde edilen sonuçlar ile öneriler aşağıda sunulmuştur.

1. Karot numunelerin alındığı andezitler UAI ya bağı olarak sınıflandırılmıştır. Karot alınamayan andezit ve aglomeralar son derece ayrıışmış olarak kabul edilmiştir. Ayrıışma derecesi kısa mesafe ve derinliklerde değişmektedir.
2. Andezitler akma yüzeyleri şeklinde süreksizlikler içermektedirler. Gelişigüzel çatlaklara ilave olarak iki eklem takımı tanımlanmıştır.
3. Andezitlerdeki çatlaklar 1 mm ile 50 mm kalınlığında şişen tipte killerle doludur. Kesme direnci parametrelerinden kohezyon (c) ve içsel sürtünme açısı (ϕ) sağlam andezitlerde ve aglomeralarda yeraltı suyuna bağı olarak azalmaktadır. Bu nedenle taşıma gücü ve şev stabilitesi problemleri ortaya çıkmaktadır. Ayrıışmanın kısa mesafelerdeki değişikliği farklı oturmalara neden olacaktır.
4. Pressiyometre deney sonuçlarına göre taşıma gücü $5.90 kg/cm^2$ nin üzerindedir.
5. İnceleme alanında doğal şev eğimi %13-54 arasındadır. Akma yüzeyleri ve diğer süreksizliklerin kille dolu olması nedeni ile şev kazılarının $\frac{1}{2}$ oranında yapılması uygun olacaktır. Düşeye yakın şevlerde betonarme perde ve ankraj yapılmalıdır.
6. Karşıyaka 4. derecede depremi bölgesindedir. 50 km çapındaki bir alanda oluşacak depremin magnitudü 100 yıl içerisinde $M=4.8$ periyoduna dönüşecektir.

7. KAYNAKLAR

- DEERE, D.U. and MILLER, R.P., 1966, " Engineering classification and index properties for intact rock", Air Force Weapons Lab. Tech. Report, AFWL-TR-65-116. Kirtland Base, New Mexico.
- KILIÇ, R.,1995a, "Geomechanical properties of the ophiolites and alteration degree of diabase (Çankırı/Turkey)" Bulletin of the International Association of Engineering Geologist IAEG), Vol.50, Paris, France, pp.43-50.
- KILIÇ, R., 1995b, "The degree of alteration and geomechanical properties of diabase in the Ankara ophiolitic melange, Turkey" Bulletin of the Association Engineering Geologist (AEG), USA, Vol.1, pp.341-351.
- M.T.A., 1980, "Ankara metropoliten arazi kullanım haritası" s.99, Ankara, Turkey.

**BEYPAZARI TRONA SAHASI ANA GİRİŞ DESANDRESİNİ KESEN
SONDAJLARA AİT JEOTEKNİK PARAMETRELERİN KORELASYONU
CORRELATION OF THE GEOTECHNICAL PARAMETERS OF THE MAIN DRIFT
BOREHOLES OF THE BEYPAZARI TRONA FIELD**

M. Y. KOCA* ve C. KINCAL*

* Dokuz Eylül Üniv., Müh. Fak., Jeoloji Müh. Bölümü, 35100, Bornova/İZMİR
e-mail : kincal@izmir.eng.deu.edu.tr, nturk@izmir.eng.deu.edu.tr

ÖZET

Beypazarı trona (tabii soda) yatağı Orta-Üst Miyosen yaşlı ve gölsel karakterli Hırka Formasyonu'nun alt seviyeleri içinde yer almaktadır. Trona yatağını işletmek için K16B yönünde ve 14° eğimle açılması planlanan ana giriş desandresinin toplam boyu 891 m olup yaklaşık %56'lık bölümü Hırka Formasyonu içerisinde açılacaktır. Planlanan desandre güzergahında geçilecek formasyonların jeoteknik özelliklerini belirlemek için açılan DS-1 ve DS-2 karotlu sondajlarında kesilen formasyonların kaya kütle sınıflamalarına yönelik olarak; **a)** Kaya Kalite Değeri (RQD%), **b)** Toplam Karot Verimi (TCR%) ve Karot Kayıpları (%KK), **c)** Süreksizlik Ara Uzaklığı ve **d)** Süreksizlik Sıklığı gibi jeoteknik parametreler sondaj loglarından hesaplanarak elde edilmiştir. Önceden açılmış bulunan TS-2 sondajına ait benzer veriler de elde edilmiş ve planlanan ana giriş desandresini kesen DS-1 ve DS-2 sondajlarının yukarıda bahsedilen jeoteknik parametreleri deneştirilmiştir. Düşük RQD% ve TCR% oranları ve de yüksek karot kayıplarının nedenleri geçilen formasyonların litolojik özellikleri, mevcut faylar ve kırıklar dikkate alınarak araştırılmıştır. Ayrıca RQD%'sini deneştirme kesiti hazırlanarak ana giriş desandresi boyunca kırıklılığın yoğun olduğu kesimler önceden belirlenmiştir.

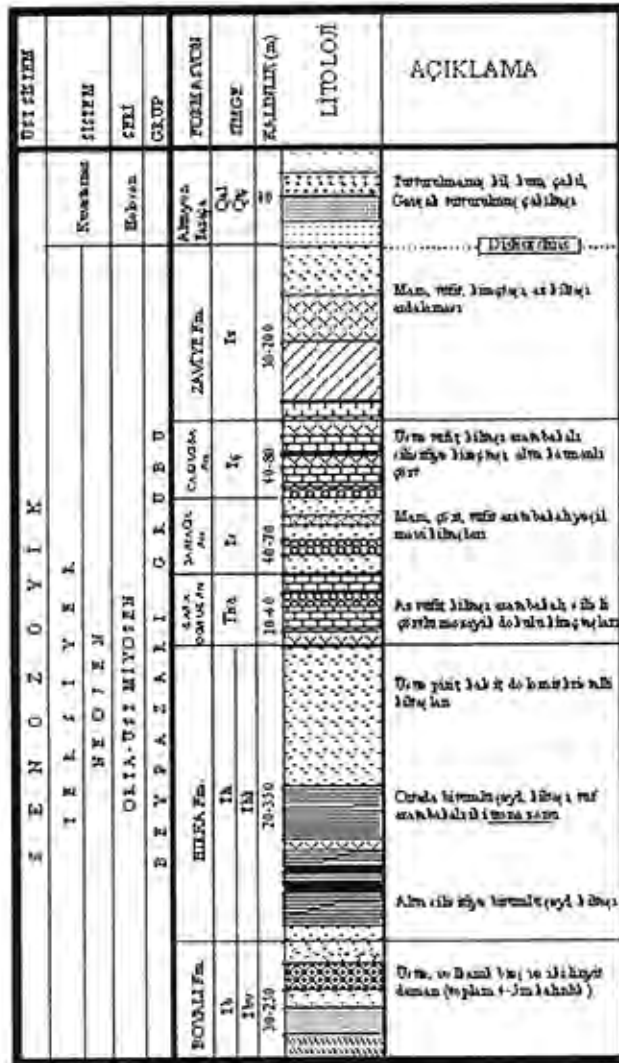
ABSTRACT

Beypazarı trona bed is placed in lower parts of the Middle – Upper Miocene aged Hırka Formation having lacustrine characteristics. The Main drift of Beypazarı trona mine which is planned to be opened in the N16W direction and at an inclination of 14° has a total length of 891 meters and of this length approximately %56 of it will be opened in the Hırka Formation. The geotechnical parameters like **a)** Rock Quality Designation (%RQD), **b)** Total core recovery (%TCR) and core losses (%CL), **c)** Discontinuity spacing and **d)** Discontinuity frequencies of the formations passed with the DS-1 and DS-2 boreholes are estimated from

the logs of these boreholes. The similar data belonging to TS-2 borehole which was opened before in the area, were also obtained and the geotechnical parameters of the boreholes DS-1 and DS-2 passing through the main drift were correlated. The causes of low RQD% and TCR% ratios and high core loses are investigated by also considering the lithological features of the formation drilled through present faults and cracks. Additionally, by preparing the cross section of RQD% the locations where the fracturing is very dense along the main drift were predetermined.

1. BEYPAZARI TRONA SAHASININ JEOLJISI

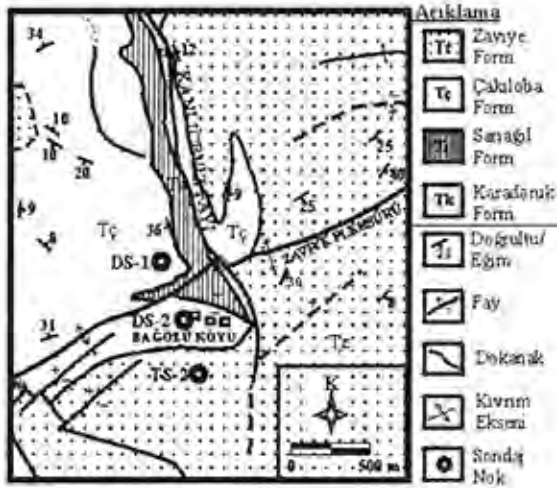
Beypazarı tabii soda (trona) yatağı Orta-Üst Miyosen yaşlı ve gölsel karakterli olan Hırka Formasyonu'nun alt seviyeleri içinde yer almaktadır (Helvacı ve diğ., 1989). Trona sahası, Beypazarı Neojen havzası volkano-sedimenter istifinde yer alır. Trona yatağı kuzeyde Çakıloba kıvrımı ve güneyde ise Zaviye fayları ile sınırlandırılmış; K64D uzanımlı,



4.7 km uzunluğunda ve 1.7 km eninde olan yaklaşık 8 km² lik bir alana yayılmış gölsel bir havza içerisinde bulunmaktadır. Çalışma alanı içinde yer alan ve Beypazarı grubu olarak da adlandırılan 7 adet formasyon aşağıdan yukarıya doğru Boyalı, Hırka, Karadoruk, Sarıağıl, Çakıloba, Zaviye ve Üçyatak Formasyonlarıdır (Şekil 1). Önceki çalışmalarda gerçekleştirilmiş olan TS-2 sondajı ile bu çalışma kapsamında açılan DS-1 ve DS-2 sondajlarının konumları ve yüzeyleyen kaya birimlerinin sınırları Şekil 2'deki jeoloji haritasında sunulmuştur.

Şekil 1: Stratigrafik kolon kesit.

Figure 1: Stratigraphic columnar section.

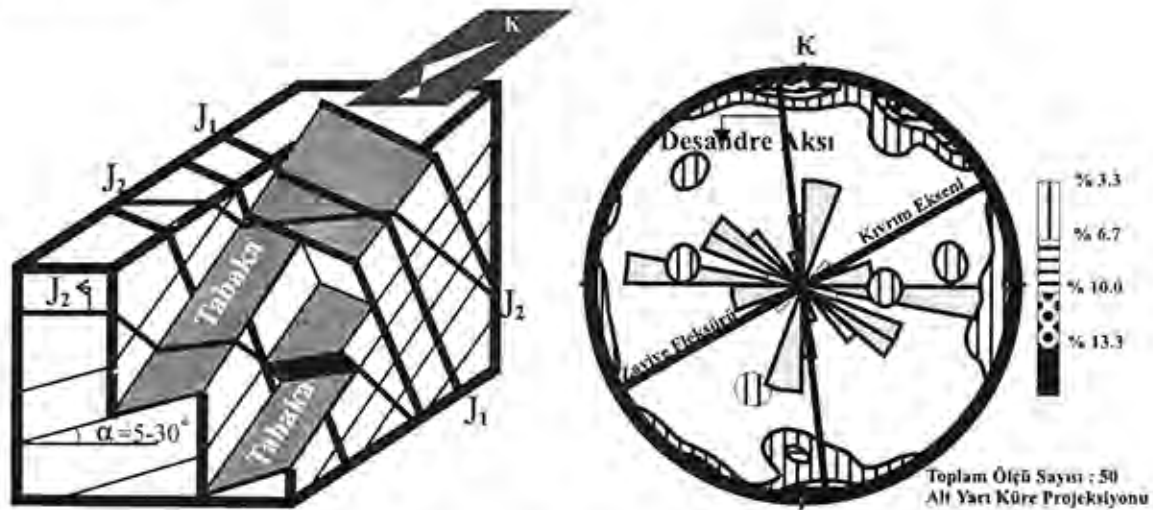


Şekil 2 : İnceleme alanının jeoloji haritası
Figure 2 : Geological map of the study area.

