



# MÜHENDİSLİK JEOLJİSİ

TÜRK MİLLİ KOMİTESİ

## BÜLTENİ

12<sup>12</sup>  
SAYI  
ŞUBAT  
1991  
YIL

### İÇİNDEKİLER

◆ 15. YILA ERGUVANLI HOCA'SIZ GİRERKEN...

◆ EDİRNE-KINALI OTYOLUNUN MÜHENDİSLİK JEOLJİSİ  
*ENGINEERING GEOLOGY OF EDİRNE-KINALI MOTORWAY*

O. EROSKAY  
Ö. CORUK

◆ KIZILIRMAK-KEPEZ BARAJ YERİNDEKİ DELİKBK KİREÇTAŞININ  
JEOTEKNİK ÖZELLİKLERİ  
*GEOTECHNICAL PROPERTIES OF THE DELİKBK LIMESTONE  
AT KIZILIRMAK KEPEZ DAMSITE*

O. GÜRPINAR

◆ TÜNELLERDE ZEMİN İYİLEŞTİRMELERİ  
*GROUND TREATMENT IN TUNNELS*

E. ŞEKERCİOĞLU

◆ KARSTİK SAHALARDA JEOFİZİK UYGULAMALAR  
*GEOPHYSICAL APPLICATIONS IN KARSTIFIED SITES*

I. ÇAĞLAR

◆ AŞIRI KONSOLİDE KİLDE YER ALAN YARMALARDA KABARMA POTANSİYELİ  
*SWEELLING POTENTIAL IN THE CUTS OF OVERCONSOLIDATED CLAYS*

S. YILDIRIM

◆ BATI ANADOLU'DA ISI AKISI DEĞERLERİNİN DAĞILIMI  
*DISTRIBUTION OF HEAT FLOW VALUES IN WESTERN ANATOLIA*

O. M. İLKİŞİK

◆ İSTANBUL-ÇİFTEALAN DOLAYINDA ŞEV STABİLİTESİ  
*DIE BÖSCHUNGSSTABILITAET IN DER NAEHE VON  
İSTANBUL-ÇİFTEALAN*

A. M. GÖZÜBOL

◆ ÇATLAKLI KAYANIN ALANSAL GEVŞEMEYE BAĞLI DAYANIM AZALMASI  
*THE DECREASE IN BEARING CAPACITY OF FRACTURED ROCK WITH  
RESPECT TO TWO DİMENTIONAL RELAXATION*

Y. MAHMUTOĞLU

## MÜHENDİSLİK JEOLJİSİ TÜRK MİLLİ KOMİTESİ YÖNETİM KURULU

Başkan : Prof. Dr. Erdoğan YÜZER (İ.T.Ü. MADEN FAK. DEKANI - İSTANBUL)  
Genel Sekreter : Prof. Dr. Okay EROSKAY (İST. ÜNİV. MÜH. FAK. - İSTANBUL)  
Sayman : Prof. Dr. Aziz ERTUNÇ (Ç. ÜNİV. MÜH. MİM. FAK. DEKANI - ADANA)  
Üye : Doç. Dr. Necdet TÜRK (DOKUZ EYLÜL ÜNİV. MÜH. MİM. FAK. - İZMİR)  
Üye : Jeo. Yük. Müh. A. Mesut ÇETİNÇELİK (DSİ - TED BAŞK. YARD. - ANKARA)

## YAYIN DANIŞMA KURULU

Prof. Vahit KUMBASAR (İ.T.Ü.)  
Prof. Dr. Ergün TOĞROL (B.Ü.)  
Prof. Dr. Erdoğan YÜZER (İ.T.Ü.)  
Prof. Dr. Okay EROSKAY (İ.Ü.)  
Prof. Dr. Erol İZDAR (D.E.Ü.)  
Prof. Dr. Remzi DİLEK (K.T.Ü.)  
Prof. Dr. Vedat DOYURAN (O.D.T.Ü.)  
Prof. Dr. Erçin KASAPOĞLU (H.Ü.)  
Prof. Dr. Aziz ERTUNÇ (Ç.Ü.)  
Prof. Dr. Gültekin GÜNAY (H.Ü.)  
Prof. Dr. Mahir VARDAR (İ.T.Ü.)  
Prof. Dr. Okay GÜRPINAR (İ.Ü.)  
Prof. Dr. Esat BAŞKAN (S.Ü.)  
Prof. Dr. Fikret TARHAN (K.T.Ü.)  
Doç. Dr. Necdet TÜRK (D.E.Ü.)

### YAZIŞMA ADRESİ

Prof. Dr. Erdoğan YÜZER  
İ.T.Ü. Maden Fakültesi  
Ayazağa Kampüsü 80626 MASLAK - İSTANBUL

Prof. Dr. Okay EROSKAY  
İst. Üniv. Mühendislik Fak.  
Uygulamalı Jeoloji Anabilim Dalı  
Avcılar Kampüsü AVCILAR - İSTANBUL

### Basıldığı Yer

ÇAĞLAYAN BASİMEVİ  
Cağaloğlu, Çatalçeşme Sok : No : 26/3 - 4 — İstanbul

## İÇİNDEKİLER

◆ 15. YILA ERGUVANLI HOCA'SIZ GİRERKEN...

◆ EDİRNE-KINALI OTOYOLUNUN MÜHENDİSLİK JEOLJİSİ  
*ENGINEERING GEOLOGY OF EDİRNE-KINALI MOTORWAY*

O. EROSKAY  
Ö. CORUK

◆ KIZILIRMAK-KEPEZ BARAJ YERİNDEKİ DELİKBEK KİREÇTAŞININ  
JEOTEKNİK ÖZELLİKLERİ  
*GEOTECHNICAL PROPERTIES OF THE DELİKBEK LIMESTONE  
AT KIZILIRMAK KEPEZ DAMSITE*

O. GÜRPINAR

◆ TÜNELLERDE ZEMİN İYİLEŞTİRMELERİ  
*GROUND TREATMENT IN TUNNELS*

E. ŞEKERCİOĞLU

◆ KARSTİK SAHALARDA JEOFİZİK UYGULAMALAR  
*GEOPHYSICAL APPLICATIONS IN KARSTIFIED SITES*

İ. ÇAĞLAR

◆ AŞIRI KONSOLİDE KİLDE YER ALAN YARMALARDA KABARMA POTANSİYELİ  
*SWEELLING POTENTIAL IN THE CUTS OF OVERCONSOLIDATED CLAYS*

S. YILDIRIM

◆ BATI ANADOLU'DA ISI AKISI DEĞERLERİNİN DAĞILIMI  
*DISTRIBUTION OF HEAT FLOW VALUES IN WESTERN ANATOLIA*

O. M. İLKİŞİK

◆ İSTANBUL-ÇİFTEALAN DOLAYINDA ŞEV STABİLİTESİ  
*DIE BÖSCHUNGSSTABILITAET IN DER NAEHE VON  
İSTANBUL-ÇİFTEALAN*

A. M. GÖZÜBOL

◆ ÇATLAKLI KAYANIN ALANSAL GEVŞEMEYE BAĞLI DAYANIM AZALMASI  
*THE DECREASE IN BEARING CAPASITY OF FRACTURED ROCK WITH  
RESPECT TO TWO DIMENTIONAL RELAXATION*

Y. MAHMUTOĞLU

## 15. YILA ERGUVANLI HOCA'SIZ GİRERKEN...

Bilindiği gibi, mühendislik jeolojisi konusunda yapılan bilimsel ve uygulamalı çalışmaların dünya ölçüsünde yaygınlaşması üzerine, bu çalışmaları koordine etmek ve yönlendirmek amacı ile 1964 yılında, "Uluslararası Mühendislik Jeolojisi Birliği" (IAEG) kurulmuştur.

Çeşitli ülkelerdeki mühendislik jeolojisi konusunda yapılan etkinlikleri zamanında öğrenmek ve Türkiye'deki çalışmaları da uluslararası düzeyde duyurmak için, anılan birliğe üye olunması düşünülmüş ve bu istek 1974 yılında, Brezilya Sao Paulo'da düzenlenen 2. IAEG kongresine aziz hocamız Prof. Dr. Kemal ERGUVANLI tarafından önerilmiş ve Uluslararası Birliğin 22 ağustos 1974'deki toplantısında, oybirliği ile kabul edilmiştir.

Türkiye'de mühendislik jeolojisi çalışmalarının öncülüğünü yapan sevgili hocamızın, yoğun gayretlerine rağmen, "Mühendislik Jeolojisi Türk Milli Komitesi"nin (MJTMK) işlemleri 2 yıldan fazla sürmüş, nihayet komite 5 kasım 1976 yılında, Yüksek Öğretim Kurulu'nun onayı ile kurulmuştur.



Mühendislik Jeolojisi Türk Milli Komitesi 1. Yönetim Kurulu (1978, DSİ Namık Kiper Salonu): Soldan sağa, Prof. Dr. E. Yüzer, E. Koşar, Prof. Dr. K. Erguvanlı, Prof. Dr. O. Eroskay ve T. Aklan.

Kuruluşundan itibaren başkanlığını yürüttüğü komitemizde büyük bir heyecan ve tükenmez bir gayretle hizmet eden aziz Hocamızı içten sevgi ve rahmetle anıyoruz.

Hocamızın, mühendislik jeolojisine yaptığı çok değerli katkılarını, 29-30 eylül 1988'de onuruna düzenlenen "ERGUVANLI MÜHENDİSLİK JEOLJİSİ SEMPOZYUMU" nu konu alan bültenimizin 11. sayısında belirtmeye çalışmıştık. Kuşkusuz, Türkiye'de Mühendislik Jeolojisi ile Özdeş bir isim haline gelen "ERGUVANLI HOCA" bundan sonraki etkinliklerimizde de bize, çok iyi bildiğimiz sevecen tavrı ve kendine özgü düşünceleri ile yine ışık tutacaktır.

15. yıla girerken, komitemizin üye sayısı 152'yi kurumsal üyelerimiz de 23'ü bulmuştur. Geçen zaman içinde, sağlıklı büyüyen bir komitenin ülkemize daha olumlu katkılarının bulunulabileceği düşünülerek yeni üye kaydında gerekli özen gösterilmektedir.

1978 yılından itibaren üyelerimize, IAEG'nin ve MJTMK'nin bültenlerinin düzenli olarak ulaştırılmasına gayret edilmektedir. 25.1.1991 tarihinde yapılan yönetim kurulu toplantısında, 1991 yılı üyelik aidatının 60.000.— TL. kurumsal üye aidatının da 300.000.— TL. olması kararlaştırılmıştır. Bilindiği gibi bu miktar, bülten bedeli olarak IAEG'ye gönderilmektedir.

Prof. Dr. Kemal ERGUVANLI hocamız, O'nu yitirilişimizin birinci yılında, 15 kasım 1990 günü, İstanbul Mermereciler Derneği ve Gemlik Dişbaz İşletmesi'nin anlamlı katkıları ile yaptırılan kabri başında saygıyla anılmıştır. Aynı gün, İTÜ Maden Fakültesinde, hocamızın yıllar boyu topladığı ve Muhterem Ailesi tarafından bağışlanan kitaplar ve periyodiklerle zenginleştirilen "ERGUVANLI MÜHENDİSLİK JEOLJİSİ KİTAPLIĞI"nın açılışı yapılmış, düzenlenen törende, hocamız sevgi ile yad edilmiştir.