2. YAPISAL JEOLojİ

Çalışma alanı ve doğal soda yatağı iki farklı fay sistemiyle sınırlandırılmıştır (Erenel ve diğ., 1998). Sahayı güneyden sınırlayan Zaviye fayı ve/veya fleksürünün yapısal durumu tartışılmalıdır. Önceki araştırmacılar tarafından düşey ve/veya yüksek eğimli normal fay olarak tanımlanmış ve konumu K 60 D / 80 – 85 GD olarak belirlenmiştir. Bu çalışmada, incelenen 8 km² lik alan içinde önceki araştırmacılar tarafından

fay olarak nitelenen yapısal elemanın bir fleksür olduğu belirlenmiştir. Çakılloba fayı genel doğrultusu K73D olan ve kanat eğim açıları 10°-60° arasında değişen bir kıvrım serisi olarak tanımlanmaktadır. Zaviye fleksürünün yaklaşık 100 m kuzeyinde yer alan AP-8 fayı düşeye yakın eğim değerinde olup tortullaşma sonrası gelişmiş sünümlü bir normal faydır. DS-2 eğimli sondajında bu fay kesilmiştir. İnceleme alanında mevcut çatlak takımları (J₁ ve J₂ takımları) ile tabakaların konumları blok diyagramında ve süreksizliklere ait kontur diyagramı verilerek, bu çatlak takımları ile Desandre aksının konumsal ilişkileri Şekil 3'te gösterilmiştir.



Şekil 3 : İnceleme alanındaki çatlak takımlarının üç boyutlu blok diyagramında ve kontur diyagramında görünümü.

Figure 3 : Block and contour diagrams showing joints and bedding in the study area.

3. MÜHENDİSLİK JEOLJİSİ

3.1 Giriş

Beypazarı trona sahasında yapılacak olan madencilik faaliyetlerine temel teşkil edecek olan ve açılması planlanan “**Ana giriş desandresi**”nin kazı ve tahkimat planlamasının rasyonel yapılabilmesi kazı zemininin jeolojik ve jeoteknik özelliklerinin iyi bilinmesini gerekli kılmaktadır. Desandre güzergahının aksi boyunca mevcut TS-2 sondajı dışında iki adet sondaj öngörülmüş ve bu sondajlardan **DS-1** sondajı düşey, **DS-2** sondajı ise 50° eğimli olarak açılmıştır. Sondajların ilerlemesine koşut olarak jeoteknik loglar tutulmuştur. K16B-G16D yönünde ve 14° eğimle açılması planlanan ana giriş desandresinin yaklaşık 115 metresi Zaviye formasyonu, 122 metresi Çakıloba formasyonu, 117 metresi Sarıağıl formasyonu, 42 metresi Karadoruk formasyonu ve 495 metresi de Hırka formasyonu içinde açılacaktır. Desandrenin toplam boyu yaklaşık 891 metre olup % 56’ lık bölümü Hırka formasyonu içerisinde yer almaktadır. Planlanan desandre güzergahında geçilen formasyonları içeren **DS-1** ve **DS-2** karotlu sondajlarında kesilen formasyonların kaya kütle sınıflamalarına yönelik olarak aşağıdaki jeoteknik parametreler her manevra için sondaj loglarından elde edilmiştir: **a) RQD%, b) TCR%, c) Süreksizlik sayısı, d) Süreksizlik ara uzaklığı.** RQD%, TCR% ve süreksizlik sayılarının derinlikle değişim grafikleri DS-1 ve DS-2 sondajları için ayrı ayrı olmak üzere Şekil 4’de sunulmuştur. Bu parametreler **DS-1** ve **DS-2** karotlu sondajları için birbirinden bağımsız bir şekilde ayrı ayrı yapılmış ve elde edilen değerler sonradan karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma sonunda, kaya kalitesinin (RQD%) düşük olduğu ve kırıklılığın diğer seviyelere oranla yüksek olduğu zonlar belirlenmiştir. Bu zonlar yüzey topoğrafyasına uygun şekilde uzatılarak devam ettirilmiş ve desandre güzergahını kestiği noktalar belirlenerek bu aşırı kırıklı zonlar ($d \leq 5\text{cm}$) jeolojik kesit üzerinde gösterilmiştir (RQD% denestirme kesiti).

3.2 Sondaj Çalışmaları

Önceden açılmış bulunan TS-2 sondajının, açılması düşünülen ana giriş desandresinin güzergahı üzerinde bulunması nedeniyle TS-2 sondajı verileri bu çalışmada kullanılmıştır (E.İ.E, 1997), (Çizelge 1). DS-1 sondajının 270.55 metresinde sodalı zonlara ulaşılmış ve 270.55-354.55 metreleri arasında tronalı zonlar ve de DS-1’ in alt kesimlerinde özellikle tronalı zonda yer yer yüksek soda içeriğinde killi seviyeler kesilmiştir. DS-1 sondaj verileri Çizelge-2’de, DS-2 sondaj verileri ise Çizelge 3’te sunulmuştur.

Çizelge 1 : TS-2 sondajı veri çizelgesi (E.İ.E., 1997).

Table 1 : Data table of the TS-2 borehole (E.İ.E., 1997).

TS-2 Sondajı	Derinlik		SONDAJ KAROT KALİTESİ (%)					
Geçilen Formasyon	Başlangıç (m)	Bitiş (m)	Toplam Karot Verimi (TCR)		Silindirik Karot Verimi (ICR)		Kaya Kalite İndeksi (RQD)	
			WM	AM	WM	AM	WM	AM
ZAVİYE	0.00	40.00	88.97	91.13	22.06	32.48	15.17	20.71
ÇAKILOBA	40.00	81.40	98.07	98.9	71.15	73.06	51.12	52.04
SARIAĞIL	81.40	128.40	94.99	93.3	70.88	67.5	57.42	52.87
K.DORUK	128.40	151.75	99.14	98.9	71.89	67.7	57.72	50.94
HIRKA	151.75	388.00	93.4	91.9	74.69	72.5	46.58	46.04
TOPLAM	0.00	388.00	93.99	93.15	68.27	66.20	45.82	43.41

Çizelge 2 : DS-1 sondajı veri çizelgesi.

Table 2 : Data table of the DS-1 borehole.

DS-1 Sondajı	Derinlik		SONDAJ KAROT KALİTESİ (%)					
Geçilen Formasyon	Başlangıç (m)	Bitiş (m)	Toplam Karot Verimi (TCR)		Silindirik Karot Verimi (ICR)		Kaya Kalite İndeksi (RQD)	
			WM	AM	WM	AM	WM	AM
ZAVİYE	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
ÇAKILOBA	0.00	49.45	82.37	82.08	66.99	62.72	43.65	37.58
SARIAĞIL	49.45	115.85	85.31	81.61	51.10	49.98	46.38	38.81
K.DORUK	115.85	138.65	84.87	88.67	46.80	56.65	35.26	43.62
HIRKA	138.65	384.05	94.36	94.30	75.90	73.01	62.91	60.15
TOPLAM	0.00	384.05	90.69	86.65	68.74	60.59	55.93	45.04

Çizelge 3 : DS-2 sondajı veri çizelgesi.

Table 3 : Data table of the DS-2 borehole.

DS-2 Sondajı	Derinlik		SONDAJ KAROT KALİTESİ (%)					
Geçilen Formasyon	Başlangıç (m)	Bitiş (m)	Toplam Karot Verimi (TCR)		Silindirik Karot Verimi (ICR)		Kaya Kalite İndeksi (RQD)	
			WM	AM	WM	AM	WM	AM
ZAVİYE	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
ÇAKILOBA	0.00	20.20	35.14	48.45	7.87	10.87	5.44	7.10
SARIAĞIL	20.20	96.70	64.50	73.09	44.33	49.68	35.24	39.89
K.DORUK	96.70	116.45	81.01	83.13	61.82	63.67	48.50	49.14
HIRKA	116.45	290.50	92.67	99.67	74.16	83.10	58.58	72.43
TOPLAM	0.00	290.50	80.46	76.08	60.86	51.83	48.05	42.14

AM: Aritmetik Ortalama WM: Ağırlıklı Ortalama

DS-2 sondajı TS-2' ye 257m, DS-1' e 405 metredir ve yapılış amacı DS-1 ve TS-2 sondajları arasında kalan alanda mevcut formasyonları tanımlamak, AP-8 ve Zaviye fayları'nın yeraltındaki izlerini tespit etmektir (Şekil 2). Toplam boyu 290.50 m olarak gerçekleşen sondajda Zaviye Fayı kesilememiştir. Bu fayın aşağı kotlarda izlerine rastlanmamış ancak buna karşılık sondajın yaklaşık 94. metresinde AP-8 fayının izi tespit edilmiştir.

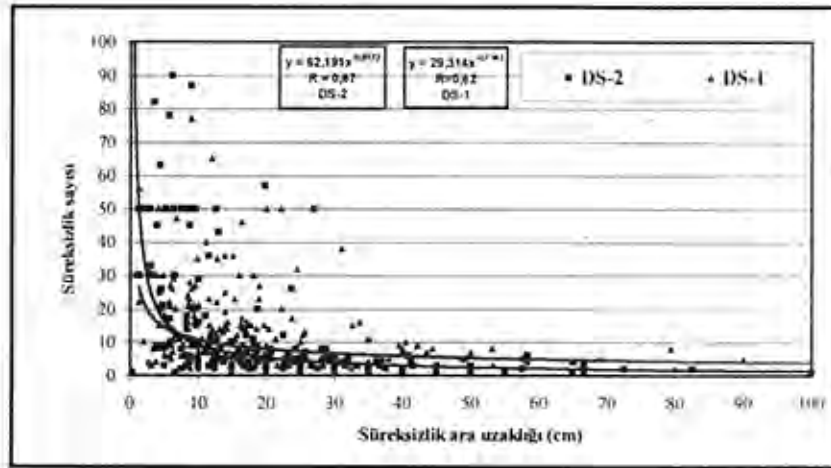
3.3 Süreksizlik Sayısının Derinlikle Değişimi

DS-1 sondajında Çakılloba Formasyonu'nun 0.0-49.45 metreleri arasında ve Hırka Formasyonu'nun 170.10-299.95 metreleri arasında süreksizlik sayısının diğer seviyelere oranla daha yüksek olduğu Şekil 4'de görülmektedir. Çakılloba Formasyonu'nda baskın

değerler 5-10 arasındadır. Kırılganlığı yüksek silisli seviyeler ara düzeyler şeklindedir. DS-2 sondajında süreksizlik sayısının yüksek olduğu zonlarla (0.0-63.75 metreler arası ve 225.55-289.40 metreler arası), DS-1 sondajında bu zonların karşılıkları olan seviyeler grafikler üzerine işaretlenmiştir (Şekil 4). Her iki sondajda da bahsedilen zonlara ait (X1 ve X2 zonları) süreksizlik sayıları 10 ve/veya daha yüksek değerlere sahiptir (Şekil 4).

3.4 Süreksizlik sayısı-süreksizlik ara uzaklığı ilişkisi

Bu parametre sondajlı çalışmalarda bir ilerlemedeki (manevradaki) toplam süreksizlik sayısının ilerleme boyuna oranıdır. DS-1 ve DS-2 sondajlarının jeoteknik amaçlı değerlendirilmesinde süreksizlik sıklıkları her manevra için hesaplanmış ve hesaplanan ortalama değerler süreksizlik ara uzaklığının bulunmasında kullanılmıştır. DS-1 ve DS-2'deki her manevra için tüm değerler tek bir grafik üzerine aktararak, süreksizlik sayısı-süreksizlik ara uzaklığı ilişkileri elde edilmiştir (Şekil 5). Tüm formasyonların birarada değerlendirildiği grafikte süreksizlik sayısı-süreksizlik ara uzaklığı arasında negatif exponansiyel bir ilişki elde edilmiştir : $y=29.314x^{-0.4343}$, $n = 215$ (n = grafik üzerine düşülen nokta sayısı).



Şekil 5 : DS-1 ve DS-2 sondajlarında süreksizlik sayısı-süreksizlik ara uzaklığı ilişkisi.

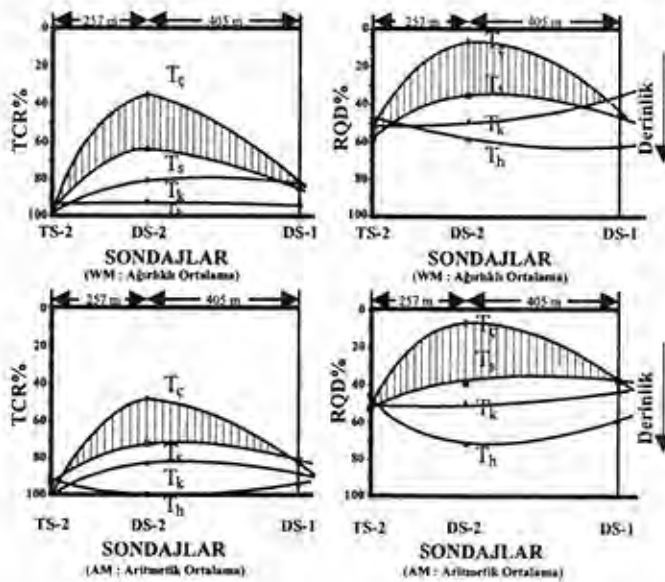
Figure 5 : Relationship between number of fractures-spacing in the DS-1 and DS-2 boreholes.

DS-2'ye ait tüm verilerin değerlendirilmesinde ise bu ilişki, $y=62.191x^{-0.8172}$ olarak elde edilmiştir (Şekil 5). DS-2 sondajında, Zaviye Fleksürü'nün Çakılloba ve Sarıağıl formasyonları üzerindeki deformatif etkisinin belirlenebilmesi için bu formasyonlarda bahsedilen ilişkiler ayrıca değerlendirilmiştir. Örneğin, Çakılloba Formasyonu için süreksizlik sayısı-süreksizlik ara uzaklığı ilişkisine bakıldığında; DS-1 formasyonunda 28 manevradan 21'inde süreksizlik sayıları 30'un altında, DS-2 sondajından ise 10 manevradan 7'inde süreksizlik sayıları 30'un üzerindedir (Şekil 4). DS-1' de süreksizlik ara uzaklıklarının

5-15 cm, DS-2' de ise 2-10 cm arasında baskın değerler aldığı Şekil 4 ve 5'den anlaşılmaktadır. Bu durum, DS-2'de geçilen Çakıloba Formasyonuna ait 20.20 metrelik zonun daha kırıklı olduğunu göstermektedir.

3.5 DS-1, DS-2 ve TS-2 Sondajlarından Elde Edilen Jeomekanik Özelliklerin Karşılaştırılması ve Zaviye Fleksürünün Bu Parametrelere Olan Etkileri

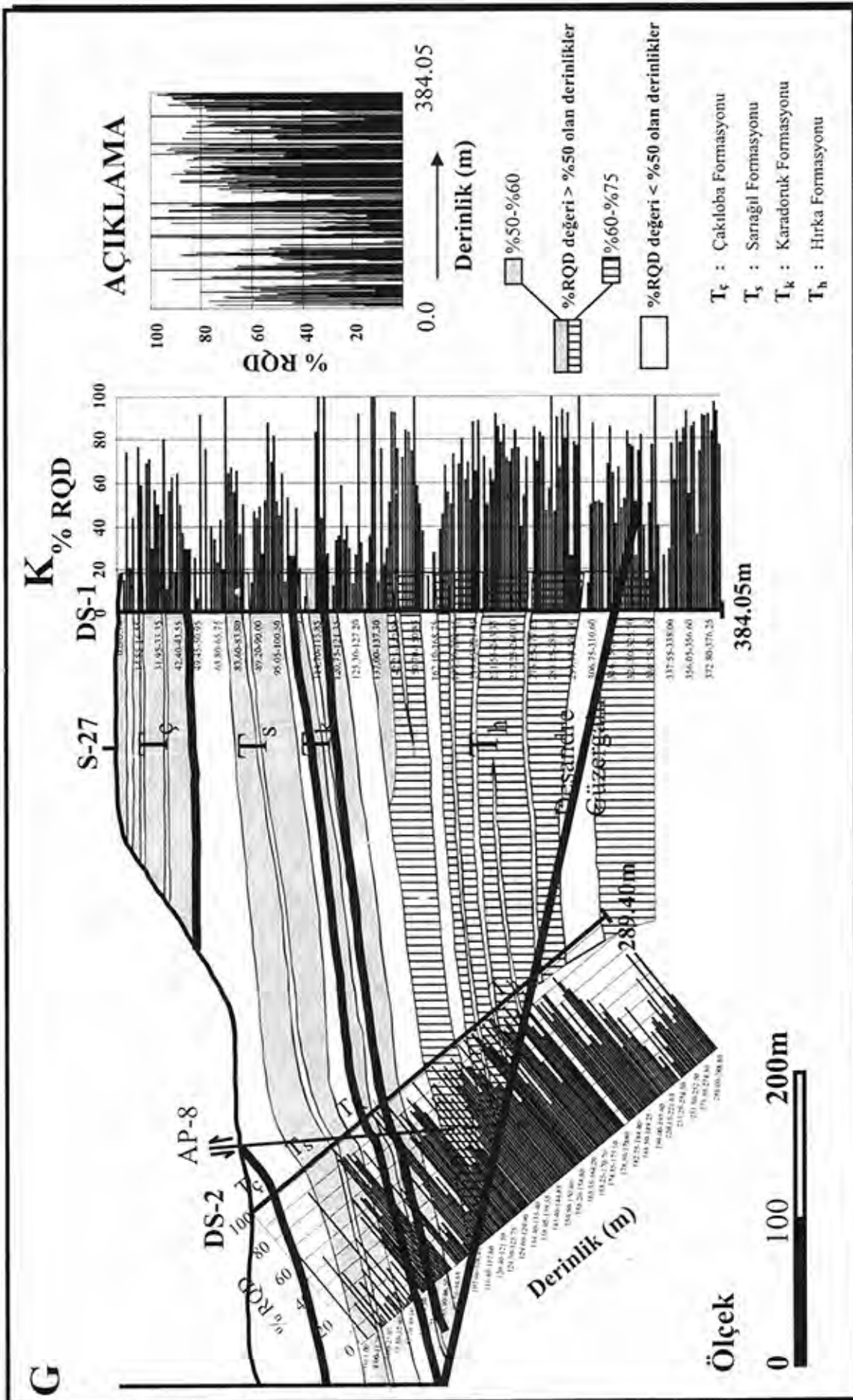
Düşey olarak TS-2'den 83.5 m, DS-2'den 157 m ve DS-1'den 340 m mesafede bulunan ve 14° eğimle açılacak olan "Ana Giriş Desandresi" nin içinden geçeceği kayaçlarla ilgili jeoteknik bilgilerin toplanması ve bu bilgilerin ışığında kaya kütle sınıflamalarının yapılabilmesi öncelikle amaçlanmıştır. Ayrıca, AP-8 fayı ve Zaviye fleksürünün geçilen formasyonlar üzerindeki etkileri belirlenmeye çalışılmıştır. Sondajlarda geçilen her formasyon için TCR% ve RQD% değerleri Çizelge 1, 2 ve 3'de ve bu parametrelerin derinlike değişimleri de Şekil 4'de sunulmuştur. Gerek TCR% gerekse de RQD% değerleri Hırka ve Karadoruk formasyonlarında önemli bir değişiklik ve/veya farklılık göstermemektedir (Şekil 4). Fakat Çakıloba ve Sariağıl formasyonları için TCR% ve RQD% değerleri TS-2 ve DS-1 sondajlarında yüksek, DS-2 sondajında ise çok düşük mertebelerdedir (Şekil 4). Şekil 6'daki grafik, TCR% ve RQD% değerlerinin TS-2, DS-2 ve DS-1 sondajlarında formasyon bazında değişimlerini göstermektedir. Grafiklerde taralı olan alanlarda TCR% ve RQD% değerleri düşüktür. Derine doğru gidildikçe grafikte dışbükeylik kaybolmaktadır. Bu durum, derine gidildikçe TCR% ve RQD% değerlerinin her üç sondajda da bir değişiklik göstermediğini, aynı mertebelerde kaldığına işaret etmektedir. Kuzeyden güneye doğru düşey bir kesit hattı üzerinde



değişiklikler ele alındığında; kırıklılık ve karot kayıpları, Sariağıl Formasyonu'nun tabanına kadar (96.7 m) devam etmekte ve bu noktadan sonra, DS-2'den elde edilen TCR% ve RQD% değerleri, TS-2 ve DS-1'den elde edilenlerle aynı düzeye erişmektedir. DS-2'deki bu değişiklikler Zaviye fleksüründen ve AP-8 fayından ileri gelmektedir. Özellikle fleksürün bükülme noktasında Çakıloba ve Sariağıl formasyonları sıkıştırma kuvvetlerinin

Şekil 6 : TCR% ve RQD% değerlerinin TS-2, DS-2 ve DS-1 sondajlarındaki değişimleri.

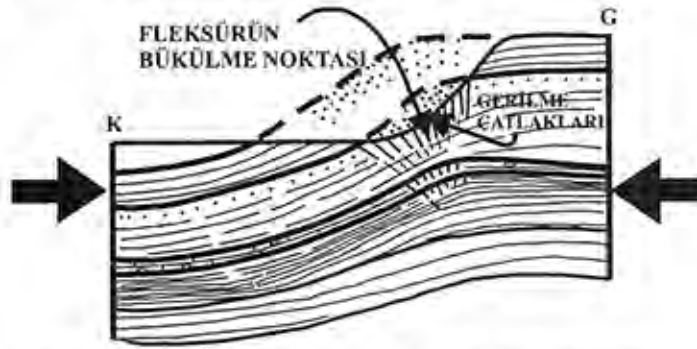
Figure 6 : Changes in the values of %TCR and %RQD in the TS-2, DS-2 and DS-1 boreholes.



Şekil 8 : DS-1 ve DS-2 sondajlarından elde edilen karotlara ait RQD% değerlerinin denetirilmesi ve RQD% değerlerinin derinlikle değişimi.

Figure 8 : Correlation of the %RQD values of the core samples obtained from the DS-1 and DS-2 boreholes and changes of the %RQD values with depth.

etkisiyle deforme olmuşlar ve sık çatlaklı kaya kütleleri haline gelmişlerdir (Şekil 7).



Şekil 7 : Zaviye fleksürünün oluşum mekanizması.

Figure 7 : Mechanism of formation of the Zaviye flexure.

RQD% deneştirme kesitinde Hırka Formasyonu'na ait kayaçların daha masif ve az kırıklı olduğu görülmektedir. Hırka Formasyonu için ağırlıklı ortalama ve aritmetik ortalama değerlerine bakıldığında RQD%'nin >58.58 olduğu Çizelge 1, 2 ve 3'den anlaşılmaktadır.

4. SONUÇLAR

Trona sahasının güneyini sınırlayan ve Zaviye fayı olarak bilinen yapısal elemanın bir fleksür olduğu, karotlu sondajlardan elde edilen verilerin ışığında belirlenmiştir.

DS-2 sondajının yüzeyden itibaren 96.70 metresinde geçilen Çakıloba ve Sarıağıl formasyonları ve bunlara ait jeoteknik parametreleri, TS-2 ve DS-1 sondajlarından elde edilenlere göre çok düşük değerlerde olduğu belirlenmiştir. Gerek RQD% gerekse de TCR% değerlerinin DS-2 sondajında çok düşük olmasının sebebi Zaviye fleksürünün bükülmesinden dolayı oluşan etkiden kaynaklandığı ve ayrıca, AP-8 fayının da bu kırıklı yapının oluşmasında etkisi olduğu belirlenmiştir.

RQD% deneştirme kesiti hazırlanarak, desandre güzergahı üzerinde $RQD\% < 50$ olduğu (düşük kaliteli kayaçlar) zonlar önceden belirlenmiştir.

5. KAYNAKLAR

- Helvacı, C., İnci, U., 1989, Beypazarı trona yatağının jeolojisi, mineralojisi, jeokimyası ve yörenin trona potansiyeli, Tübitak raporu, proje no : TBAG 985, İzmir.
- Erenel, H.M., Özkan, S., Özdemir, G., 1998, Beypazarı doğal soda sahasındaki örtü birimlerinin jeoteknik özellikleri, T.M.M.O.B. JMO yayını, sayı 53, sayfa 1-12, Ankara.
- E.İ.E., 1997, Elektrik İşleri Etüd İdaresi, Ankara-Beypazarı trona sahası raporu (yayınlanmamış), Ankara.

BASINÇLI SU TÜNEL VE ŞAFTLARININ TASARIM ESASLARI VE ÜLKEMİZDEKİ BAZI UYGULAMALAR

DESIGN PRINCIPLES OF PRESSURIZED TUNNELS AND SHAFTS AND CASE STUDIES IN TURKEY

Hasan TOSUN

Osmangazi Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Batı Meşelik, ESKİŞEHİR

ÖZET

Basınçlı su tünel ve şaftlarında, açıklığı çevreleyen kayaç özelliklerine göre farklı tasarım esasları takip edilir. Ayrışma etkisinin görülmediği veya çok az görüldüğü yaşlı kayaç birimlerinde kaplamasız tasarım benimsenmektedir. Aksi halde, kayaç kütlelerinin geomekanik özelliklerine ve sistemdeki su yükünün büyüklüğüne göre değişen kalınlıkta donatılı veya donatısız beton kaplama dikkate alınır. Ayrışma etkisinin fazla olduğu kayaç birimleri içinde açılan ve yüksek su yüküne maruz kalan yapılarda, beton kaplama ile birlikte sürekli çelik elemanlar kullanılmaktadır. Bu bildiride, basınçlı tünel ve şaft yapıları için öngörülen tasarım esasları özetlenmekte ve bu esaslar dahilinde, ülkemizde uygulanan üç ayrı proje değerlendirilmektedir.

ABSTRACT

For the pressurized tunnels and shafts, different design procedures are adopted as depending on the properties of surrounding rock masses. If the surrounding rock masses formed at old geological time are unweathered or slightly weathered, the structure can be designed as unlined. Otherwise, the reinforced and unreinforced concrete lining, as considering the geomechanical properties of rock masses and the magnitude of water head acting on the system, should be used. The continuous steel plate can even be needed when highly weathered rock masses and soils are available. This paper summarizes the design procedures for the pressurized tunnels and shafts and evaluates the applications for three separate projects in Turkey.