Milli komitemizin önümüzdeki yıllarda etkinliklerinin, "ERGUVANLI HOCA"nın görmek istediği doğrultuda artarak devamını sağlamak üzere, Hocamızın Muhterem Ailesinin isteği ve değerli katkıları ile 1990 yılında "ERGUVANLI ARAŞTIRMA VE EĞİTİM FONU" kurulmuştur. Yurt Madenciliğini Geliştirme Vakfı bünyesinde oluşturulan bu fonda toplanacak miktarın gelirleriyle mühendislik jeolojisi ile ilgili çeşitli araştırma ve eğitim etkinlikleri sürdürülecektir.

Fonun senelik gelirinin % 30'u mühendislik jeolojisinin yurtiçi ve yurtdışında gelişimini sergileyecek araştırma projelerine destek sağlanmasına, % 40'ı başta İTÜ Maden Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği olmak üzere muhtaç ve başarılı jeoloji mühendisliği öğrencilerine burs verilmesine, % 20'si "Prof. Dr. Kemal ERGUVANLI MÜHENDİSLİK JEOLJİSİ KİTAPLIĞI"nın ihtiyacı olan önemli yayınların sağlanmasına, % 10'u da Lisans ve Yüksek Lisans düzeyinde hazırlanmış en iyi tezlere "ERGUVANLI MÜHENDİSLİK JEOLJİSİ ÖDÜLÜ" olarak verilmesine ayrılacaktır.

1990-91 ders yılından itibaren ERGUVANLI Eğitim Burslarının verilmesine başlanmıştır. Yine bu yıl içinde "ERGUVANLI ÖDÜLÜ" koşullarını bildiren duyurular Jeoloji Mühendisliği Bölümü bulunan üniversitelerimize gönderilecektir.

Mühendislik Jeolojisi Türk Milli Komitesi kuruluşunun 15. yılında, "ERGUVANLI HOCA"sız ama, O'nun mühendislik Jeolojisi aşkını aşıladığı, ismini bundan sonra da yaşatmaya and içmiş sevenleri ile giriyor!

Hocamızı bir kez daha rahmetle anarken, tüm üyelerimize içten sevgi ve saygılarımızı sunuyoruz.

YÖNETİM KURULU

YURT MADENCİLİĞİNİ  
GELİŞTİRME VAKFI

ERGUVANLI ARAŞTIRMA VE EĞİTİM FONU

Vakıflar Bankası Taksim Şubesi

Hesap No. 25/1519-2



## EDİRNE-KINALI OTOYOLUNUN MÜHENDİSLİK JEOLojİSİ

## ENGINEERING GEOLOGY OF EDİRNE-KINALI MOTORWAY

Okay EROSKAY\*  
Özkan CORUK\*\*

**ÖZ**— Edirne-Kinalı Otoyolu Projesinde, mühendislik jeolojisi incelemeleri 3 aşamada ele alınmıştır. İlk aşamada güzergâh ve çevresinde genel amaçlı jeoloji çalışması yapılmıştır. Bu aşamada, bölgesel jeoloji ile otoyolun inşaa edileceği kayalar ve malzeme olanakları belirlenmiştir. Daha sonra otoyol güzergâhını içine alan, 5-7 km. genişliğindeki şerit boyunca, birimlerin stratigrafik özellikleri yanında, jeoteknik nitelikleri de dikkate alınarak 1/25.000 ölçekli jeoloji haritası hazırlanmıştır. Güzergâhın en doğu ucunda kumtaşı, kilitaşı ve tüfitlerden oluşan Oligosen'e ait Yenimuhacir grubu yüzeylenir. Güzergâhın kalan kısmında ise tutturulmamış veya gevşek tutturulmuş kum, kil ve çakıl boyutundaki kırıntılardan oluşan Ergene grubuna ait çökeller bulunmaktadır.

Jeoloji haritasında, Ergene grubuna ait farklı litolojiler tane boyu dağılımına göre çeşitli formasyon ve üyelerine ayrılmıştır. Birimlerin yüzey altındaki dağılımı ve jeoteknik özelliklerini belirlemek amacıyla, 20-30 m. derinliğinde yaklaşık 400 adet veya toplam 8000 m den çok temel araştırma sondajı ile çok sayıda araştırma çukuru açtırılarak yerinde deneyler yapılmıştır. Arazi ve laboratuvar deneyleri de değerlendirilerek 1/5.000 ölçekli mühendislik jeolojisi harita ve kesitleri hazırlanmıştır. Yarmalardan çıkacak malzemelerin dolgu için kullanılabilirliği, araştırılmıştır. Taban zeminin jeoteknik özellikleri belirlenerek üst yapıda kullanılacak malzemeler saptanmıştır. Dolgu, üst yapı, beton ve bitümlü karışımlar için Kırklarelli kireçtaşının resifal kesimleri ile Pınarbaşı formasyonunun kilitli kireçtaşı düzeylerinden ve Çorlu güneyindeki Karatepe bazaltlarından yararlanılması uygun görülmüştür.

**ABSTRACT**— The investigations to determine the engineering geology of the Edirne-Kinalı Motorway have been undertaken in three steps. In the first step, a general purpose geological study of the motorway route and its surroundings has been conducted. During this study, the regional geology and po-

tential materials including rocks have been determined.

After that, a geological map with a 1:25.000 scale has been prepared which includes the motorway route in a 5-7 km. width strip. The geotechnical as well as the stratigraphic specialities of the unit have also been taken into account. At the very east point of the region, Yenimuhacir group, which belongs to the Oligocene period and consists of sandstone, claystone and tuffite, exists. In other parts of the region, deposits belonging to Ergene group, which are made up of unconsolidated or weakly consolidated sand, clay and gravels, are located.

In the 1:25.000 scale map, different lithologies belonging to the Yenimuhacir and Ergene groups are classified into various formations and members according to their grain sizes. For the purpose of identifying the underground placement and the geotechnical specialities of the units, 400 boreholes with depths ranging between 20 and 30 meters (a total of more than 8,000 m) have been drilled, various trial pits have been opened and in situ examinations have been made. Field and laboratory tests have been evaluated and 1:5.000 scale engineering geological maps and sections have been prepared. Investigations have been made to determine whether the materials to be obtained from cut sections can be used in embankments. Making use of the geotechnical specialities of the ground base, the materials to be used in upper layer have been identified. The reef parts of Kırklarelli limestone, clayey limestone of Pınarbaşı formation and Karatepe basalts located south of Çorlu have been deemed suitable for embankment, upper layer and bitumen.

## GİRİŞ

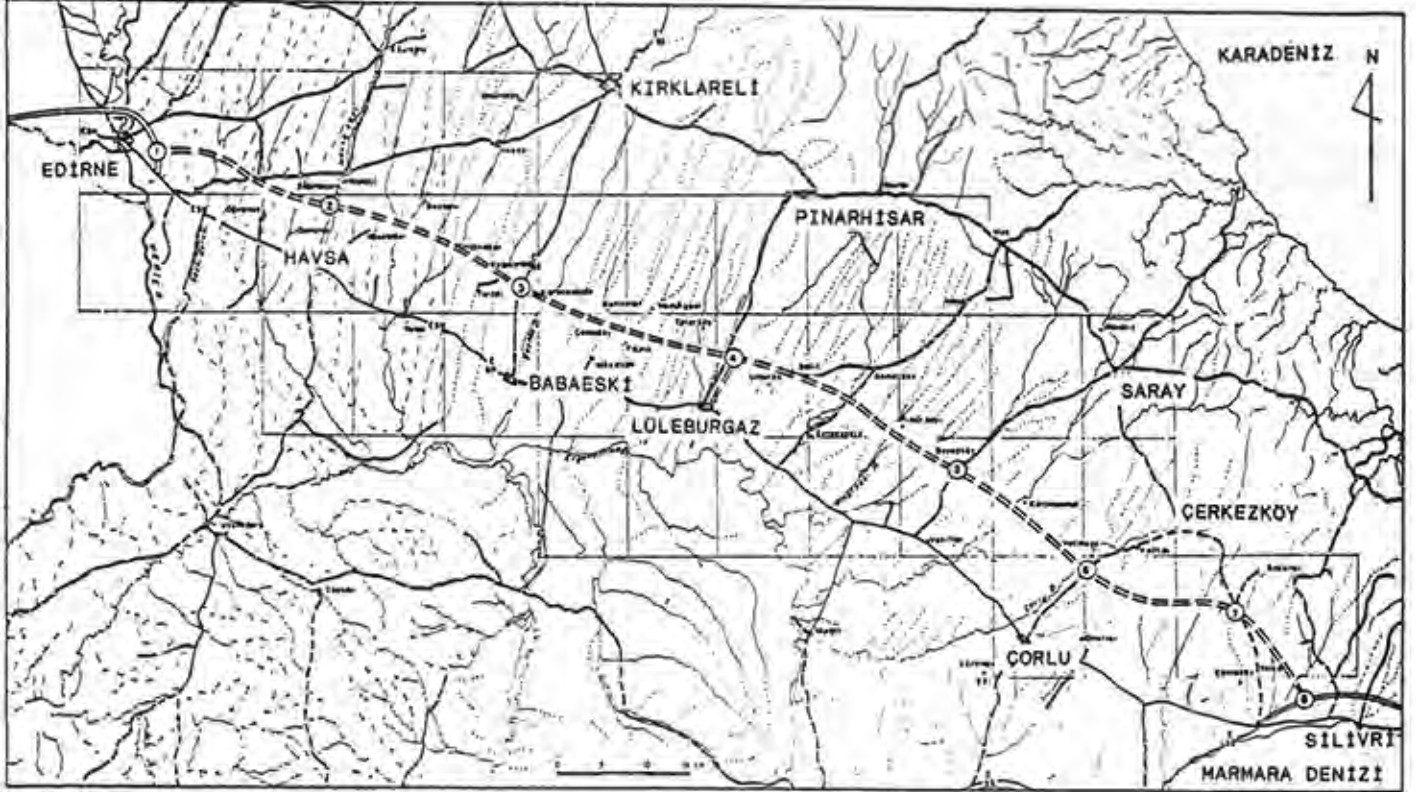
Edirne-Kinalı Otoyolu, Batı Avrupayı Ortadoğuya bağlayan Transit Avrupa Otoyolu (Trans-European Motorway-TEM) projesinin bir bölümünü oluşturmaktadır. TEM pro-

\* Prof. Dr., İst. Üniv. Müh. Fak. Uygulamalı Jeoloji Anabilim Dalı Bşk.