1.GİRİŞ

Tünel destek tasarımında en rasyonel çözümler; tüneli çevreleyen kaya ve kullanılan destek sisteminin ortak davranışını dikkate alan yöntemlerle elde edilmektedir. Bu yöntemlerle tasarımda; zeminin direnci optimum seviyeye kadar mobilize edilerek stabilite sorunu olmadan destek gereksinimi azaltılır, açıklık etrafındaki kayaç birimlerinde oluşan aşırı gerilmeler daha düşük seviyeye indirilir ve açıklığı çevreleyen kayaç birimlerinin malzeme davranışı geliştirilir. Bu tip tasarımda kayaç kütlesine ait elastik sabitlerin önemli bir etkisi vardır. Özellikle basınçlı tünel ve şaftların tasarımında, kayaç kütlesi geomekanik karakteristiklerinin önemle dikkate alınması gerekmektedir.

Bugün dünyada iç basınçlı tünel ve şaft gibi yeraltı yapılarının tasarımında ve inşasında, önemli bilgi birikimi elde edilmiştir. Eski jeolojik zaman dilimleri (Prekambriyen ve Palcozoik) içinde oluşmuş, ayrışma etkisinde kalmamış kayaçlarda yüksek iç basınçlı tünel ve şaftlar başarıyla açılmış, kaplamasız olarak projelendirilmiş ve başarıyla işletmeye alınmıştır. Bu tünel ve şaftların büyük bir bölümünün, metamorfik oluşumlu sağlam kayaçlar içinde açıldığı belirtilmelidir. Elektrik enerjisi üretiminin tamamına yakını hidroelektrik potansiyelden karşılayan Norveç'te, 2500 km enerji tüneli ve yaklaşık 250 yeraltı santrali inşa edilmiştir (Broch,1984). Bugün bu sayılar, çok daha yüksek seviyelerde bulunmaktadır. Son yıllarda büyük rezervuar oluşumu ile ilgili çevresel, arkeolojik ve sosyal bazı problemlerin meydana gelmesi, tünel-şaft siteminden oluşan enerji projelerini daha avantajlı hale getirmiştir.

Ayrışma etkisinde kalmış kayaç içinde açılan tünel ve şaftlarda, kazı yüzeyine yakın parçalı kaya kütlesinin stabilitesinin sağlanması ve su kaçaqlarının önlenmesi için beton kaplama kullanılmaktadır. Bu tip bir uygulama ile, tünel çeperindeki sürtünmeden dolayı oluşan yük kaybı da en aza indirilmektedir. Düşük iç basınçlı tünellerde beton kaplamalar donatısız olarak tasarlanır. Ancak yüksek iç basınçlı tünellerde, tünel kesişimlerinde, geniş kesitli tünellerde, portal bölgelerde, tüneli çevreleyen kayaç birimlerinin göreceli olarak zayıf olduğu ve örtü yükünün su basıncını dengeleyemeyecek kadar yetersiz olduğu yerlerde, beton kaplamalar donatılı olarak tasarlanır. İç basıncın oldukça yüksek veya elemanı çevreleyen zemin koşullarının oldukça kötü olduğu durumda, beton kaplama ile birlikte sürekli çelik kaplama kullanılır. Ülkemizde kaplamasız durum hariç, konuyla ilgili önemli uygulamalar yapılmıştır.

2. TASARIM ESASLARI

2.1. Kaplamasız Tünel ve Şaft Tasarımı

Kaplamasız olarak işletmeye alınan bir çok basınçlı tünel ve şaftta, başlangıçta kaçak su problemiyle karşılaşmıştır. Norveç'te kaplamasız basınçlı şaftların tasarımında, çalışma noktasındaki düşey derinlik (h) ile bu nokta üzerindeki statik su yükünü (H) ilişkilendiren bir amprlik ilişki ($h > c.H$) kullanılmıştır. Bu ilişkide kullanılan " c " bir amprlik katsayı olup eğimi 35 dereceye kadar olan vadiler için 0.6 ve eğimi 35-60 derece arasında olan vadiler için 1.0 alınmıştır. 1968 yılında en büyük statik su yükü 300 m olan bir kaplamasız şaftın göçmesinden sonra, su yükünü, örtü basıncını ve şaft eğimini dikkate alan ilişkiler önerilmiştir. 1970 yılında yaklaşık 200 m su yüküne sahip ve kumtaşı içinde açılmış bir kaplamasız tünelin göçmesinden sonra, vadi eğimi de dikkate alınarak yeni bir ilişki sunulmuştur (Selmer-Olsen,1974).

Broch (1984); önerilen bu son ilişkiye bağlı olarak Norveç'teki kaplamasız basınçlı şaftların (kaçak yapan ve yapmayan) değerlendirildiğini, elde edilen sonuçların aynı zamanda sonlu eleman modelleriyle detaylı olarak analiz edildiğini ve bir proje hariç, tüm şaftlar için bu eşitliklerin çalıştığını ifade etmiştir. Konuyla ilgili tüm çalışmaların, kayaç kütlelerinin homojen ve sürekli olduğu ve Prekambriyen yaşlı granit ve gnays kayaç için geçerli olduğu belirtilmelidir. Kayaç kütleindeki doğal eklemlerin, orijinal gerilme dağılımından çok daha fazla stabilite problemlerinin sonradan gelişmesinde etkili olmaktadır. Kaya permeabilitesinden daha çok eklemlenme, faylanma ve özellikle dolgu maddesinin tipi ve miktarı, stabilite yönünden önem arz etmektedir. Eklemlerde bulunan kalsit, soğuk ve asitli ortamda kolayca çözünmemekte ve silt ile şişen kil gibi dolgu malzemeleri ise kolayca erozyona uğramaktadır. Bu nedenle, bu tip malzeme ihtiva eden ezilme zonları veya fayların bulunduğu alanlardan kaçılmalıdır. Aksi halde dikkatli bir tıkama ve enjeksiyon gerekmektedir.

Kil dolgulu ezilme zonunun olduğu vadilerde açılan basınçlı şaftlarda, bu ezilme zonları gerilme dağılımına olumsuz etki yaratmaktadır. Eğer bu zonlar, vadiye paralel bir doğrultuya ve vadiye doğru dik veya orta eğime sahip ise, özellikle tehlike oluşmaktadır. Hasar gören veya göçen basınçlı tünellerdeki hidrolik ayrılma, genellikle eklemlerin ve fayların olumsuz orientasyonundan kaynaklanmaktadır. İnşaat aşamasında şaft veya tünel içine oluşan kaçaklar, nemlenme ve damlama şeklinde bile olsa, gözlenmelidir. Kaplamasız kapalı denge

bacaları için yer seçiminde bu gözlemler çok önemlidir. Çünkü bu zayıflık noktaları, bu bölgede yer alması gereken basınçlı havanın kaybına neden olabilmektedir (Broch,1984).

2.2. Donatılı Kaplama Tasarımı

İzotropik ve homojen bir kayaç kütlesi içine yerleştirilen bir açıklığın tasarımında, kaplamalı tünelin kaya ve betondan oluşan kompozit bir silindir gibi çalıştığı düşünülmekte ve çözümde düzlem gerilme koşulları için elastik eşitliklerin kullanılması önerilmektedir. Kayaç kütlesine aktarılan basınç, iç basınca bağlı bir büyüklük olarak tanımlanmıştır. İlgili eşitlikler ile, kesişim yerlerindeki ııınsal yer değıştirme, kayaç kütlesine intikal eden basınç ve kaplamasız yüzde oluşan gerilmeler hesaplanabilmektedir (Moody, 1958; Turfan ve Tosun, 1994). Eğer kayaç kütlesinin düşey ve yatay yöndeki deformasyon modülleri farklı ise, Jeager teorisinde verilen modül değeri için ortamda elde edilen en küçük değeri kullanılması önerilmiştir. Analizlerde düzlem birim deformasyon için geliştirilmiş çözümlerin daha gerçekçi sonuçlar verdiği ifade edilmiştir (Kumar ve Singh, 1990). Eklemlı kayaç kütlesi için genel eşitliklerde kullanılan bir azaltma faktörü önerilmiştir. Bu azaltma faktörü, kayma modülü ile elastisite modülü arasındaki orana ve kayaç anizotropisine bağlı olarak tanımlanır.

İç basınçlı tünellerde kaplama üzerine termal etkilerin dikkate alınması amacıyla yaklaşımda bulunulmuştur (Kumar ve Singh, 1989). Özellikle soğuk bölgelerde, tünel içinden akan su sıcaklığı ile jeotermal enerjiden dolayı kayaç kütlesinin sahip olduğu sıcaklık farklılık arz etmektedir. Kaplamanın her iki yüzüne etki eden sıcaklığın farklı olması, sistemdeki gerilme dağılımında da değışiklik yaratmaktadır. Beton kaplama sıcaklığındaki düşme, kayaç kütlesi tarafından alınan basıncı azaltmaktadır. Kumar ve Singh (1990); sıcaklık azalmasından dolayı kayaç tarafından alınan basıncın negatif olmasını, kaplama ile kayaç kütlesi arasındaki kontağın kaybolduğuna yorumlamışlardır.

İç basınçlı tünellerde su basıncı; termal eğimi ve kayaç kütlesi eklemliliğinin birlikte dikkate alınması ile en gerçekçi çözüme ulaşmak mümkündür. Bu amaçla tüm etkileri dikkate alan çözümler önerilmiştir. Tüm bu etkiler, bir eşitlikte dikkate alınarak iç basıncın kayaç kütlesi tarafından alınacak bölümü hesaplanabilmektedir (Kumar ve Singh, 1990).

2.3. Çelik Kaplama Tasarımı

Yüksek iç basınçlı tünellerde beton kaplama ile birlikte çelik kaplama uygulaması da yapılmaktadır. Çoğu durumda çelik kaplama, kaya tarafından çevrelenen ve kalınlığı 20-50

cm arasında bulunan bir beton t p içine gömülü olarak projelendirilmektedir. “Kompozit sistem” olarak bilinen bu tip tasarımda değişik malzeme karakteristikleri ve boyutlarına göre gerilme dağılıımında değişiklik oluşmaktadır. Belirtilmelidir ki; ince kaplamalar, kalın kaplamalara göre daha yüksek oranda iç basıncı kayaç kütlesine aktarmaktadır. Bir başka ifade ile, iyi kaliteli kaya zayıf kayaya göre kaplamadan daha fazla basınç almaktadır.

Jacobsen (1977);  elik kaplama içindeki teğetsel gerilmelerin bitişik beton içinde yüksek çekme gerilmelerinin oluşmasından ve  elik kaplamadaki genleşmeden dolayı, çevreleyen kayaçta olduğu gibi beton kaplamada da ince çatlakların oluştuğunu ve bu çatlakların, kayanın teğetsel gerilme koşullarının oluşmasına müsaade ettiği derinliğe kadar geliştiğini belirtmiştir.  elik tüpteki ışınsal deplasmanın, i  basıncın kayaç kütlesine aktarılmasında önemli bir etkisi bulunmaktadır. Bu nedenle, kaplama ile beton arasında öngörülecek boşluğun projede önemle sorgulanması gerekmektedir.

3. ÜLKEMİZDE UYGULANAN BAZI PROJELER

Ülkemizde i  basınçlı olarak çalışan ve değişik amaçlar için inşa edilmiş çok sayıda tünel ve şaft bulunmaktadır. Bunlar arasında sulama amacıyla inşa edilen şanlıurfa tünelleri, içmesuyu amaçlı olarak inşa edilen Kınık tünelleri ve hidroelektrik enerji üretimi amacıyla inşa edilen Köklüce tüneli ve şaftı önemli uygulamaları oluşturmaktadır. Bu üç önemli proje, kayaç kütlesi geoteknik özelikleri, tasarım esasları ve yapılan uygulamalar yönünden kısaca değerlendirilecektir.

3.1. şanlıurfa Sulama Tünelleri

Güneydoğu Anadolu projesi kapsamında yer alan şanlıurfa tünelleri; şanlıurfa, Harran, Ceylanpınar ve Mardin ovalarında yaklaşık 476000 ha sahayı sulamak amacıyla projelendirilmiştir. Atatürk barajı göl alanı ile şanlıurfa şehirleri arasında yer alan tünel, toplam 54 km uzunluğa ve yaklaşık 9.0 m kazı çapına sahiptir. Tünel kazısı; üç kademeli ve genellikle tünel kazma makinası ile yapılmıştır. Geçici destek sistemi; tel kafes ile birlikte 15 cm kalınlığındaki şotkret ile 3 m uzunluğunda ve 2x2 m aralıktaki kaya bulonundan oluşmaktadır. Kalıcı destek sistemi olarak kalınlığı en düşük 40 cm olan ve minimum donatı ihtiva eden beton kaplama kullanılmıştır. Tünel basınçlı olarak projelendirilmiş olup en büyük i  basınç değeri, 400 kN/m^2 ’dir.