\*\* Araş. Görv., İst. Üniv. Müh. Fak. Uygulamalı Jeoloji Anabilim Dalı.

jesi Türkiye dahil 10 ülkeden geçecektir. Bu proje için, otoyol standartları, katılan ülkelerin temsilcilerinin oluşturduğu Yürütme Komitesi tarafından kararlaştırılmıştır. Edirne-Kınalı Otoyolu, bu projenin, Kapıkule-Edirne ve Kınalı-Sakarya Otoyolları arasında kalan kesimini kapsar. Proje, Edirne-Kapıkule Otoyolunun 25 nci kilometresinde başlar. Güzergâh, E5 karayolunun kuzeyinde ve bu yola paralel olarak uzanır (Şekil 1). Havsa'nın 7 km., Babaeski'nin 9 km., Lüleburgaz'ın 6 km., Çorlu'nun 10 km., kadar kuzeyinden ve Çerkezköy'ün yaklaşık 12 km., güne-

yinden geçerek, Silivri'nin 15 km. kuzeybatısında, inşaatı devam eden, Kınalı-Sakarya Otoyoluna bağlanır. Toplam uzunluğu 152 kilometredir. Çerkezköy, Çorlu, Saray, Lüleburgaz, Babaeski ve Havsa'ya kavşaklarla bağlanacaktır. Otoyolun inşaatı üç bölümde planlanmıştır. Öncelikli kesim, 102-134 km. arasındır. 134-177 kilometreler arası doğu kesimi ve 25-102 kilometreler arası, batı kesimi olarak adlanmıştır. Otoyolun tümünün 1991 yılında trafiğe açılması öngörülmektedir.



Şekil 1 — Edirne-Kınalı otoyolu güzergahı.

### PROJE STANDARTLARI

Otoyolda belirlenen standartlar, başlıca 3 grupta toplanabilir.

1. Geometrik standartlarda otoyol topoğrafik koşullara göre 3 kesime ayrılmıştır. Bu 3 kesim için ayrı ayrı proje hızı, şerit, banket ve refüj genişliği, maksimum boyuna eğim, deyer ve karışık eğim, minimum kurp yarıçapı ile görüş uzaklığı standartları saptanmıştır. Edirne-Kınalı otoyolunda, topoğrafyanın az eğimli olması nedeniyle geometrik standartların düz araziler için saptanan standartlarına uyulmaktadır.

2. Otoyolun üstyapı katmanları, dolgu nitelikleri, şev eğimleri, yolun geçeceği taban zeminin veya alt temel nitelikleri ile sanat yapılarının mühendislik özellikleri de teknik standartlar kapsamındadır. Edirne-Kınalı Otoyolunda üstyapının toplam kalınlığı 75 santimetredir. Alt temel, granüler temel, bitümlü temel, binder ve aşınma

katmanlarından oluşur. Diğer mühendislik parametreleri de taban zemin veya malzeme niteliğindeki birimlerin jeoteknik özelliklerine göre belirlenmiştir.

3. Otoyol boyunca servis, dinlenme, bakım tesislerinin yeri ve özellikleri, ışıklandırma, işaretleme, yol korumaları, yeşillendirme vb. düzenlemeler ise, hizmet konularında benimsenen standartlardır. Edirne-Kınalı Otoyolunun düzenli aralıklarla yapılacak servis, dinlenme, park ve bakım tesislerine sahip olması planlanmıştır. Bu tesislerin yerlerinin seçiminde doğu ve batısında bağlandığı diğer otoyollardaki benzer tesislerin yeri ile morfolojik koşullar ve kavşaklara uzaklık gibi faktörler dikkate alınmıştır. Edirne-Kınalı otoyolunda 60 km. aralıklarla 73 ve 133 üncü kilometrelerde servis alanlarının ve 30 km. aralıklarla da park veya dinlenme alanlarının yapımı projelendirilmiştir. Otoyolun sürekli trafiğe açık olmasını sağlamak amacıyla 50'şer km. aralıkla bakım tesisleri ve malzeme depolarının inşaatı planlanmıştır.

## MÜHENDİSLİK JEOLJİSİ

Edirne-Kinalı Otoyolunun ilk güzergâhı ön inceleme aşamasında Karayolları Genel Müdürlüğü (KGM) tarafından belirlenmiştir. Bu güzergâhın geometrik ve teknik standartlara uygunluğu Jeomorfoloji, hidroloji, jeoloji, hidrojeoloji, jeoteknik ve mühendislik verilerine göre değerlendirilmiştir. Sorunlu kesimlerde, güzergâh değişimi veya ek incelemeler sonucu ön proje kesinleşerek uygulama aşamasına geçilmiştir. Bu bölümde, Edirne-Kinalı Otoyolunda proje ve uygulamadaki çalışmalar, karşılaşılan sorunlar ve çözümler kısaca tanıtılacaktır.

## JEOMORFOLOJİ

Edirne-Kinalı Otoyolu, Ergene havzasının eksenine paralel uzanır. Otoyol, Istranca'dan Ergene vadisine eğimli yamacın eteğinde yer almaktadır. Bu yamaçta, Ergene nehrinin çok sayıda yan kolları, tipik paralel drenaj örneği sunar. Topoğrafik eğimler, kuzeydoğudan güneybatıya veya güneye doğrudur. Dolayısıyla yamaç, güzergâh boyunca yükselti farkı 50-100 metreye ulaşan epijenik vadilerle deşilmiştir. Bu yan vadilerin yamaçlarında, doğu kesimde kuzeybatıya; batı kesimde ise güneydoğuya eğimler izlenir. Asimetrik bu ikincil yamaçlar havzanın bölgesel eğilmesi ile açıklanabilir. Genel yapıya bağlı olarak güzergâhın doğu ve batı kesimlerinde, bağıl olarak daha geniş ve derin vadiler görülür. Orta kesimde ise otoyol, alçak sırtlar ve geniş vadilerin yer aldığı bir araziden geçer.

## YÜZEYSULARI

Otoyol boyunca inşa edilecek menfez, köprü ve viyadük gibi yapıların projelendirilmesi amacıyla hidrolojik araştırmalar yapılmıştır. Bu araştırmalarda, su toplama alanlarının karakteristikleri ve değişik süreçlerdeki taş-

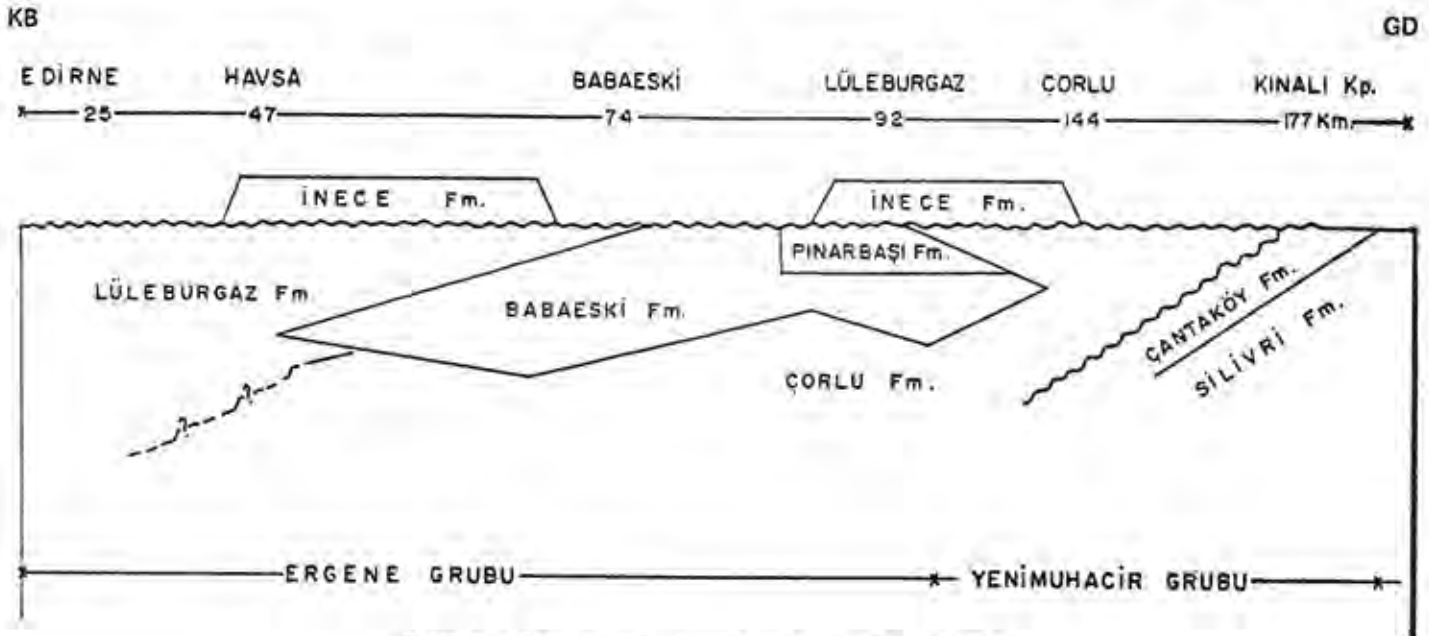
kın debileri belirlenmiştir. Öncelikli kesimde otoyolu kesen 12 adet su toplama alanı bulunmaktadır. Su toplama alanlarında yağış ve akış analizleri yapılarak 100 yıllık taşkın debileri hesaplanmıştır. Edirne-Kinalı otoyolunda, KGM'nün önerilerine göre; Kutu menfezler, 10 yılda meydana gelebilecek taşkın menfez üst düzeyinde ve 100 yılda meydana gelebilecek taşkın ise menfez üst düzeyinin 1 m. yukarısında karşılayacak boyutlarda projelendirilmiştir. Köprülerde ise 100 yılda meydana gelebilecek taşkın su düzeyinin köprü açıklığının en fazla 1.5 m. altına yaklaşacak şekilde olması planlanmıştır.

## JEOLOJİ

Edirne-Kinalı Otoyolu projesinde jeoloji incelemeleri 3 aşamada ele alınmıştır. İlk aşama, malzeme alanlarını ve bölgesel jeolojiyi belirlemek amacıyla gerçekleştirilen ön incelemelerdir. Bu çalışmada, jeolojik istif açığa çıkarılmış, dolgu ve üst yapıda kullanılabilecek birimler ayrıntılandırılmıştır. Otoyola uzaklığı ve jeoteknik özellikleri uygun görülen birimlerin yüzeylendiği alanlarda, ayrıntılı malzeme araştırmaları yapılmıştır. Daha sonraki aşamada, otoyol güzergâhını içine alan 5-7 km. genişliğindeki bir şerit boyunca, 1/25.000 ölçekli jeoloji haritası hazırlanmıştır. Bu çalışmada birimlerin, stratigrafik nitelikleri yanında jeoteknik özellikleri de dikkate alınmıştır. Son aşamada ise, güzergâh boyunca arazi gözlemleri, temel sondajları ile araştırma çukurlarının verileri de dikkate alınarak 1/5.000 ölçekli mühendislik jeolojisi harita ve kesitleri çizilmiştir. Sorunlu kesimlerde daha ayrıntılı incelemeler yapılarak gözlem ve deneyler 1/1.000 ölçekli haritalara geçirilmiştir.

## BÖLGESEL JEOLOJİ

Ergene havzasının kuzeyinde, Istranca masifi bölgenin ana yapı unsurudur. Bilindiği gibi masifin güney ke-



Şekil 2— Edirne-Kinalı otoyolundaki litoloji birimleri.



narında Eosen'e ait Kırklareli gurubunun çeşitli karbonatlı kayaları vardır. Stratigrafik istifin daha üst kesiminde, güzergâhın doğusunda izlenen, Yenimuhacir gurubu bulunur (Şekil 2). Yenimuhacir gurubu, başlıca kumtaşı, kıltaşı, şeyl ve tufik düzeylerinden oluşmaktadır. Özellikle Ergene havzasının güneyinde geniş alanlar kaplar. Birçok araştırmacı tarafından Oligosen-Alt Miyosen zaman aralığında çöktüğü kabul edilir. Güzergâhın büyük bir kısmı, Ergene gurubuna ait birimler üzerindedir. Ergene gurubu başlıca, kum, kil, killi kireçtaşı ve çakıl düzeylerinden oluşmuş karasal bir istiftir. Havzanın güneyinde, yer yer genç bazaltlar bulunur. Ergene gurubu, Pliyosen-Pleyistosen zaman aralığında çökelmiştir. Bu birimin değişik düzeyleri formasyon ve üyelerine ayırtılarak incelenmiştir.