Tünelin yaklaşık % 85'i, marn kayaç birimi içinde açılmıştır. Tünel güzergahı boyunca kazılan kaya oldukça üniform ve nispi olarak homojen litolojik karakteristiklere sahiptir. Tünel kazısı sırasında önemli geoteknik problemlerle karşılaşılma ve çok az fay (genellikle eğimi 40-90°) ve ezilme zonu geçilmiştir. Kazılan birimde hakim olan bir ya da iki eklem seti mevcuttur ve eklem aralıkları oldukça değişkendir. Eklem duvarları; dar, pürüzsüz ve düzlemseldir ve nadir olarak cilalı yüzeylere sahiptir. Eklem yüzeylerinde oksitlenme oldukça yaygın olup dolgu malzemesi genellikle kalsit ve kil minerallerinden oluşmaktadır. Kazılan birimin mekanik özelliklerini belirlemek amacıyla değişik kesitlerinde deneyler yapılmış ve bu kesitlerden alınan numuneler üzerinde laboratuvar deneyleri gerçekleştirilmiştir (Tosun,1992).

Tünelde uygulanan en düşük kalınlıklı beton kaplama; dış stabilite sağlandıktan sonra 400 kN/m²'lik iç basınç altında sonlu eleman yöntemi ile analiz edilmiştir. Kaplama ve kayaç dokunağının bütünüyle sağlandığı varsayımı ile yapılan bir analiz sonucunda, beton kaplamada en fazla 1500 kN/m² çekme gerilmesinin oluştuğu belirlenmiştir (Tosun, 1991). Tünelin iki ayrı kesiti için en düşük ve en büyük modül değerleri dikkate alınarak yapılan çözümde, kaya paylama basıncı katsayısı bulunmuştur. Jeager teorisine göre yapılan analizde bu katsayı; izotropik ve izotropik olmayan koşullar için sırasıyla 0.55 ve 0.45 bulunmuştur. Bir başka ifade ile, izotropik olmayan koşullarda kayaç kitlesine aktarılan basınç % 16 oranında azalmaktadır (Turfan ve Tosun, 1994). Tünellerde kazı işlemi bitirilmiş, destek sistemleri ve kaplama tamamlanmış, enjeksiyon işlemleri devam etmektedir. Tünellerden biri, halen serbest basınçlı olarak hizmet vermektedir.

3.2. Kınık Tünelleri

Ankara İçmesuyu projesi kapsamında yer alan ve Çamlıdere baraj rezervuarından su taşıyan Kınık tüneli (T1 ve T2 tünelleri ile birlikte), dünyanın en uzun ve en yüksek iç basınçlı su taşıma tünelleri arasında yer almaktadır. Tünel; toplam 22.5 km uzunluğunda ve 3.40-3.60 m çapında atnalı kesitli olup, değişik jeolojik birimler içinde açılmıştır. Kazılan birimler; genellikle yumuşak, yapısal olarak parçalı ve yer yer yüksek şişme potansiyeline sahiptir. Tünelde geçici destek sistemi olarak tel kafes takviyeli şotkret, kaya bulonu, gerekli olduğu hallerde çelik iksa ve çok kötü zemin koşullarına sahip ezilme zonu, fay aynası gibi bölgelerde çelik segmanlar kullanılmıştır. 60 cm kalınlığa sahip beton kaplama, kalıcı destek sistemini oluşturmaktadır.

Tünelin kazıldığı değişik birimler içinde yapılan yerinde yükleme deneyleri ile kayaç kütlelerinin elastisite modülü bulunmuştur. Bu değerler; 500-2000 MN/m² arasında değişmektedir. En düşük modül değeri, killi marn kayaç biriminde ve en büyük modül değeri ise bazalt kayaç birimlerinde elde edilmiştir (Baykal, 1982). Tüneli çevreleyen kayaç birimlerinin düşük modül değerlerine sahip olması nedeniyle, su basıncının yalnızca kaplama tarafından taşındığı tip projeler geliştirilmiştir. Ancak kazı esnasında çıkan bazı problemler nedeniyle, tüneli çevreleyen kayaç birimi ile kaplama arasında enjeksiyon yapmak suretiyle kaya-destek sisteminin ortak çalışması sağlanmıştır. Bu şekilde, suya karşı dayanıklılığı oldukça düşük olan kayaç birimlerine olması gerekenden daha yüksek basınç aktarılmıştır. Bu uygulamanın bir sonucu olarak, zaman zaman sistemde arızalar oluşmuştur.

Çamlıdere sistemi içinde yer alan tünellerdeki hasarlardan biri, 1987 yılı sonunda meydana gelmiş ve bu nedenle Ankara'ya bir yıldan daha uzun bir süre bu sistemden sürekli su sağlanamamıştır. Bu hasar, Çamlıdere hattının başlangıcını oluşturan T1 tüneli çıkışına yakın meydana gelmiştir (Aydın, 1986). Destek sisteminin genişlemesine müsaade edilmediği ve kalıcı kaplamanın kayaç kütlesiyle birlikte çalıştığı bu bölgede, yaklaşık 1250 kN/m²'lik iç basıncın önemli bir bölümü zayıf aglemera birimine aktarılmıştır. Andezit-aglemera kondağındaki zayıf bölgede başlayan göçme, daha sonra yüzeye kadar ulaşmıştır. İç basınçtan dolayı meydana gelen göçme, yüzeyde çok belirgin bir kopma hattı oluşturmuştur.

3.3. Köklüce HES Tüneli ve Şaftı

Yukarı Yeşilırmak II.Merhale Projesini oluşturan Ataköy barajı ve Köklüce hidroelektrik santrali, ülkemizde havzalar arası su aktarımının sağlandığı ilk büyük enerji projesidir. Yeşilırmak üzerindeki Almus barajı ile düzenlenen ve Almus HES ile enerjisi alınan su, Ataköy barajında toplanmakta ve 6500 m uzunluğundaki kuvvet tüneli ile Kelkit vadisine aktarılmaktadır. Bu şekilde elde edilen 418 m'lik net düşü ile, 90 MW kurulu güce sahip Köklüce HES'te yılda 588 milyon kWh enerji elde edilmektedir. Proje başlangıçta 2000 m uzunluğa sahip cebri boru şeklinde oluşturulmuştur. Ancak daha sonra cebri boru güzergahında görülen heyelandan dolayı belli bölümleri şaft-tünel şeklinde geçilecek şekilde bir proje geliştirilmiş ve bu projeye göre inşaat yapılmıştır (Kuleyin,1993).

6500 m uzunluğundaki kuvvet tüneli değişik kayaç birimleri içinde kazılmıştır. Kazı boyunca volkanik breş-tüf-aglemera, şist, kireçtaşı ve şisti kiltası-kumtaşı-konglemera kayaç birimleri geçilmiştir. Tünel kazısı sırasında çok önemli stabilite problemleriyle karşılaşmış ve destek

birimlerinde sıkma basıncı etkisi görülmüştür. Kireçtaşının kesildiği bölümde, yoğun su problemi ile karşılaşmıştır. Geçici destek sistemi olarak genellikle çelik iksa kullanılmış ve yer yer iksa aralıkları ön betonla kaplanmıştır (Mesci,1988). Kalıcı destek sistemi olarak çelik iksa ile birlikte çalışan beton kaplama yerleştirilmiştir. Tünelin daire kesitli ve küçük açıklığa (iç çap=3.80 m) sahip olması ve sistemde nispi olarak az su yükünün (en fazla 31 m) bulunması, kayaç kütlesine aktarılan iç basıncın oldukça düşük seviyelerde gerçekleşmesine neden olmuştur.

Bu projede asıl önemli problem, cebri boru güzergahında görülmüştür. Bu güzergah boyunca yamaç molozu, volkanik breş ve siltli kilitaşı görülmektedir. Oldukça zayıf geoteknik karakteristiklere sahip bu birimler içinde kazı çalışmaları tamamlandıktan sonra gerilme çatlakları ve topukta kabarmalarla başlayan bir heyelan oluşmuş ve bu heyelan sonradan gelişerek projenin revize edilmesini gerektirecek kadar büyük probleme neden olmuştur. Yüzeyden geçilemeyeceği anlaşılan bu güzergah, sonradan şaft-tünel şekline dönüştürülmüştür. Yaklaşık 130 m yükseklikte ve düşey konumdaki şaft, zayıf geoteknik özelliklere sahip birimler (genellikle şisti kilitaşı-kumtaşı) içinde açılmıştır. “Yüksek iç basınçlı şaft” kategorisinde projelendirilen bu açıklıkta çelik iksalar, çelik segmanlar ve donatılı beton kaplama destek sistemi olarak dikkate alınmıştır. Şaft ile konduvi arasındaki bağlantıyı sağlayan 430 m uzunluğundaki yatay tünelde, zayıf kayaç birimleri yüzünden iç basınç bütünüyle kalıcı destek sistemi tarafından alınacak şekilde projelendirilmiştir. 1988 yılında işletmeye alınan proje, problemsiz olarak hizmet vermektedir.

4. SONUÇ

Basınçlı su tünel ve şaftların kalıcı destek tasarımında, açıklığı çevreleyen kayaç birimlerinin geoteknik özellikleri önemle dikkate alınmaktadır. Kayaç özelliklerine göre farklı destek sistemleri kullanılabileceği gibi, yapı desteksiz olarakta projelendirilebilmektedir. İzotropik olmayan kayaç koşullarının modellenemediği yöntemlerin benimsenmesi ile yapılan analizler, etkili sonuçlar sunmaktadır. Özellikle kaplama üzerine etkiyen içsel su basıncı; termal eğim, kayaç kütlesi eklemliliği ve diğer kayaç kusurları dikkate alınarak hesaplanmalıdır.

Ülkemizin topografik koşulları ve su kaynakları, hidroelektrik enerji üretimi için oldukça uygundur. Ancak bugün bu potansiyelin henüz % 30'u kullanılabilmekte ve üretimimiz, genellikle büyük rezervuarlarla birlikte inşa edilen hidroelektrik santraller ile yapılmaktadır. Bir başka ifade ile, yüksek düşürlü tünel ve şaft oluşturularak hidroelektrik enerji üretimi,

birkaç örneği hariç tercih edilmemiştir. Bu tercihin yapılmasında, ülkemizin kendine has sosyo-ekonomik problemleri ve yanlış önceliklerin seçimi de etkili olmuştur. Plan hedefleri ve enerjiye yönelik talep dikkate alındığında, mevcut potansiyelimizin farklı şekilde de olsa değerlendirilme gerçeği ortaya çıkmaktadır. Özellikle Doğu Karadeniz bölgesinde inşa edilmesi planlanan enerji yapılarının tünel-şaft alternatifi ile tasarlanması halinde, bu makale kısaca değinilen farklı çözümler önemle dikkate alınmalıdır. Bazı küçük düşülü ve ayrışmamış magmatik kayalar içinde açılması planlanan tünel ve şaftların tasarımında, kaplamasız çözüm değerlendirilebilir. Ancak bunun için çok iyi yapılmış geoteknik çalışmalara ihtiyaç vardır.

KAYNAKLAR

- Aydın, A., 1986, Kınık Tünelinde Çıkan Problemler ve Bunların Çözümleri: Tünellerin Projelendirilmesi ve İnşası Semineri, Adana, Cilt II, 29.1-29.13.
- Baykal, İ., 1982, Ankara-Çamlıdere Barajı Kınık Tünelinde Yapılan Kaya Mekaniği Deneyleri Raporu, Joeteknik Hizmetler Dairesi Başkanlığı, Rapor no:53, Ankara (yayınlanmış)
- Broch, E., 1984, Development of Unlined Pressure Shafts and Tunnels in Norway, Underground Space, V.8, 177-184.
- Jacobsen, S., Pressure Distribution in Steel-Lined Rock Tunnels and Shafts, Water Power and Dam Construction, December, 47-512.
- Kuleyin, A., 1993, Ataköy Barajı ve Köklüce Hidroelektrik Santralı Cebri Boru Güzergahında Karşılaşılan Yamaç Stabilite Problemleri, Dolgu Barajlar Yönünden Zemin Mekaniği Problemleri Sempozyumu, Gümüşdör-İzmir, 20-25 Eylül, 363-380.
- Mesci, Ü., 1988, Köklüce Tüneli, Su Yapıları Semineri, Bildiriler Kitabı, 28-30 Haziran, Samsun, 1-7.
- Kumar, P. and Singh, B., 1989, Thermal Stress Analysis of Underground Openings, Int. J. Num. Analyt. Meth. Geomech. 13, 411-425.
- Kumar, P. and Singh, B., 1990, Design of Reinforced Concrete Lining in Pressure Tunnels Considering Thermal Effects and Jointed Rock Mass, Tunneling and Underground Space Technology, V.5, N.1/2, 91-101.
- Moody, W.T., 1958, The Importance of Geological Information as a Factor in Tunnel Lining Design, USBR, Denver.
- Selmer - Olsen, 1974, Underground Openings Filled with High-Pressure Water and Air, Bull. Int. Ass. Engineering Geology 9, 91-95.

Tosun, H., 1991, Tünel Tasarımında Sonlu Eleman Metodunun Kullanımı, Su Mühendisliğinde Bilgisayar Uygulamaları Semineri, Şanlıurfa, Bildiriler Kitabı, 7-11 Ekim, 25.1-25.28.

Tosun, H., 1992, Comparison on Design Methods of Temporary Supports Using Şanlıurfa Tunnels, Proceeding of the 2nd Int. Conference on Hydropower, Lillehammer, Norway, 201-208.