### GÜZERGÂH JEOLJİSİ

Yenimuhacir gurubu, güzergâhın en doğu kesiminde izlenir. Bu kesimde (165-177 km. arası), çoğun daha engebeli bir topoğrafya görülür. Arazi gözlemleri ve sondaj verileri değerlendirilerek iki farklı formasyon ayrılmıştır. 177 km. ile 174. km. arasında kalan yaklaşık 3 kilometrelik kesimde sarı ve gri kumtaşları ile ardalanmış kıltaşı katmanlarından oluşan düzey, Silivri formasyonu olarak haritalanmıştır. Silivri formasyonu, ince-orta katmanlı, genelde yatay, yer yer 3-5 derece kuzeybatıya eğilimlidir. 174. kilometreden 165. kilometreye kadar Yenimuhacir gurubuna ait Çantaköy formasyonu bulunur. Bu formasyon, beyaz tufitlerle ardalanmış gri kumtaşı yeşil kıltaşı ve şeyl düzeylerinden oluşur. Otoyol güzergâhı 165. kilometreden batıya doğru Ergene gurubuna ait birimlerin yüzeylendiği kesimden geçer. Havza ortasında yüzlerce metre kalınlığa erişen Ergene gurubu, çökme ortamı özelliklerine bağlı olarak kum, kil, çakıl, kireçtaşı veya bunların değişik oranlardaki karışımından oluşur. Bu düzeyler, düşey ve yanal geçişler sunar. Ergene gurubu litolojik özelliklerine göre 4 formasyona ayrılmıştır. Güzergâhın 165. kilometresinden itibaren, Ergene gurubunun en alt düzeyi olan Çorlu formasyonu yüzeylenir. Çoğunlukla kum yer yer çakıl boyutundak tanelerden oluşan bu birim Çorlu kumlu karmaşığı olarak da tanımlanır. Kum iri, orta tane boyunda, gri, beyaz veya sarımsı ve tutturulmamıştır (Foto 1). Bellirgin bir katmanlanma göstermez. Ancak yaygın olarak çapraz katman ve ilksel sedimenter yapılar izlenir. Yer yer, yeşil kil mercekleri içerir. Kil aradüzey veya mercekleri 130 uncu km. dolaylarında artarak 124. kilometreden itibaren yeşil, fisürlü, yüksek plastisiteli kil düzeyine geçer. Bu düzey, Ergene gurubu içerisinde Babaeski formasyonu olarak ayrılmıştır. Karbonat arakatlı Babaeski formasyonu, güzergâh boyunca 50. km. kadar yer yer görülür. 116, 85 ve 80 nci kilometreler dolayında, Babaeski formasyonu üzerinde killi kireçtaşı veya karbonatlı kıltaşı düzeyleri vardır. Daha sert, dayanımlı bir görünüm kazandıran bu düzey, Pınarbaşı formasyonu olarak ayırtlanmıştır. 94. kilometreden itibaren Babaeski formasyonu üzerinde Çorlu formasyonu ile benzer özellikte bir başka kumlu düzey görülür. Tane boyu Çorlu formasyonuna

göre daha incedir. Bağlı stratigrafik konumu dikkate alınarak, bu birim Ergene gurubu içinde Lüleburgaz formasyonu olarak tanımlanmıştır. Ergene gurubunun en

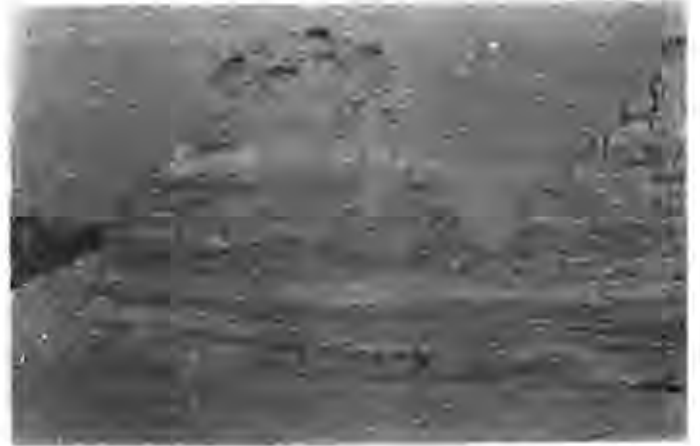


Foto 1 — Çorlu formasyonunun 163 üncü kilometre yakınındaki Karayolları malzeme ocağında görünüşü.

üst düzeyini oluşturan İnce formasyonu ise kendinden yaşlı birimler üzerinde güzergâhın değişik kesimlerinde izlenir. Tipik kırmızı veya kahverengi, iri çakıl ve bloklu görüntüsüyle kolaylıkla tanınır. Yer yer kil ve çamurtaşı mercekleri içerir. Güzergâhı kesen, dereler boyunca izlenen güncel alüvyal çökelleri ise genelde kil ve siltlidir.

### TEMEL ARAŞTIRMALARI

Otoyol güzergâhı boyunca, değişik aşamalarda, yaklaşık 400 adet ve toplam 8000 m. temel araştırma sondajı açılmıştır. Sondajlar, yarma derinliklerinin fazla olduğu veya sanat yapılarının inşaa edileceği kesimlerde yoğunlaştırılmıştır. Yarma derinliği veya sanat yapılarının temel özellikleri dikkate alınarak, sondajlar genelde 20-30 m. civarında yapılmıştır. Bazı sondajlar da, yerel yeraltı koşullarını belirlemek için, 40-45 m. derinliğe inilmiştir.

Öngörülen malzeme alanlarında ve yarma ile geçilerek kesimlerde temel araştırma çukurları genelde, 3 m. derinliğindedir. Açtırılan numuneler ve çıkan malzemeler üzerinde CBR ve diğer tanımlayıcı zemin mekanik deneyleri yapılmıştır. Birimlerin laboratuvarında belirlenen jeoteknik özelliklerini arazi koşulları ile korele edebilmek için çukur açılmadan el sondası ile penetrometre değerleri ölçülmüş ve çukur taban ve duvarlarında vane deneyleri yapılmıştır.

### JEOTEKNİK DEĞERLENDİRME

Yapılan gözlem, arazi ve laboratuvar deney sonuçlarına göre birimlerin ortalama jeoteknik özellikleri şu şekilde özetlenebilir (Çizelge 1).

Silivri formasyonu başlıca kıltaşı ve kumtaşı katmanlarından oluşmaktadır. Sert ve dayanımlı bu birimde pe-

netresyon değerlerinin tümü ellinin üzerindedir. Silivri formasyonu 175. kilometrede 300 metrelik bir yarma ile geçilecek, diğer kesimlerde ise; Taban zemin üzerindeki

| BİRİMLER   | SPT (N) | Zemin Sınıfı | $\phi$ | C KN/m <sup>2</sup> | Şev Oranı    | Dolguda Kullanım |
|------------|---------|--------------|--------|---------------------|--------------|------------------|
| İNECE      | 50 t    | GP-GC        | -      | -                   | 1:3          | % 90             |
| LÜLEBURGAZ | 25-35   | SH           | 30     | -                   | 1:3<br>1:4   | % 80             |
| PINARBAŞI  | 20-50   | CL-Kct       | 30 -   | 10-15               | 1:2<br>1:3,5 | % 85             |
| BABAESKİ   | 10-25   | CH           | 21     | 5-10                | 1:5          | -                |
| ÇORLU      | 30-45   | SP-SW        | 33     | -                   | 1:3<br>1:4   | % 85             |
| ÇANTAKÖY   | 50 t    | -            | -      | -                   | 1:2,5        | % 80             |
| SİLİVRİ    | 50 t    | -            | -      | -                   | 1:3          | % 85             |

Çizelge 1 — Birimlerin jeoteknik özellikleri.

bitkisel toprak kaldırılarak üst yapı yerleştirilecektir. Yarmayla geçilecek kesimde şev eğimi 1/3 olarak ön-görölmüştür.

Çantaköy formasyonu da diyajenez geçirmiş sert ve dayanımlıdır. Penetrasyon değerleri yine ellinin üzerindedir. Birim içerisinde açılacak yarmalarda şev eğimlerinin 1/2.5 alınması uygun görölmüştür. CBR deney sonuçları yüksek değerler vermektedir. Dolayısıyla Çantaköy formasyonu dolguda kullanılabilirlik açısından uygun özelliklere sahiptir.

Çorlu formasyonu genelde, orta-iri kum boyutundadır. Yer yer kil mercikleri içerir. Arazi ve laboratuvar deneylerine göre  $\phi=33^\circ$  belirlenmiştir. Diğer jeoteknik özellikleri de değerlendirilerek yarmalarda Çorlu formasyonunun 1/3 şev eğimi ile geçilmesi kararlaştırılmıştır. Daneli özelliği ile dolgu malzemesi olarak kullanımı uygundur.

Babaeski formasyonu jeoteknik özellikleri yönünden en sorunlu birimdir. Deney sonuçlarına göre yüksek plastisiteli, aşırı konsalide ve yüksek aktiviteye sahip bir kildir. İçsel sürtünme açısı  $\phi=21^\circ$  kohezyonu  $C=10$  KN/m<sup>2</sup> ölçölmüştür. SPT değerleri, genelde 10, CBR % 3-5 dolayındadır. Gözlem ve ölçmeler Babaeski formasyonunda daha fazla mühendislik önlemleri alınması gerektiğini ortaya çıkarmıştır. Üst yapı serilmeden önce bu birimin tabanı oluşturduğu kesimlerde, seçme malzeme ile geçilmesi gerekli görölmüştür. Yarmalarda şev eğimlerinin 1/5 alınması daha sorunlu kesimlerde palyeleme yapılması plânlanmıştır. Bu nitelikleriyle, Babaeski formasyonunun, dolguda kullanılmaması uygun görölmüştür.

Killi kireçtaşı veya karbonatlı kiltası özelliğindeki Pınarbaşı formasyonu sınırlı alanlarda izlenir. En önemli özelliği dolgu ve seçilmiş malzeme olarak kullanılabilme yönünden uygun nitelikler göstermesidir. CBR değerleri çoğu % 40-50 dolayındadır. Yarmalarda şev eğimi 1/2

alınabilecektir. Kil oranının fazla olduğu kesimlerde ise şev oranının 1/3.5 alınması önerilmiştir.

Batıda, değişik kesimlerde izlenen Lüleburgaz formasyonu, Çorlu formasyonuna benzer jeoteknik özelliklerdedir. Bu birimde de şev eğimlerinin 1/3 alınması uygun görölmüştür. Dolgu için yine iyi özelliklere sahiptir.