Turfan, M. ve Tosun, H., 1994, Basınçlı Su Tünellerinde Kayaç Kütlesi Jeomekanik Özelliklerinin Destek Sistemlerine Etkisi ve DSİ Uygulamaları, Su ve Toprak Kaynaklarının Geliştirilmesi Konferansı, Bildiriler Kitabı, Cilt II, 719-729.

BOZTEPE BARAJI (MALATYA) ÇEVİRME TÜNELİ
GÜZERGAHININ JEOTEKNİK İNCELEMESİ
GEOTECHNICAL INVESTIGATION OF THE DIVERSION
TUNNEL ALIGNMENT AT BOZTEPE DAM (MALATYA)

Zülfü Gürocak, FÜ, Mün. Fak., Jeoloji Müh. Bölümü, 23119, Elazığ.

Recep Kılıç, AÜ, Fen Fak., Jeoloji Müh. Bölümü, 06100, Ankara.

ÖZET

Boztepe Barajı çevirme tüneli güzergahı boyunca Orta-Üst Miyosen yaşlı Yamadağ volkanitlerine ait bazalt ve tüfit yüzeylenmektedir. Çevirme tüneli güzergahındaki bazalt ve tüfit için Jeomekanik (RMR) ve Q sınıflama sistemlerine göre kaya sınıflamaları yapılmıştır. Bazalt ve tüfit için kazı şekli, desteksiz durma süresi ve kullanılacak destek türleri belirlenmiştir. Çevirme tüneli güzergahında Birleşik Ayrışma İndisi'ne (UAI) göre bölgelendirme yapılmıştır. Ayrışma derecesi ile iyileştirme yöntemleri arasındaki ilişkiler incelenmiştir.

Jeomekanik (RMR) sınıflama sistemine göre 0.00-105.00 m arasındaki çok fazla ayrılmış tüfit zayıf kaya sınıfında, 105.00-240.00 m arasındaki orta ayrılmış bazalt iyi kaya sınıfında ve 240.00-565.00 m arasındaki fazla ayrılmış bazalt ise orta kaya sınıfındadır.

Q sınıflama sistemine göre 0.00-105.00 m arasındaki tüfit çok zayıf kaya sınıfında, 105.00-240.00 m arasındaki bazalt orta kaya sınıfında ve 240.00-565.00 m arasındaki bazalt ise zayıf kaya sınıfındadır.

ABSTRACT

The basalt and tuffite which are belonging to Yamadağ volcanics (Middle-Upper Miocene) out crop in vicinity of the diversion tunnel. The basalt and the tuffite were classified according to the Geomechanics (RMR) and Q rock classification systems in the diversion tunnel alignment. The type of excavation, stand up time and the type of support were determined for the basalt and the tuffite. At the diversion tunnel alignment zoning was done according to Unified Alteration Index (UAI). The relationships between the alteration degree and improve methods were examined.

According to the Geomechanics rock classification (RMR) system, the extremely altered tuffite between 0.00-105.00 m is in poor, the moderately altered basalt between

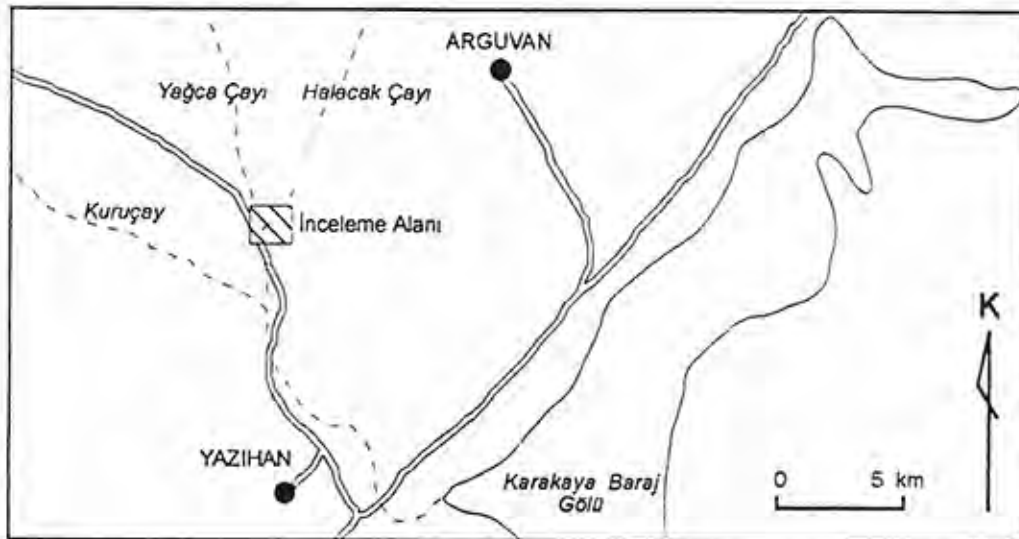
105.00-240.00 m is in good and the highly altered basalt between 240.00-565.00 m is in fair rock class.

According to the Q rock classification system the tuffite between 0.00-105.00 m is in very poor, the basalt between 105.00-240.00 m is in fair and the basalt between 240.00-565.00 m is in poor rock class.

1. GİRİŞ

İnceleme alanı Malatya ili Yazıhan ilçesinin 10 km kuzeyinde yer almaktadır (Şekil 1). Bölgede bugüne kadar değişik amaçlı jeolojik çalışmalar yapılmıştır (Ketin, 1966; Baykal, 1966; Akkuş, 1971; Yoldaş, 1972; Görmüş, 1993). Bu çalışmalarda bölgenin stratigrafisi ve tektoniği açıklanmaya çalışılmıştır. Gürocak (1999) tarafından ise inceleme alanının mühendislik jeolojisi çalışması yapılmış ve baraj yerindeki kayaçların jeomekanik özellikleri ile ayrışma dereceleri incelenmiştir.

Yağca Çayı üzerinde yapımı devam eden Boztepe Barajı; zonlu toprak tipindedir ve talvegden 70 m yüksekliğe, 880 m kret uzunluğuna sahiptir. Barajın çevirme tüneli sol yamaçta yer almaktadır. Dairesel kesitli, 5 m çapında ve 565 m uzunluğundadır. Bu çalışmada çevirme tüneli güzergahının mühendislik jeolojisi haritası yapılmış, güzergahtaki kayaçların jeomekanik özellikleri incelenmiş, elde edilen veriler yardımıyla kayaçların ayrışma dereceleri belirlenmiş ve kaya sınıflamaları yapılmıştır. Tünel güzergahı için yapılan kaya sınıflamaları ile kayaçların ayrışma dereceleri arasındaki ilişkiler incelenmiştir.

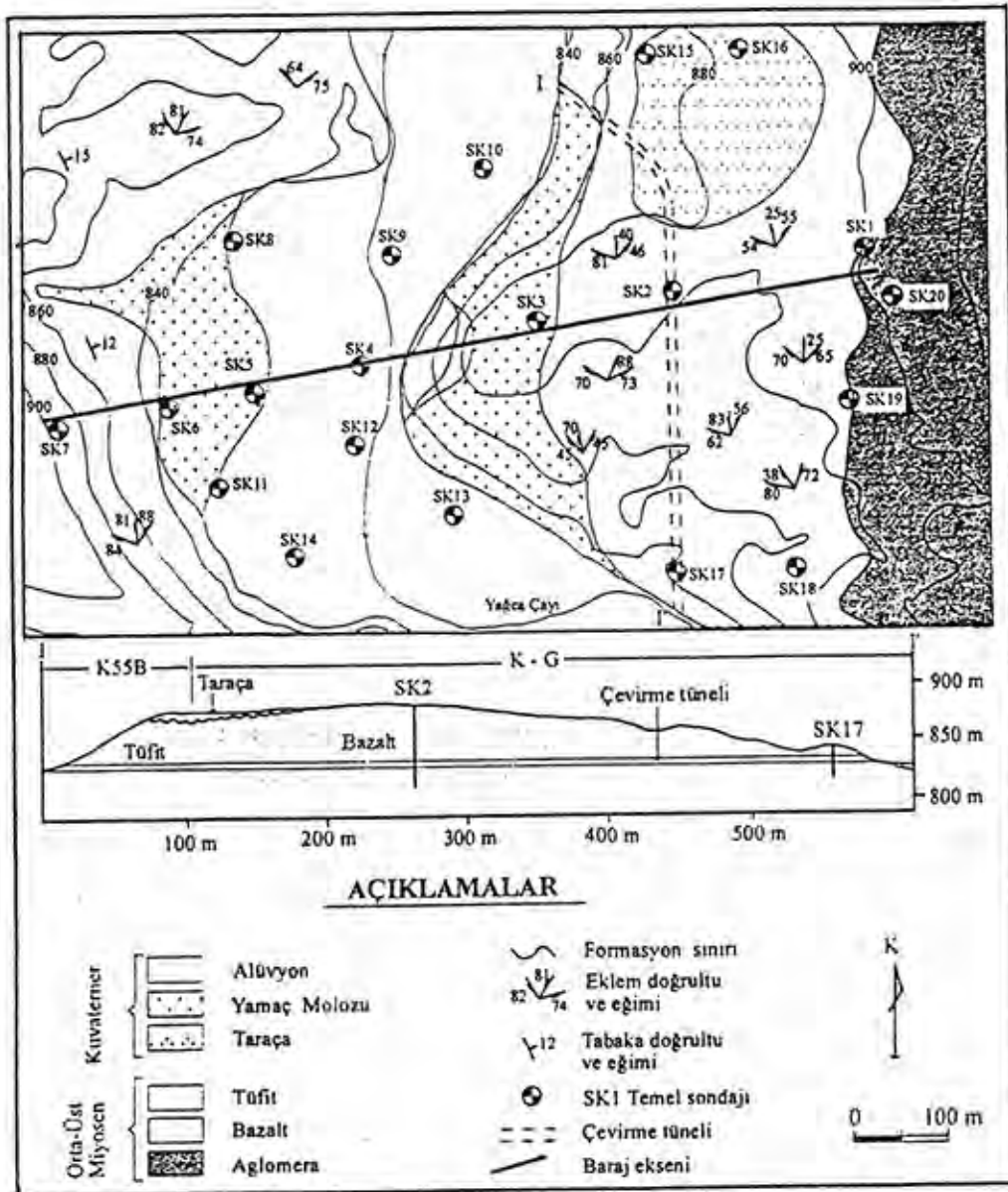


Şekil 1. İnceleme alanının yer belirleme haritası.

2. GENEL JEOLojİ

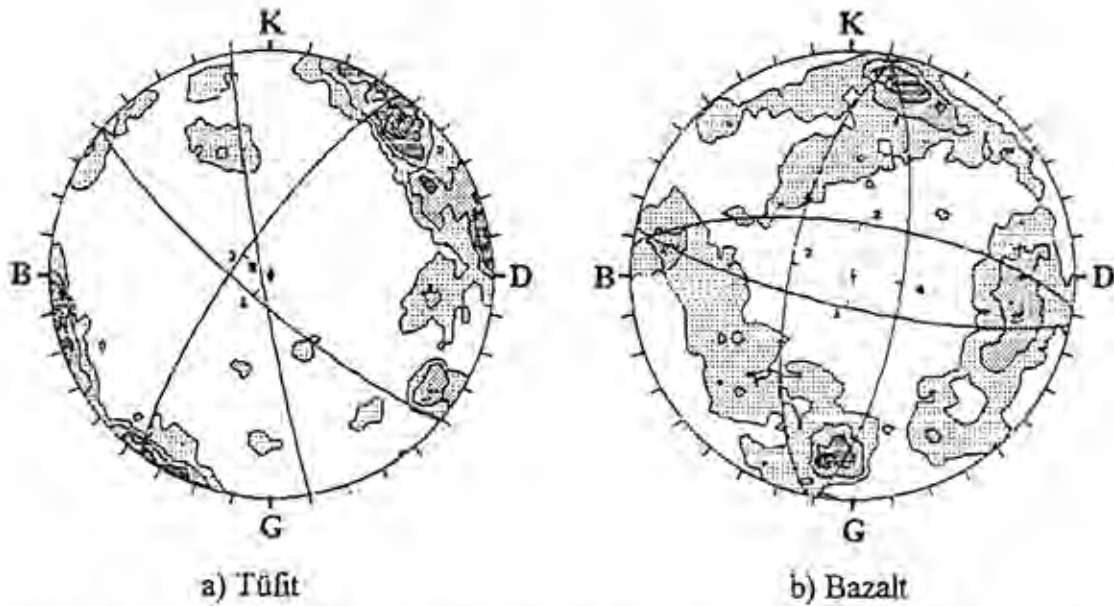
İnceleme alanında yapılan arazi çalışmaları ile tünel güzergahı ve civarının mühendislik jeolojisi haritası yapılmış, kayaçların içerdiği süreksizlik düzlemlerinin yönelimleri ölçülerek streografik projeksiyon tekniğiyle değerlendirilmiş ve tünel güzergahındaki kayaçların içerdiği süreksizliklerin ana doğrultu ve eğimleri belirlenmiştir.