İncece formasyonu, iri tanelerinin çokluğu ile alt temel ve dolgu için iyi bir zemindir. Güzergâh boyunca değişik kesimlerde izlenir. Penetrasyon değerleri yüksektir. Birimde şev eğimlerinin 1/3 alınması uygun görölmüştür.

Büyük derelerde, 15-25 m. derinliğe ulaşan alüvyon genelde kil boyutundadır. Viyadük veya köprüyle geçilecek bu kesimlerde, alüvyonun temel özellikleri nedeniyle; Bu yapıların, kazıklı temel üzerine inşaatı projelendirilmiştir (Foto 2, 3). Kazıkların çakılacağı yerlerde, ön



Foto 2 — Otoyol güzergâhındaki 124 üncü kilometrede köprülü geçiş için, temel kazıklarının inşaatı.



Foto 3 — 150 nci kilometredeki inşaa edilmekte olan viyadük.

proje sonrası ek temel araştırma sondajları yapılmıştır. Alüvyal zeminin sürtünme direnci, emniyet gerilmesi gibi özellikleri saptanarak kazık boyları belirlenmiştir.

Güzergâh boyunca, Babaeski formasyonu dışında kalan birimlerde yarmalardan çıkan malzemeler genel ola-



Foto 4 — 112 nci kilometrede otoyola batıdan bakış.

rak dolguda kullanılabilecektir. Birimlerin, dolguda kullanım oranları, İnece formasyonu % 90, Pınarbaşı ve Çantaköy formasyonu % 85, Silivri, Lüleburgaz ve Çorlu formasyonları % 80 alınmıştır. Dolgu ihtiyacının olduğu kesimlerde malzeme, Çorlu, Lüleburgaz ve İnece formasyonlarında açılacak ocaklardan sağlanacaktır. Yine yarmalardan çıkan kullanıma uygun olmayan malzemelerin veya kazı fazlasının atılacağı alanlar belirlenmiştir. Ocak yerleri ve fazla malzemenin depolanacağı bu kesimler 1/5000 ölçekli mühendislik jeolojisi haritalarında işaretlenmiştir. Üst yapı ve beton agregası olarak kullanılacak malzemeler yakın çevredeki Eosen kireçtaşlarının resifal düzeylerinden, İnece formasyonundan ve Karatepe bazaltlarından sağlanacaktır.

#### TEŞEKKÜR

Bu çalışmada, Karayolları 17 nci Bölge Müdürlüğü ve BOTEK A.Ş. nin olanakları ile arazi ve laboratuvar bulgularından yararlanılmıştır. Sağladıkları değerli katkılar için, Karayolları 17 nci Bölge Müdürlüğü'ne, BOTEK A.Ş. Yönetim Kurulu Başkanı Sayın Yıldırım GELGİN'e, Sayın Sırrı ÖLKÜ'ye ve Sayın Doç. Dr. Sönmez YILDIRIM'a en içten teşekkürlerimizi sunarız.

#### YARARLANILAN KAYNAKLAR

- ANIFOWOSE, A.Y.B., (1989), The performance of some soils under stabilization in ondo state, Nigeria; Bulletin of IAEG no. 40 pp. 79-83.
- BLACK, W. and LISTER, N.W., (1978), The strength of clay fill subgrades: its prediction and relation to road performance; Conference on Clay Fills, Institute of Civil Engineers, London, pp. 189-196.
- CHANDLER, R.S. and SKEMPTON, A.W., (1974), The design of permanent cutting slopes in stiff fissured clays; Geotechnique 24, no. 4 pp. 457-466.
- ÇAĞLARER, B., (1986), Yol yapım tekniği; KGM yayın no. 259.
- EROSKAY, O., CORUK, Ö., (1989), Otoyol projelerinde mühendislik jeolojisi; Mühendislik Jeolojisi Türk Milli Komitesi Bülteni sayı: 11, s. 19-23.
- GIDIGASU, M.D., (1980), Geotechnical evaluation of residual gravels in pavement construction; Eng. Geol., vol. 15 pp. 173-194.
- HORNER, P.C., (1983), Specifications for bulk and selected fill materials in highway and other projects; O. J. Eng. Geol. London, vol. 16, pp. 211-219.
- ITALCONSULT, (1970), Ergene basin groundwater development project; DSİ.
- KESKİN, C., (1974), Kuzey Ergene havzasının stratigrafisi; Türkiye İkinci Petrol Kongresi Tebliğleri, s. 137-163.
- KİPER, T., (1988), Proje mühendisleri için karayolu geometrik standartları esasları; KGM yayını.
- PARSONS, A.W., (1981), The assesment of soils and soft rocks for embankment construction; O. J. Eng. Geol. London, vol. 14, pp. 219-230.
- PERRY, S.H., (1978), Behavior of fill from soft chalk and soft chalk/clay mixtures; Conference on Clay Fills, Institute of Civil Engineers, London, pp. 189-196.
- UMUT, M., (1988), 1:100.000 ölçekli açınısama nitelikli Türkiye jeoloji haritaları serisi, Kırklareli C4 ve C5 paftası; MTA yayını.
- ÜNAL, O.T., (1967), Trakya jeolojisi ve petrol imkanları; TPAO arşiv no. 391.



## KIZILIRMAK-KEPEZ BARAJ YERİNDEKİ DELİKBEK KİREÇTAŞININ JEOTEKNİK ÖZELLİKLERİ

### GEOTECHNICAL PROPERTIES OF THE DELİKBEK LIMESTONE AT KIZILIRMAK KEPEZ DAMSITE

Okay GÜRPINAR\*

**ÖZ —** Bu araştırmada, Kızılırmak üzerinde yapılmakta olan Kepez barajında gövdenin oturacağı Delikbek kireçtaşı jeoteknik özellikleri incelenmiştir. Kepez metamorfizmasını oluşturan şistler içerisinde bloklar halinde bulunan Delikbek kireçtaşı, arazide yapılan süreksizliklerin değerlendirilmesinde, "Eklemliparçalanmış kaya" sınıfına girmektedir.

Sondajlardan alınan karot numuneleri üzerinde fiziksel özellikleri saptamak amacıyla; birim ağırlık, özgül ağırlık ve su emme deneyleri, mekanik özellikleri saptamak amacıyla de; serbest basınç, üç eksenli basınç ve Brazilian deneyleri yapılmıştır. Deneylerden statik elastisite modülü, kohezyon ve içsel sürtünme açıları bulunmuştur.

Deney sonuçlarına göre Delikbek kireçtaşı porozitesinin çok düşük (gözeneksiz), kaya kalitesinin "orta-iyi" olduğu görülmüş ve genelde "orta dirençli-yüksek modül oranlı" kaya sınıfında yer aldığı anlaşılmıştır.

**ABSTRACT —** In this work, geotechnical properties of the Delikbek limestone outcropping along the Kepez damsite were investigated. The Delikbek limestone which occurs as blocks within the Kepez metamorphic schists were studied in the field according to the discontinuities and has been classified as jointed and broken to pieces rocks.

To determine the physical and mechanical properties of the limestone, unit weight, specific weight, water absorption with uniaxial compression, triaxial compression and Brazilian tests have been performed on the core samples. The modulus of static elasticity and cohesion with angle of friction of the samples were also determined.

Results of the experiments indicate that the Delikbek limestone can be classified as nonporous and fair-good rock quality, generally "medium resistant high modulus ratio" type rocks.

## GİRİŞ

Kepez baraj yeri ve göl alanı Karadeniz bölgesinin, Batı Karadeniz Bölümünde, Samsun'un, Vezirköprü 43 km., Sinop'un Durağan ilçesine 9 km uzaklıkta ve Kızılırmak üzerindedir.

Baraj yerindeki kireçtaşı jeoteknik özelliklerinin incelenmesi için arazide yüzeyde yapılan incelemeler ve açılan galerilerdeki sondajlardan alınan karot numuneleri üzerinde fiziksel ve mekanik özellik deneyleri yapılarak sonuçlar değerlendirilmiştir.

## JEOLJİ

Baraj yeri dolayında, epidot-klorit-albit-şist, killi şist, fillit, kalkışist ve kuvarsit gibi metamorfik kayalardan oluşan Kepez metamorfiti yaygın olarak bulunur. Kepez metamorfiti içerisinde irili ufaklı tekçe merccekler halinde görülen, beyazımsı-gri, siyahımsı, mavimsi renklerde olabilen bu kireçtaşı Delikbek kireçtaşı olarak adlanmıştır (Eser 1972). İnce-orta kalın-kalın katmanlı, yer yerde laminalanma gösteren bu birim metamorfizma öncesi Kepez metamorfiti içerisinde Olistolit halinde olup sonradan birlikte metamorfizma geçirmişlerdir. Bu nedenle Delikbek kireçtaşı bazen kristalize olmuş, bazen mermerleşmiş, bazen de kireçtaşı özelliğini koruyabilmiştir. Şistlerle olan dokanakları genellikle kalk-şist özelliğindedir. Kireçtaşlarının bir kısmında Üst Permilen yaşlı fosiller bulunmuştur. Kepez metamorfiti baraj dolayında örten en yaşlı birim Paleosen'in çökel kayaları olduğundan birim Üst Permilen'den genç, Paleosen'den yaşıdır. Baraj yeri Kepez metamorfiti içerisindeki büyük bir kireçtaşı olistoliti üzerindedir.

## JEOTEKNİK

Baraj yeri ve dolayında yapılan jeoteknik incelemeler, arazide yapılan yüzey çalışmaları, karot değerlendirmeleri ve laboratuvar çalışmaları olarak yürütülmüştür. Laboratuvar kireçtaşı karotları üzerinde fiziko-mekanik deneyler yapılmış ve sonuçlar değerlendirilmiştir.

\* Prof. Dr., İst. Üniv. Müh. Fak. Uygulamalı Jeoloji Anabilim Dalı.

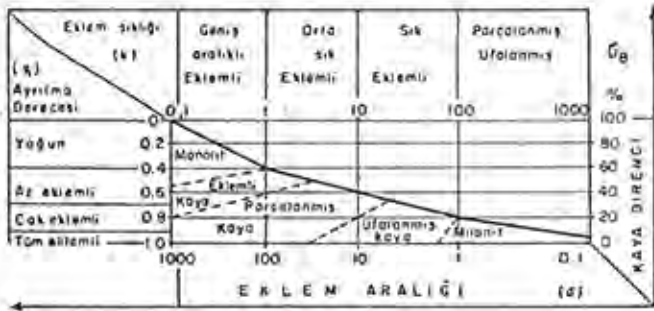


Baraj yeri ve dolayında tüm süreksizlik düzlemleri ölçülmüş ve 1/1000 ölçekli topoğrafya haritasına işlenmiştir. Süreksizlikler türlerine göre ayrılmış; tabakalanma, fay, eklem, foliyasyon ve kırıklar ayrı ayrı gösterilmiştir. Süreksizlik sıklıkları, ayrılma dereceleri, süreksizlikler arasındaki açıklıklar ve dolgu maddeleri incelenmiştir.

Baraj yeri ve dolayındaki kireçtaşı tabakalanma genellikle N10W 60NE dir. Tabakalar açmalı-sıkmalı olup 2-80 cm kalındır. Tabakalanma düzlemlerini, eklem düzlemlerinden ayırt etmek oldukça zordur. Bu nedenle tabakalanma tesbitinde çökme ile ilgili ipuçlarından yararlanılmıştır. Tabakalanma düzlemleri hafifçe ezilmeli ve dalgalanmalıdır.

İnceleme alanında Eklem takımları iyi gelişmiştir. Sağ sahilde N 30W 45 SW, N42E 40NW, N82E 40NW eklem takımları ile sol sahildeki N50W 50SW, N22E 60 NW, N10W 40SW eklem takımları yoğunlukları fazla olanlardır. Ayrıca daha az yoğun eklem takımları ve kırıklar da vardır. Eklem takımlarında 2-5 cm. açıklıklar görülür. Bu açıklıklar genellikle kil sıvalı ve dolgulu yer yer de beyaz kalsit dolguludur. Eklem takımlarının bir kısmı arazide uzun mesafelerde takip edilebilmektedir. Bazıları ise çok kısa mesafelerde görülürler.

Bazı eklem takımları çok kısa mesafelerde sık sık tekrarlanırlar. Kireçtaşı sağ ve sol sahilde hakim eklemelerin ayrılma dereceleri ve eklem sıklıklarına göre Kepez baraj yerindeki kireçtaşı MÜLLER (1968)'in kaya sınıflamasına göre "Eklemli-parçalanmış kaya" sınıfına girmektedir (Şekil 1).



Şekil 1—Ayrılma derecesi ( $x_1$ ), Eklem sıklığı ( $k$ ) ve bu özelliklere bağlı olarak Müller (1968)'in kaya sınıflaması.

Delibek kireçtaşı, bulunduğu ortamda olistolit olduğundan, çökeldiği yerde kazanmış olduğu yapısal özelliklerinin yanında, bulunduğu ortama geldikten sonra da kazanmış olduğu yapısal özelliklerden dolayı arazide düzensiz dağılımlı eklem takımları ve kırıkları içerir. Bu nedenlerdir ki eklem takımlarının jenezi hakkında detay bilgi edinebilmek için daha ayrıntıda çalışmak gerekecektir.

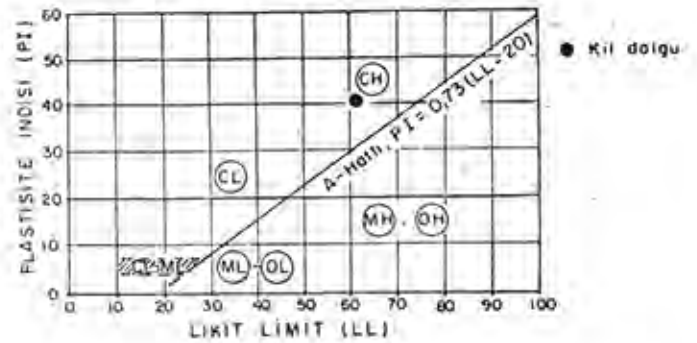
Kıvrımlanma ile eklem takımları arasında ilişki gözetilirse; kıvrım eksenine yani tabaka doğrultusuna pa-

ralel, en büyük basınç yönüne dik tansiyon kırığı niteliğindeki "boyuna eklemi" veya "doğrultu eklemi", kıvrımlanmanın ileri safhalarında oluşan kıvrım eksenine dik "enine eklemi" veya "Eğim eklemi" ile "makaslama veya diagonal eklemi" oluşur.

Baraj yerinde N10W 40SW eklemi boyuna eklem veya doğrultu eklemi, N82E 40 NW eklemi ise enine veya eğim eklemi oluşturur.

Baraj yerinde eklem takımlarından başka, kireçtaşı da Faylar gelişmiştir. Bu faylar genellikle genç tektonizmanın etkisiyle oluşmuştur. Bölgesel yapıyı etkileyecek derecede fay yoktur. Faylar genellikle kireçtaşı içinde ve kireçtaşı şist dokanağında görülür, şist içinde fayları izlemek güçtür. Fayların bir kısmı yüksek açılı, hemen hemen düşeye yakındırlar. Çoğunlukla çekim faylarıdır. Diğer bir kısmı muhtemelen kesme gerilmeleri ile gelişmiş ve 2-100 cm arasında değişen kalınlıklarda kil dolguları ve ezilme zonları içerirler.

Kireçtaşı şist dokanağından (LA-3 galerisinde) alınan kil dolgu malzemesi örnekleri üzerinde yapılan kıvam limitleri tayininden likit limit (LL)=% 55.2-79.4, plastik limit (PL)=% 20.2-25.6 bulunmuş PI (Plastisite indisi)=% 35.2-43.8 olarak hesaplanmıştır (5 deney yapılmıştır). Bu zemin CASAGRANDE (1948) nın birleştirilmiş zemin sınıflandırılmasında CH (yüksek plastisiteli inorganik kil) gurubuna girer (Şekil 2).



Şekil 2—Kil dolgunun "Birleştirilmiş zemin sınıflandırılmasında" (Casagrande, 1948) yeri.

### KAYA KALİTESİ (ROD)

Baraj yerinin kaya kalitesi hakkında bilgi edinebilmek için açılmış olan sondaj kuyularından çıkarılan karotlardan yararlanılmıştır. Kireçtaşı açılan 12 sondaj kuyusunda ROD yöntemi ile kaya kalitesi tayin edilmiştir. ROD yöntemi, 10 cm den daha uzun olan karotların toplam karot uzunluğuna oranının % ile ifadesidir. (DEERE 1963). 10 cm den küçük olan parçalar, kırılmış, parçalanmış ve ayrılmış kabul edildiğinden hesaplanmaya katılmamaktadır.

ROD değerlendirmesinin yapıldığı 12 sondaj kuyusundan alınan 3511.25 m. ilk karotun 2745.24 m. ilk kısmı 10 cm den uzun karotların toplamıdır. Toplam kuyular

için ROD değeri % 78 olup, kaya kalitesi "İyi" dir (Çizelge 1) (DEERE 1963).

| ROD (%) | KAYA KALİTESİ TANIMI |
|---------|----------------------|
| 0- 25   | Çok fena             |
| 25- 50  | Fena                 |
| 50- 75  | Orta                 |
| 75- 90  | İyi                  |
| 90- 100 | Çok İyi              |

$$ROD = \frac{\Sigma L_{10}}{H} \cdot 100$$

$L_{10}$  = Uzunluğu 10 cm. den büyük parça boyu

H = Sondaj derinliği

Çizelge 1 — ROD değerleri ile kaya kalitesi arasındaki ilişki (Deere 1963).

ROD değerleri, yüzeye yakın olan derinliklerde özellikle ilk 100 m. de, ezilme ve fay zonlarından geçen sondaj kuyularında % 61 e (orta kalite) kadar düşerken, sağlam zonlardan geçen kuyularda ise % 86 (iyi kalite) a kadar çıkmaktadır (Çizelge 2).

| SONDAJ KUYUSU | ROD % | SONDAJ KUYUSU | ROD % |
|---------------|-------|---------------|-------|
| LS - 2        | 61    | RSi - 8       | 83    |
| LSi - 10      | 61    | RS - 9        | 71    |
| LSi - 17      | 77    | RSi - 19      | 86    |
| LSi - 22      | 84    | RSi - 20      | 79    |
| LS - 25       | 84    | RSi - 21      | 78    |
| LS - 26       | 86    | RS - 23       | 78    |
| Ortalama      | 79    | Ortalama      | 78    |

Çizelge 2 — ROD değerlerinin sondaj kuyularına göre dağılımı.

ROD değerleri ile Lugeon birimleri arasındaki ilişki incelendiğinde bazen Lugeon değerlerinin artmasına karşılık ROD değerleri azalmakta ise de, bazen de ikisi arasında kesin bir ilişki kurulamamaktadır.

### FİZİKSEL ÖZELLİKLER

Delikbek kireçtaşının fiziksel özelliklerini araştırmak için sondajlardan alınan karot numuneleri üzerinde TS 699, UDK 691.2 de belirtilen yönergeler gözetilerek laboratuvar deneyleri yapılmış sonuçlar değerlendirilmiştir. Birim ağırlık, özgül ağırlık, ağırlıkça su emme deneyleri yapılarak Delikbek kireçtaşının gözenekliliği, yoğunluk de-

recesi, hacimsal su emmesi ve doyma derecesi sayısal öğrenilmiştir.

Yapılan deneyler sonucunda Delikbek kireçtaşının ortalama, birim ağırlığı 2.60 gr/cm<sup>3</sup>, özgül ağırlığı 2.71 gr/cm<sup>3</sup> ağırlıkça su emmesi % 0.055 bulunmuştur. Bu verilerden yararlanarak yoğunluk derecesi ortalama 0.993, Porozite % 0.7, hacimca su emme % 0.148 ve doyma derecesi % 0.10 olarak hesaplanmıştır (Çizelge 3).

| SONDAJ NO.                                                         | FİZİKSEL ÖZELLİKLER                          | DENEY SAYISI N | DEĞERLER |          |          |
|--------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|----------------|----------|----------|----------|
|                                                                    |                                              |                | MINİMUM  | MAKSİMUM | ORTALAMA |
| SAĞ - SOL SAHİL<br>LS-2, LS-25, LSI-14, LSI-17, RS-9, RS-22, RSi-8 | Birim ağırlık $\Delta$ (gr/cm <sup>3</sup> ) | 15             | 2.65     | 2.72     | 2.69     |
|                                                                    | Özgül ağırlık $\gamma$ (gr/cm <sup>3</sup> ) | 15             | 2.69     | 2.73     | 2.71     |
|                                                                    | Ağırlıkça su emme $S_a$ (%)                  | 15             | 0.048    | 0.170    | 0.055    |
|                                                                    | Hacimca su emme $S_h = S_a + \Delta$ (%)     | 15             | 0.127    | 0.190    | 0.148    |
|                                                                    | Yoğunluk derecesi $d = \Delta / \gamma$      | 15             | 0.985    | 0.996    | 0.993    |
|                                                                    | Porozite $p = (1 - d) \cdot 100$ (%)         | 15             | 1.5      | 0.4      | 0.7      |
|                                                                    | Doyma derecesi $D = S_h / p$ (%)             | 15             | 0.085    | 0.45     | 0.21     |

Çizelge 3 — Delikbek kireçtaşının fiziksel özellikleri.

Her bir deney 15 örnek üzerinde yapılmıştır. Bulunan deney sonuçlarına göre kireçtaşının gözeneksiz olduğu sonucuna varılmıştır. % 0.7 lik porozite karot örneklerinde görülen, fisur stilolit yolları ile bu yollardaki erimelerden dolayıdır.

### MEKANİK VE ELASTİK ÖZELLİKLER

Kireçtaşından alınan karot örneklerinin (taşların) mekanik ve elastik özelliklerini araştırmak gayesiyle deneyler yapılmış ve sonuçlar değerlendirilmiştir.

Taşın yani kayayı oluşturan malzemenin mekanik özelliklerinin kayanın davranışını belirleyen en önemli etmen olduğu bilinmektedir. Taşların kırılma koşulları, kayanın, kırıklı, eklemli, faysız vb. sürekli, kuru ve asal gerilme doğrultularına göre en uygun konumda bulunduğu durumlarda ulaşabileceği sınır koşullarını vermektedir. Süreksizliklerle parçalanmış kayanın taşıyabileceği yükler bu nedenle, daima taşın taşıyabileceği değerlerin daha altındadır.