Çevirme tüneli güzergahında Orta-Üst Miyosen yaşlı Yamadağ volkanitlerine ait tüfit, bunun üzerinde bazalt ve bazaltın üzerinde ise aglomera yüzeylenmektedir. Yamaçlarda Kuvaterner yaşlı yamaç molozu ve taraça, Yağca Çayı yatağında ise alüvyon yer almaktadır (Şekil 2).



Şekil 2. İnceleme alanının mühendislik jeolojisi haritası ve enine kesiti.

Tüfit, Yağca Vadisi sol yamacında tünel girişinde ve sağ yamaçta yüzeylenmektedir. Beyazımsı- açık gri renklidir ve iyi tabakalanma sunmaktadır. Ara katmanlar halinde gölsel kireçtaşı, kilaşı ve marn ara seviyeleri içeren bir litolojiye sahiptir. Tabaka kalınlığı alt seviyelerde 30-60 cm arasında değişirken, üst seviyelerde 5-25 cm arasındadır. Gürocak (1999) tarafından çok fazla ayrılmış olarak tanımlanan tüfit, bazalta göre daha seyrek olarak gelişmiş eklem setleri içermektedir. Bu eklemler ayrılmış özellikte, kil dolgulu, seyrek olarak da kalınlığı 2 cm'ye kadar ulaşabilen kalsit dolguludur. Arazi çalışmaları sırasında tüfite ölçülen eklemlere ait yönelim ölçüleri stereografik projeksiyon tekniğiyle değerlendirilerek (Şekil 3a), eklem setlerinin ana doğrultu ve eğimleri Çizelge 1'de verilmiştir. Çalışma alanında Yağca Vadisi sol yamacında yüzeylenen bazalt, yeşilimsi-koyu gri renkli, alt seviyelerinde yastık lav, üst seviyelerde ise sütun bazalt özelliğindedir ve oldukça sık eklemli bir yapıya sahiptir. Tektonik kökenli eklemlere ilave olarak soğuma çatlakları da içeren birimde, eklemler yüzeyde yaklaşık 1 cm kalınlığa ulaşabilen kil dolgulu, alt seviyelerde ise 1-2 cm kalınlığında kalsit dolguludur. Ayrışmanın olmadığı veya az olduğu seviyelerde eklemler tamamen kapalı ve hafif pürüzlüdür. Bazaltın içerdiği eklemlerden alınan yönelim ölçülerinin stereografik projeksiyon tekniğiyle değerlendirilmesi (Şekil 3b) sonucunda belirlenen ana doğrultu ve eğimler Çizelge 1'de verilmiştir.



Şekil 3. İnceleme alanındaki tüfit ve bazaltın içerdiği eklemlere ait kontur diyagramları.

Çizelge 1. Tüfit ve bazaltın içerdiği eklemelerin ana doğrultu ve eğimleri.

Birim	Ana doğrultu ve eğim
Tüfit	K50B / 80GB (Eklem seti 1)
	K11B / 87GB (Eklem seti 2)
	K35D / 77KB (Eklem seti 3)
Bazalt	K78°B / 78°GB (Eklem seti 1)
	K83°B / 71°KD (Eklem seti 2)
	K12°D / 67°KB (Eklem seti 3)
	K9°D / 72°GD (Eklem seti 4)

Aglomera inceleme alanının üst kotlarında yüzeylenmektedir. Birim, koyu bordo renkli ve genellikle masif bir yapıya sahiptir. Tane destekli olan aglomeraya ait elemanlar kötü yuvarlaklaşmış olup, tane çapları 60-70 cm'ye kadar varmaktadır. Ara katmanlar halinde tüf ve bazalt seviyeleri içermektedir. Çalışma alanında Yağca Çayı'nın eski birikintileri taraçalar halinde gözlenmektedir. Birimi oluşturan elemanların tane çapları 0.5-30 cm arasında değişmekte olup, orta-iyi tutturulmuş ve iyi yuvarlaklaşmıştır. Temel sondajı verilerine göre birim en fazla 15 m kalınlığa sahiptir. Yamaç molozu, vadi yamaçlarında üst kotlardaki kayalardan türemiştir. Birim, farklı boyutlardaki köşeli ve tutturulmamış elemanlardan oluşmuştur ve en fazla 8 m kalınlığındadır. İnceleme alanında alüvyonu Yağca Çayı yatağında biriken , gevşek haldeki blok, çakıl, kum ve kil oluşturmaktadır. Birim inceleme alanı ve yakın çevresinde yüzeylenen kayalardan türemiştir. Temel sondajlarında en fazla 10 m'lik kalınlığa sahip olduğu belirlenmiştir.

3. MÜHENDİSLİK JEOLJİSİ

Boztepe Barajının çevirme tüneli sol yamaçta yer almaktadır. İnceleme alanında DSİ tarafından 29 adet temel sondajı yapılmıştır. Bu temel sondajlardan SK2 ve SK17 tünel güzergahı üzerinde yer almaktadır (Şekil 2). Çevirme tüneli 0.00-105.00 m arası tüfit, 105.00-565.00 m arası ise bazalt birimleri içinde açılacaktır. Tünel güzergahında yer alan tüfit ve bazaltın mühendislik özelliklerini belirlemek amacıyla temel sondajı karotları incelenmiş ve alınan karot örneklerde jeomekanik deneyler yapılmıştır. Jeomekanik deneylere ait sonuçların istatistiksel değerlendirmesi Çizelge 2'de, bu verilerin yardımıyla yapılan sınıflamalar ise Çizelge 3, 4, 5 ve 6'da verilmiştir.

Çizelge 2. Tüfit ve bazaltın fiziksel ve jeomekanik özelliklerinin istatistiksel değerlendirmesi.

Jeomekanik Özellikler	Örnek Sayısı	En Az	En Çok	Aritmetik Ortalama	Standart Hata	Standart Sapma
TÜFİT						
Birim Ağırlık - γ (kN/m ³)	43	12.0	22.1	16.5	0.04	0.26
Ağırlıkça Su Emme - A_s (%)	43	14.88	48.39	29.09	1.66	10.91
Hacimce Su Emme - A_v (%)	43	38.23	75.97	48.12	1.23	8.07
Gözeneklilik - n (%)	43	15.67	42.2	29.34	0.99	6.51
P Dalga Hızı, C_p (m/s)	42	1027	2916	1749.19	61.78	400.37
Tek Ek.Bas.Direnci, σ_c (MPa)	42	1.97	21.2	8.21	5.72	37.08
Statik Elas.Mod., E_s (MPa)	42	600	1050	2226.90	2614.67	16944.9
Birleşik Ayrışma İndisi (UAI)	42	0.707	0.916	0.84	0.007	0.04
BAZALT						
Birim Hacim Ağırlık- γ (kN/m ³)	51	22.5	28.1	25.5	0.02	0.15
Ağırlıkça Su Emme - A_s (%)	51	0.47	8.82	3.68	0.37	2.67
Hacimce Su Emme - A_v (%)	51	1.37	24.9	10.50	1.09	7.75
Gözeneklilik - n (%)	51	0.71	13.39	6.76	0.53	3.78
P Dalga Hızı, C_p (m/s)	51	1173	6576	4223.51	215.73	1540.65
Tek Ek. Bas. Direnci, σ_c	51	2.99	76.45	39.39	28.42	202.95
Statik Elas.Mod., E_s (MPa)	51	1600	9670	30905.3	47170.4	336864
Birleşik Ayrışma İndisi (UAI)	51	0.187	0.905	0.55	0.03	0.20

Çizelge 3. Deerc (1963)'nin RQD sınıflamasına göre inceleme alanındaki tüfit ve bazaltın dağılımı ve sınıflaması.

RQD sınır değerleri	Kaya kalitesi	Tüfitin dağılımı (%)	Bazaltın dağılımı (%)
0 - 25	Çok düşük	36	25
25 - 50	Düşük	21	23
50 - 75	Orta	28	32
75 - 90	İyi	11	14
90 - 100	Çok iyi	4	6

Çizelge 4. Franklin vd. (1971)'nin eklem sıklığı sınıflamasına göre inceleme alanındaki tüfit ve bazaltın dağılımı ve sınıflaması.

Eklem sıklığı	Kaya kalitesi	Tüfitin dağılımı (%)	Bazaltın dağılımı (%)
< 1	Çok iyi	2	-
1 - 4	İyi	17	10
5 - 10	Orta	31	31
11 - 50	Düşük	29	46
> 50	Çok düşük	21	13

Çizelge 5. Deere ve Miller (1966)'ın tek eksenli basınç direnci (σ_c) sınıflamasına göre inceleme alanındaki tüfit ve bazaltın dağılımı ve sınıflaması.

Sınıfı	Niteliği	Tek eksenli basınç direnci sınır değerleri	Tüfitin dağılımı (%)	Bazaltın dağılımı (%)
A	Çok yüksek dayanımlı	> 2000	-	-
B	Yüksek dayanımlı	2000 – 1000	-	-
C	Orta dayanımlı	100 – 500	-	54.5
D	Düşük dayanımlı	500 - 250	-	32
E	Çok düşük dayanımlı	< 250	100	13.5

Çizelge 6. Deere ve Miller (1966)'ın modül oranı (E_r/σ_c) sınıflamasına göre inceleme alanındaki tüfit ve bazaltın dağılımı ve sınıflaması.

Sınıfı	Niteliği	Modül oranı sınır değerleri	Tüfitin dağılımı (%)	Bazaltın dağılımı (%)
Y: Yüksek	Yüksek modül oranlı	> 500	12	45
O: Orta	Orta modül oranlı	500 – 200	40.5	45
D: Düşük	Düşük modül oranlı	< 200	47.5	10

3.1. Tünel Güzergahındaki Tüfit ve Bazaltın Ayırışma Derecesi

Ayrışma, kayaçların mühendislik özellikleri doğrudan etkilemektedir ve mühendislik jeolojisi çalışmalarında ayrışma derecesinin belirlenmesi büyük önem taşımaktadır. Bu nedenle çevirme tüneli güzergahında yer alan tüfit ve bazaltın ayrışma derecesi Kılıç (1997) tarafından önerilen “Birleşik Ayrışma İndisi (UAI)” ne göre;

$$UAI = \sqrt{(1 - \sigma_{cs} / \sigma_{ci}) (1 - C_{ps} / C_{pi})} \quad (\text{Eş. 1})$$

çiftliği kullanılarak belirlenmiş ve tünel güzergahının UAI'ne göre bölgelendirmesi yapılmıştır (Şekil 4). Burada;

σ_{cs} : Ayrışmış kayacın tek eksenli basınç direnci (kg/cm^2)

σ_{ci} : Sağlam kayacın tek eksenli basınç direnci (kg/cm^2)

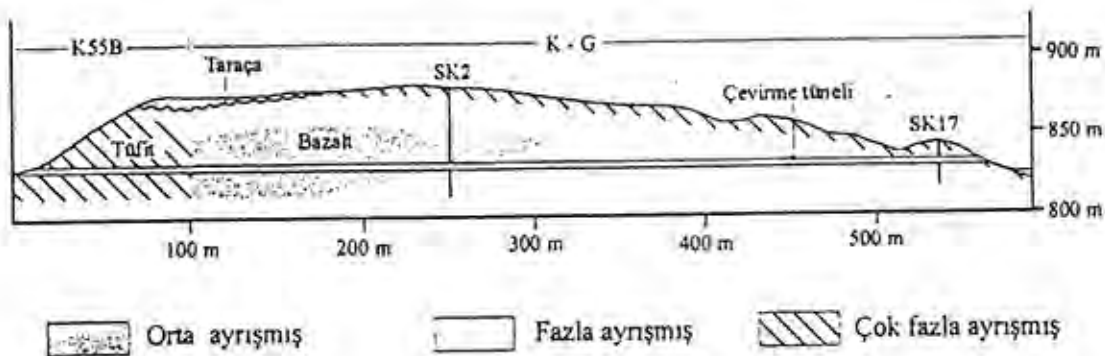
C_{ps} : Ayrışmış kayacın P dalga hızı (m/s)

C_{pi} : Sağlam kayacın P dalga hızı (m/s) dir.

UAI ayrışma sınıflamasına göre tünel güzergahındaki tüfitin tamamı çok fazla ayrılmış, bazaltın %50'si orta ayrılmış, %34'ü fazla ayrılmış ve %16'sı ise çok fazla ayrılmış özelliktedir (Çizelge 7).

Çizelge 7. Tünel güzergahındaki tüfit ve bazaltın UAI sınıflamasına göre dağılımı.

Grup	Ayrışma derecesi	Tek eksenli basınç direnci (σ_c , kg/cm ²)	P dalga hızı (Cp, m/s)	UAI sınır değerleri	Tüfitin dağılımı (%)	Bazaltın dağılımı (%)
I	Ayrışmamış	> 1600	> 6750	< 0.1	-	-
II	Az ayrılmış	1600 – 800	6750-5500	0.1 – 0.3	-	-
III	Orta	800 – 400	5500-4250	0.3 – 0.5	-	50
IV	Fazla	400 – 200	4250-3000	0.5 – 0.7	-	34
V	Çok fazla	200 >	3000 >	0.7 <	100	16



Şekil 4. Çevirme tüneli güzergahında UAI'ne göre yapılan bölgelendirme.