Kayanın mekanik özelliklerinin tayini için baraj-yerindeki galeri ve sondaj kuyularında bugüne dek yerinde deney yapılmamıştır. Bu nedendir ki karot örnekleri üzerinde yapılan deneylerin sonuçlarının değerlendirilmesi yapılarak kayalar için yorumlama yapılmıştır.

Kireçtaşının (taşın) mekanik özellikleri olarak; Direnç ve deformasyon özellikleri incelenmiştir. Direnç özelliklerinden basınç ve çekme dirençlerini bulmak için tek

eksenli basınç ve çekme deneyleri, kohezyon ve içsel sürtünme açısını bulmak içinde üç eksenli basınç deneyi yapılmıştır. Deformasyon özelliklerinin saptanması için de gerilme-deformasyon eğrileri çizilmiştir.

Laboratuarda yapılan deneylerin yapımı sırasında TS 699 (Doğal yapı taşları muayene ve deney esasları), 2028 (Kayaların tek eksenli basınç dayanımlarının tayini) TSE normlarındaki yönergeler gözetilerek yapılmıştır.

Sağ sahildeki sondaj kuyularından alınan karotlardan hazırlanan örnekler üzerinde 35 adet tek eksenli basınç deneyi yapılmıştır. En düşük basınç direnci yüzeye yakın bir paralanma zonu tarafından (RSI-18,40 inci m.) alınmış örnek üzerinde yapılan deneyden 456 kg/cm<sup>2</sup> bulunmuştur. En yüksek basınç direnci ise, RSI-18 sondajının 275 inci metresindeki mermerleşmiş karot örneği üzerinde yapılan deneyden, 1287 kg/cm<sup>2</sup> bulunmuştur (Basınç yönü tabakalanmaya diktir).

Sol sahildeki sondaj kuyularından alınan karotlardan hazırlanan örnekler üzerinde yapılan 40 adet tek eksenli basınç deneyinde en düşük basınç LS-2 kuyusunun 42. metresinden yine paralanma zonuna yakın yerden alınan karot örneği üzerinde yapılmış deneyden 378 kg/cm<sup>2</sup> (tabakalanma ile basınç yönü arasındaki açı 35° dir) bulunmuştur. En yüksek basınç direnci ise 1342 kg/cm<sup>2</sup>, LS-17 kuyusunda 250 nci metrededir (Çizelge 4).

| SONDAJ NO.                              | MEKANİK ÖZELLİKLER                                     | DENET SAYISI N                   | DEĞERLER             |                     |                     |
|-----------------------------------------|--------------------------------------------------------|----------------------------------|----------------------|---------------------|---------------------|
|                                         |                                                        |                                  | MINİMUM              | MAKSİMUM            | ORTALAMA            |
| SOL SAHİL<br>LS-2, LS-25, LS-16, LS-17  | Tek eksenli basınç direnci $G_c$ (kg/cm <sup>2</sup> ) | 40                               | 378                  | 1342                | 825                 |
|                                         | Endirekt çekme direnci $G_t$ (kg/cm <sup>2</sup> )     | 15                               | 38                   | 115                 | 72                  |
|                                         | Elastisite modülü E (kg/cm <sup>2</sup> )              | 20                               | 2.43.10 <sup>8</sup> | 8.2.10 <sup>8</sup> | 5.2.10 <sup>8</sup> |
|                                         | Kohezyon C (kg/cm <sup>2</sup> )                       | 12 adet üç eksenli basınç deneyi | 82                   | 205                 | 160                 |
|                                         | İçsel sürtünme açısı $(\phi)$                          |                                  | 46                   | 82                  | 55                  |
| SAĞ SAHİL<br>RS-9, RS-22, RSI-8, RSI-18 | Tek eksenli basınç direnci $G_c$ (kg/cm <sup>2</sup> ) | 35                               | 456                  | 1287                | 805                 |
|                                         | Endirekt çekme direnci $G_t$ (kg/cm <sup>2</sup> )     | 15                               | 42                   | 110                 | 78                  |
|                                         | Elastisite modülü E (kg/cm <sup>2</sup> )              | 18                               | 2.07.10 <sup>8</sup> | 7.4.10 <sup>8</sup> | 4.6.10 <sup>8</sup> |
|                                         | Kohezyon C (kg/cm <sup>2</sup> )                       | 13 adet üç eksenli basınç deneyi | 95                   | 220                 | 175                 |
|                                         | İçsel sürtünme açısı $(\phi)$                          |                                  | 45                   | 65                  | 57                  |

Çizelge 4 — Delikbek kireçtaşının Mekanik özellikleri.

Yapılan tek eksenli basınç deneylerinde, en düşük basıncın tabakalanmayla 35° açı yapan basınç yönünde olduğu görülmüştür. Ayrıca basınç dirençlerinin sondaj kuyularında yüzeye yakın kısımlarda azaldığı, derinlere inildikçe özellikle mermerleşmiş zonalarda arttığı, bunun

yanında paralanma, ezilme ve erime zonlarına yakın kısımlarda ise tekrar düştüğü görülmüştür.

Sağ sahilten alınan değişik karot örneklerinde yapılan 15 adet endirekt çekme deneyinde en düşük çekme basıncının 38 kg/cm<sup>2</sup>, en büyük çekme direncinin ise 115 kg/cm<sup>2</sup> olduğu görülmüştür, en büyük çekme direnci mermerleşmiş karot örneklerinde bulunmuştur.

Sol sahilten alınan karot örneklerinde yapılan 15 adet endirekt çekme deneyinde ise en düşük çekme direncinin 42 kg/cm<sup>2</sup>, en yüksek çekme direncinin 110 kg/cm<sup>2</sup> olduğu görülmüştür. Sol sahilde de en yüksek çekme direnci yine mermerleşmiş zonalardan alınan örneklerde en düşük çekme direnci ise stilolitli ve ince fisurlar içeren örneklerde yapılan deneylerde görülmüştür.

Tüm kireçtaşı için çekme direncinin ortalama 80 kg/cm<sup>2</sup> olduğu kabul edebiliriz.

Statik elastisite ( $E_s$ ) modül tayini için sağ sahildeki sondajlardan alınan karot örneklerinden muhtelif derinliklere ait 20 örnek üzerinde yapılan deneylerden minimum elastisite modülü 2.07.10<sup>8</sup> kg/cm<sup>2</sup> maksimum elastisite modülü ise 7.4.10<sup>8</sup> kg/cm<sup>2</sup> değerleri bulunmuştur. Sol sahildeki sondajlardan alınan karot örnekleri üzerinde yapılan deneylerden ise minimum elastisite modülü 2.43.10<sup>8</sup> kg/cm<sup>2</sup> maksimum elastisite modülü 8.2.10<sup>8</sup> kg/cm<sup>2</sup> değerleri bulunmuştur (Çizelge 4). Her iki sahildeki maksimum statik elastisite modülleri mermerleşmiş örnekler üzerinde yapılan deneylerden bulunmuştur. Düşük değerler ise ezilme ve paralanma zonları ve dolaylarından alınan fissürlü karot örnekleri üzerinde yapılan deneylerden hesaplanmıştır.

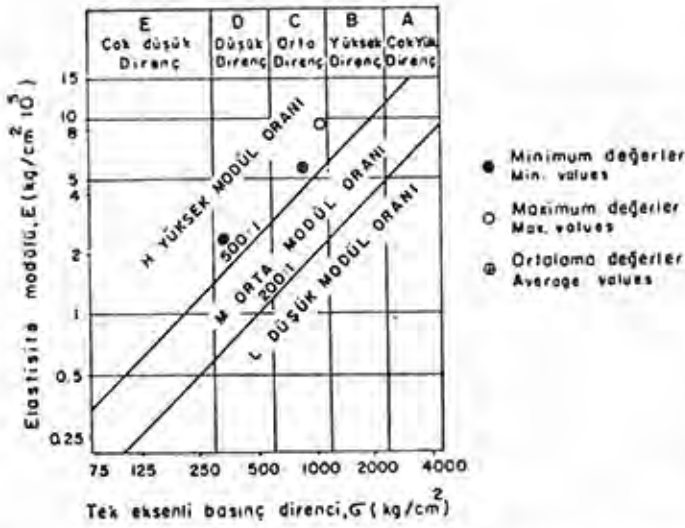
Sondaj kuyularında yüzeye yakın zonalarda genellikle düşük elastisite modülü derinlere inildikçe kristalize kireçtaşında ve özellikle mermerleşmiş zonalarda en yüksek elastisite modülünü vermesine rağmen derinlerdeki şist-kireçtaşı dokanağında; Fay zonlarındaki paralanma ile erimeli zonalarda düşük elastisite modülleri hesaplanmıştır.

Bölge için, Delikbek kireçtaşının statik elastisite modülü, yapılan deneyler sonuçlarına göre ortalama 4.9.10<sup>8</sup> kg/cm<sup>2</sup> olduğu kabul edilebilir. Delikbek kireçtaşında tek eksenli basınç direnci ile elastisite modülü arasındaki ilişkiyi inceleyerek bu özelliklere göre kireçtaşının mühendislik yönünden sınıflaması mümkün olabilmıştır.

Delikbek kireçtaşı bulunan değerlere göre DEERE (1966) sınıflamasına göre "orta dirençli-yüksek modül oranlı" sınıfına girer (Şekil 3).

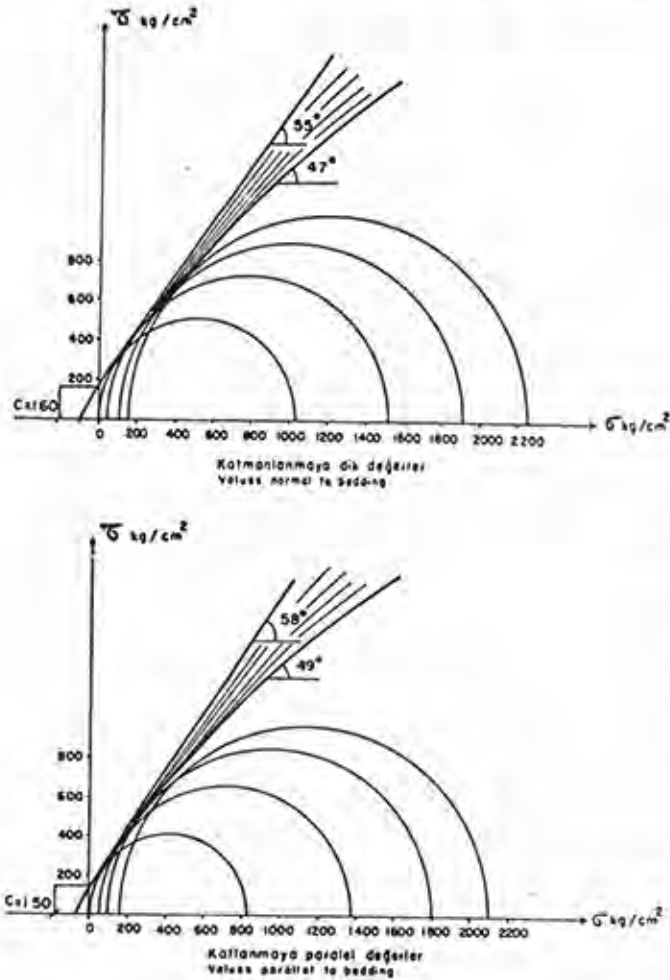
Sağ sahildeki sondaj kuyularından alınan karot örneklerinden 13 ünde, sol sahildeki karot örneklerinden ise 12 tanesinde üç eksenli basınç deneyleri yapılmıştır. Sağ sahil için en az kohezyon (C)=95 kg/cm<sup>2</sup> en fazla ise 220 kg/cm<sup>2</sup> en küçük içsel sürtünme açısı 45° en büyük içsel sürtünme açısı 65° bulunmuştur. Sol sahil için en az kohezyon (C)=82 kg/cm<sup>2</sup> en fazla ise 205 kg/cm<sup>2</sup> en küçük içsel sürtünme açısı 46°, en büyük içsel sürtünme açısı ise 62° bulunmuştur.