3.2. RMR ve Q Sınıflama Sistemlerine Göre Yapılan Kaya Sınıflamaları

Tünel güzergahında yer alan tüfit ve bazaltın kaya kaliteleri, desteksiz durabilme süreleri ile destek ve iyileştirme yöntemlerinin belirlemek amacıyla; jeomekanik deneylere ait veriler ve süreksizlik ölçüleri kullanılarak Bieniawski (1989) tarafından önerilen RMR ile Barton vd. (1974) tarafından önerilen Q sınıflama sistemine göre kayasınıflamaları yapılmıştır. Sınıflamalar yapılırken tünel güzergahı için UAI'ne göre yapılan bölgelendirme (Şekil 4) esas alınmıştır. Bu bölgelendirmeye göre çevirme tüneli 0.00-105.00 m arası çok fazla ayrılmış tüfitten, 105.00-240.00 m arası orta ayrılmış bazalttan ve 240.00-565.00 m arası ise fazla ayrılmış bazalttan geçecektir. Bu nedenle kaya sınıflamaları yapılırken çok fazla ayrılmış tüfit, orta ve fazla ayrılmış bazalt için, çevirme tünelinin 20 m üstüne ve 5 m altına kadar olan seviyeye ait verilerin ortalama değerleri kullanılmıştır. Bazalt için tünel güzergahındaki SK2 ve SK17 numaralı temel sondajlarına, bu temel sondajların tüfiti kesmemesi nedeniyle tüfit için SK7 numaralı temel sondajında aynı seviyeye ait verilere göre kaya sınıflamaları yapılmıştır. Süreksizlik yöneliminin derinlikle değişmediği varsayılarak, bazalt ve tüfitte en yoğun olarak

görülen eklemlerin konumu esas alınmıştır. Çevirme tünelinin açımında ise ilerleme yönü kuzey batıdan güneye doğru olarak kabul edilmiş ve yapılan kaya sınıflamalarına ait sonuçlar Çizelge 8 ve 9’da verilmiştir.

Çizelge 8. Çevirme tüneli güzergahındaki tüfit ve bazalt için yapılan RMR sınıflamaları.

Sınıflama Parametreleri	Çok fazla ayrılmış tüfit (0-105 m arası)	Orta ayrılmış bazalt (105-240 m arası)	Fazla ayrılmış bazalt (240-565 m arası)
Tek eksenli basınç direnci	8.5	17	13
RQD	2.5	6	3.5
Süreksizlik aralığı	6.5	25	20
Süreksizlik durumu	10	8	7.5
Yeraltı suyu	10	10	10
Eklam yönelimine göre düzeltme	-10	0	0
Toplam puan	27.5	66	54
Kaya sınıfı	Zayıf kaya	İyi kaya	Orta kaya

Çizelge 9. Çevirme tüneli güzergahındaki tüfit ve bazalt için yapılan Q sınıflamaları.

Sınıflama Parametreleri	Çok fazla ayrılmış tüfit (0-105 m arası)	Orta ayrılmış bazalt (105-240 m arası)	Fazla ayrılmış bazalt (240-565 m arası)
RQD	41	85	65
Eklemler takım sayısı (Jn)	12	12	12
Eklemler pürüzlülük sayısı (Jr)	3	3	2
Eklemler alterasyon sayısı (Ja)	6	1	2
Eklemler suyu azaltma faktörü (Jw)	1	1	1
Gerilim azaltma faktörü (SRF)	10	2.5	2.5
Q değeri	0.17	8.5	1.63
Kaya sınıfı	Çok zayıf kaya	Orta kaya	Zayıf kaya

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Boztepe Barajı çevirme tüneli güzergahında arazi ve laboratuvar çalışmaları ile elde edilen sonuçları ve önerileri şu şekilde sıralamak mümkündür.

1. Çevirme tüneli güzergahında tüfit ve bazalt birimleri yüzeylenmektedir.ve tünel 105.00 m tüfit, 460.00 m bazalt içinde açılacaktır. Tüfit çok fazla ayrılmış özelliktedir ve eklemler setleri içermektedir. RQD’ye göre çok düşük-orta-düşük kaya kalitesinde. orta-düşük dayanımlı ve

düşük orta modül oranlıdır. Bazalt orta-fazla ayrılmış özellikte, RQD'ye göre orta-düşük kaya kalitesinde, orta dayanımlı ve yüksek-orta modül oranlıdır.

2. Tünel güzergahında 0.00-105.00 m arasındaki tüfit UAI'ne göre çok fazla ayrılmış, 105.00-240.00 m arasındaki bazalt orta ayrılmış ve 240.00-565.00 m arasındaki bazalt ise fazla ayrılmış özelliktedir.

3. Çevirme tünelinin açımı sırasında, tünel kotunun yeraltı su seviyesinden fazla olması nedeniyle herhangi bir yeraltı suyu problemi meydana gelmeyecektir.

4. RMR sınıflama sistemine göre çok fazla ayrılmış tüfit zayıf kaya sınıfındadır. 5 m açıklık için ani göçme meydana gelecektir. Kazı tavan kemeri ve tabandan ilerlemelidir. Kazıyla uyumlu şekilde aynaya 10 m'ye kadar destekleme yapılmalıdır. Kemer ve duvarlarda 1-1.5 aralıklı 4-5 m uzunluğunda sistematik bulonlama, tavan kemerinde 10-15 cm, yan duvarlarda 10 cm kalınlığında püskürtme beton ve gerekli yerlerde 1.5 m aralıklı hafif traversler uygulanmalıdır.

Orta ayrılmış bazalt RMR sınıflamasına göre iyi kaya sınıfındadır. Desteksiz durabilme süresi 5 m açıklık için yaklaşık 1 yıldır. Kazı tam kesit halinde, 1-1.5 m olacak şekilde ilerlemeli ve aynaya 20 m'ye kadar destekleme yapılmalıdır. Kemerde 2-3 m 'de yer yer bulonlama ve gerektiğinde 2-3 cm kalınlığında püskürtme beton yapılmalıdır.

Fazla ayrılmış bazalt RMR sınıflamasına göre orta kaya sınıfındadır. Desteksiz durabilme süresi yaklaşık 1 aydır. Kazı tavan ve tabandan ilerlemeli, aynaya 10m'ye kadar destekleme yapılmalıdır. Ayrıca 3-4 m uzunluğunda sistematik bulonlama, tavan kemerinde 5-10 cm kalınlığında, yan duvarlarda ise 3 cm kalınlığında püskürtme beton uygulanmalıdır.

5. Q sınıflama sistemine göre çok fazla ayrılmış tüfit, çok zayıf kaya sınıfındadır. 5 m açıklık için Q sınıflaması destekleme sistemlerinde önerilen 30 numaralı destek kategorisine girmektedir ve tel kafes takviyeli püskürtme beton uygulanmalıdır.

Orta ayrılmış bazalt orta kaya sınıfındadır ve tünel açımı sırasında destekleme gerekmemektedir. Fazla ayrılmış bazalt zayıf kaya sınıfındadır ve 21 numaralı destek kategorisinde önerilen 1 m aralıklı 2.5 m uzunluğunda gerdirmesiz kaya bulonu ile 2-3 cm kalınlığında püskürtme beton uygulanmalıdır.

6. Tünel güzergahı için UAI'ne göre yapılan sınıflama ile RMR ve Q sınıflama sistemlerine ait sonuçlar karşılaştırıldığında, kayaçların ayrışma derecelerinin sınıflamalar sonucunda belirlenen kaya sınıfları ile ilişkili olduğu görülmektedir. UAI'ne göre çok fazla ayrılmış tüfit RMR'ye göre zayıf kaya, Q'ya göre ise çok zayıf kaya sınıfında, orta ayrılmış bazalt RMR'ye göre iyi kaya, Q'ya göre orta kaya sınıfında, fazla ayrılmış bazalt ise RMR'ye göre orta kaya, Q'ya göre ise zayıf kaya sınıfında yer almaktadır. Bu durum, tünel güzergahındaki kayaçların ayrışma

derecelerinin belirlenmesi, güzergahtaki kayaçların kaya sınıfı hakkında ön bilgi vermesi açısından önem taşımaktadır.

5. KAYNAKLAR

- Akkuş, M.F., 1971. Darende-Balaban havzasının (Malatya ESE Anadolu) jeolojik ve stratigrafik incelenmesi. MTA Derg., 76, 1-60.
- Barton, N., Lien, R. And Lunde, J., 1974. Engineering Classification of rock masses for the desing of tunnel support. Rock mechanics, 6, 4, 183-236.
- Baykal, F., 1966. 1/500 000 ölçekli Türkiye jeoloji haritası Sivas paftası izahnamesi. MTA yayını, 116 s.
- Bieniawski, Z.T., 1989. Engineering classification of jointed rock masses. Transactions S. African Institution of Civil Engineers, V:15, No:12, 355-344.
- Deere, D.U., 1963. Technical description of rock cores for engineering purposes. Rock Mech. Eng. Geol., 1, 18.
- Deere, D.U. and Miller, R.P., 1966. Engineering classification and index properties for intact rock. Air force Weapons Lab. Tech. Report, Volume I and II, Leonard Hill, 270 p., London.
- Franklin, J.L., Broch, E. and Walton, G., 1971. Logging the mechanical character of rock. Transaction of the Institution of Minning and Metallurgy, 81, Mininf section 1/A-9.
- Görmüş, M., 1993. Paleoenviromental interpretations of the Cretaceous-Tertiary sequences and their boundary relations in the Hekimhan area (NW Malatya, Turkey). Akdeniz Üniv. Isparta Müh. Fak. Derg., 7, 1-14.
- Gürocak, Z., 1999. Boztepe (Malatya) Barajı eksen yerindeki kayaçların jeomekanik özellikleri ve ayrışma derecelerinin incelenmesi. F.Ü. Fen Bil. Enst., Doktora Tezi, 106 s. (yayınlanmamış)
- Ketin, İ., 1966. Türkiye'nin tektonik birlikleri. MTA Dergisi, 66, 20-34.
- Kılıç, R., 1997. Site-selection study based on the Unified Alteration Index (UAI) and on analysis of discontinuties. Geoenv'97 Int. Symp. On Geo. And Env., İstanbul, 99 p.
- Yoldaş, R., 1972. Malatya kuzeyinin jeolojisi ve petrol olanakları. MTA Derleme No: 4936 (yayınlanmamış).

YAZIM KURALLARI

- * Uluslararası Mühendislik Jeolojisi Türk Milli Komitesi Bülteni, Uygulamalı Jeolojinin değişik alanları ile ilgili, özgün sonuçları olan Türkçe makaleleri kabul eder.
- * Makaleler, şekil, çizelge, levha ve fotoğraflar dahil en fazla 12 sayfa olacak şekilde, A4 kağıdının bir yüzüne, alt, üst ve yanlarında 2,5 cm boşluk bırakılarak, 1 1/2 aralıklı, IBM uyumlu, Word 7.0, Times New Roman fontunda 12 ölçüsünde yazılmalıdır.
- * Makaleler, Türkçe ve İngilizce başlık, Yazar(lar)ın adı soyadı ve adresi, Türkçe öz, abstract, giriş, bölümler ve alt bölümler, sonuçlar veya tartışmalar ve sonuçlar, katkılar ve kaynaklar sırasına uygun olarak düzenlenmelidir.
- * Öz ve abstract makalenin tümünü yansıtır nitelikte ve 100 kelimeyi geçmemelidir.
- * Bölümler ve alt bölümler, 1, 1.1, 2, 2.1,, şeklinde numaralandırılmalıdır.
- * Makalelerde SI birim sistemi kullanılmalıdır.
- * Kaynaklara metin içerisinde yazarın soyadı ve tarihi belirtilerek atıfta bulunulmalıdır. Kaynaklar aşağıdaki şekilde gösterilmelidir. Örnek: Erguvanlı, K., 1980, Problems of damsites and reservoir in karstic areas with some considerations and to their solutions. IAEG Bulletin, 20, 173-178, Germany.
- * Şekil, çizelge, levha ve fotoğraflar, A4 boyutunda (en büyük 15x20 cm) çizilmiş, yazıları net, okunaklı, fotoğraflar siyah-beyaz ve parlak kağıda basılmış olmalıdır. Şekil, çizelge ve fotoğraflarla ilgili tüm açıklamalar Türkçe ve İngilizce olarak ayrı ayrı listeler halinde verilmelidir.
- * Makaleler, biri orjinal olmak üzere üç nüsha halinde, disketi ile birlikte aşağıdaki genel sekreterlik adresine gönderilmelidir.
- * Yazar(lar) ayrı bir sayfada açık adresini, telefon numarasını, faks numarasını ve e-posta adresini belirtmelidir.

Adres: Prof. Dr. Okay EROSKAY
Kültür Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi Dekanı
E5 Karayolu üzeri no: 22
34510 Şirinevler / İstanbul