Şekil 3 — Delikbek kireçtaşının Deere (1966) sınıflamasına göre yeri.

Tabakalanmaya paralel ve dik yönde yapılmış üç eksenli basınç deney sonuçları Şekil 4 de gösterilmiştir.



Şekil 4 — Delikbek kireçtaşının tek ve üç eksenli deney sonuçlarına göre saptanan MOHR zarfları.

Şekildeki Mohr diyagramları incelendiğinde, Mohr zarflarının Coulomb doğrusu şeklinde olmayıp artan çevre basınçlarına bağlı olarak giderek eğimi azalan bir eğri olduğu görülmektedir. Bu nedenle taşların büyük gerilmeler altında daha düşük içsel sürtünme açısı değerleri almaları beklenmelidir.

Sondaj kuyularının muhtelif derinliklerinden alınan karot örneklerinin üzerinde yapılan 3 eksenli basınç deneyi sonuçlarına göre bulunan C ve  $\phi$  içsel parametreleri Çizelge 4 de gösterilmiştir.

Bölge için Delikbek kireçtaşının içsel parametreleri; ortalama kohezyon (C)=160 kg/cm<sup>2</sup> ve ortalama içsel sürtünme açısı ( $\phi$ )=56° olarak kabul edilebilir. Bu değerler kireçtaşının tamamen taş özelliklerine bağlı değerlerdir. Süreksizliklerle parçalanmış kayanın taşıyabileceği yükler daima taşın taşıyabileceği değerlerin çok daha altındadır.

## SONUÇ

Kepez baraj yerindeki Delikbek kireçtaşının süreksizlikleri değerlendirildiğinde "eklemli-parçalanmış kaya" sınıfına girdiği süreksizlik açıklıklarını dolduran dolgu malzemelerinin büyük bir kısmının CH özelliğinde olduğu saptanmıştır. Kireçtaşının birim ağırlığının, özgül ağırlığa yakın değerler aldığı, bununda kompasitenin çok yüksek yanı kireçtaşının hemen hemen gözeneksiz olduğu belirlenmiştir. Ayrıca kireçtaşının kaya kalitesinin "orta-yüksek" olduğu ve "orta dirençli-yüksek modül oranlı" kaya sınıfına girdiği saptanmıştır.

Delikbek kireçtaşında yapılacak olan kazılarda bu özelliklerin gözetilmesinin yararlı olacağı, ayrıca kireçtaşının dolgu ve agrega malzemesi olarak kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

## YARARLANILAN KAYNAKLAR

- DEERE, D.U. and MÜLLER, R.R., (1966), Engineering classification and index properties for intact rock: Tech. Rept. No. AFWL-TR-65-116, Air Force Weapons Lab., Kirtland Air Force Base, New Mexico, 308 p.
- ESER, N., (1972), Kızılırmak-Kepez bent yeri jeoloji ön raporu, E.İ.E.İ. yayını, 72-78, 22 s.
- FAIRHURST, C., (1966), Laboratory measurement of some physical properties of rocks, Mining Engineering Rocks Mech. Minneapolis, Minn. s. 105-118.
- FARMER, I.W., (1968), Engineering properties of Rocks Eard F.N. Spon Ltd., London. 180 p.
- HANKES, I. and MELLOR, M., (1970), Uniaxial testing in rock mechanics laboratories, Engineering Geol. Special issue. vol. 4, No. 3, pp. 177-285, Elsevier Publ.
- SHEAPARD, F.P., (1954), Nomenclature based on sand-silt-clay ratios: J. Sediment. Petrol., 24 (3), pp. 151-158.
- TASLICA, A.H., (1979), Kızılırmak-Kepez Baraj yeri mühendislik jeolojisi incelemesi, EİE yayını, 50 s.

## TÜRKİYE 5. ENERJİ KONGRESİ YAPILDI

22-26 Ekim 1990

ANKARA

A. Mesut ÇETİNCİLİK\*

Ülkemiz ve dünyadaki önemi dikkate alınarak Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi'nce, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'nın önderliğinde ve Boru hatları ile Petrol Taşıma A.Ş. (BOTAS), Devlet Su İşleri (DSİ), Elektrik İşleri Etüd İdaresi (EİE), Etibank, Maden Teknik ve Arama (MTA), Petrol Ofisi, Türkiye Elektrik Kurumu (TEK), Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu, Türkiye Petrolleri (TPAO) Türkiye Petrol Rafinerileri A.Ş. (TÜPRAŞ), Türkiye Taşkömürü Kurumu (TTK) ilgili kuruluşların da katkıları ile, enerji konusundaki çalışmaların teknolojik gelişmelerin tartışılıp değerlendirilmesine olanak sağlamak üzere "Türkiye 5. Enerji Kongresi"nin düzenlenmesi kararlaştırılmıştır.

Daha önceki Enerji Kongrelerinin birincisi 1953 yılında, ikincisi 1968 yılında, üçüncüsü 1978 yılında ve dördüncüsü 1986'da İzmir'de yapılmış ve bu kongrelerde Ülkemiz enerji politikasına ışık tutan pekçok katkılar sağlanmıştır.

Türkiye 5. Enerji Kongresi TC Karayolları Genel Müdürlüğü Konferans Salonu ve TEK Genel Müdürlüğü Konferans Salonu ile Kütüphanesi'nde olmak üzere 3 ayrı salonda yapılmış ve bin civarında delege tarafından büyük bir ilgi ile izlenmiştir.

22 Ekim 1990 Pazartesi günü TCK Genel Müdürlüğü Konferans Salonunda yapılan Açılış Törenine Cumhurbaşkanlığı, Başbakan, Genel Müdürler ve çok sayıda delege katılmıştır.

Açılışta sırasıyla Kongre Organizasyon Grubu Başkanı Ali Galip MUTDOĞAN, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanı Sn. Fakrettin KURT, Cumhurbaşkanı Sayın Turgut ÖZAL birer konuşma yapmışlardır. Cumhurbaşkanı Sn. Turgut Özal yaptığı konuşmada Türkiye'de Enerji sorununun günümüze kadarki gelişimini ve son durumu ile gelecek için yapılması gereken işleri özetlemiştir.

Açılış konuşmalarından sonra teknik Program gereği teknik bildirilere geçilmiştir.

Kongre süresince Teknik Oturumlar dört ana tema şeklinde guruplandırılmıştır. Program gereği 15 teknik oturumda

- 1 — Enerji sektörü ve ekonomi
- 2 — Konvansiyonel ve yeni enerji kaynakları
- 3 — Enerji teknolojileri
- 4 — Enerji ve çevre

konularında 129 bildiri sunulmuş ve tartışılmıştır.

Ayrıca halen enerji sektöründe çeşitli kesimlerce tartışılmakta olan konularla güncel sorunlardan

- 1 — Enerji Politikaları, uygulamalar, seçenekler
- 2 — Özel Sektörün Enerji Sektörüne katılımı, sorunlar ve beklentiler konuları da açık oturumlarda görüşülüp tartışılmıştır.

Kongrenin en son günü de Kongre süresince tartışılan konular değerlendirilmiş ve Kongre sonuçları katılan delegelere duyurulmuştur.

Kongre süresince sosyal etkinliklere de ayrıca yer verilmiştir. Bu etkinlikleri de şu şekilde sıralıyabiliriz.

Kongre'nin açıldığı gün Büyük Ankara Otelinde bir Açılış Kokteyli verilmiş, 2. gün akşam TCK salonunda Türk Halk Müziği ve Türk Halk Oyunları gösterisi 3. gün akşamı Devlet Tiyatroları sanatçıları tarafından Şinasi Salonunda "Şeytan Çelmesi" oyunu gösterilmiş, 4. gün akşam da Hacettepe Üniversitesi Öğrencileri tarafından (M) Salonunda delegelere Türk Sanat Müziği Konseri verilmiştir. Bütün etkinlikler tüm delegelerin beğenilerini kazanmışlardır.

Kongre sonrasında üç ayrı teknik gezi düzenlenmiştir. Bu geziler:

1 — Orta Anadolu Rafinerisi: Bu geziye 31 delege katılmıştır. Otobüs ile yapılan bu gezide Orta Anadolu Rafinerisi gezilerek görülmüştür. Ayrıca bu rafineriye soğutma suyu sağlayan Kapulukaya Barajı ve hidroelektrik santrali gezilmiştir.

2 — Çayırhan Termik Santrali gezisi: Bu geziye 21 kişi katılmıştır. Otobüsle yapılan bu gezide Çayırhan Termik Santrali ve TKİ tesisleri gezilip görülmüştür.

3 — Gap Gezisi: Bu geziye 39 kişi katılmıştır. Ankara'dan uçak ile hareketle Gaziantep'e oradan otobüsle kısa bir şehir turundan sonra Gaziantep'ten otobüsle Şanlıurfa-Bozova-Atatürk Barajına varılmıştır. Atatürk Barajı ve Urfa tünelleri gezilip görülmüş ve Karakaya Barajına gidilmiştir. Karakaya Barajı ve HES gezilip görüldükten sonra otobüsle Diyarbakır'a ve oradan uçakla Ankara'ya dönmüştür. Bu gezi delegelerin çok ilgisini ve beğenisini çekmiştir.

Bu teknik turların tamamlanması ile Türkiye 5. Enerji Kongresi tamamlanmıştır.

\* Jeo. Yük. Müh. DSİ - TED Başk. Yard., Ankara.

## TÜNELLERDE ZEMİN İYİLEŞTİRMELERİ

## GROUND TREATMENT IN TUNNELS

Erdal ŞEKERCİOĞLU\*

**ÖZ** — Tünelcilikte kullanılan yöntemlerin belirlenmesinde esas amaç kazı sırasında çıkan problemlere yeterli çözüm getirebilmektir.

Tünel yapıları inşaat ve bakım yönünden en pahalı yapılar arasındadır. Bu nedenle her tünel projesinde alternatif olarak belirlenen güzergahlarda projeyi tünel olmadan gerçekleştirebilmenin mümkün olup olmayacağı araştırılmalıdır. Tünel alternatifi seçilmesi durumunda kazıda hangi metodun veya hangi çözümün kullanılabileceği titizlikle incelenmelidir.

Tünel güzergahlarında bazen zemin şartları beklenenden daha kötü durumlar gösterebilir. Bu durumda tünel kazısına devam edebilmek için zemini iyileştirmek ve kontrol altına almak gerekir.

Zemin şartlarını kontrol altına alabilmek için başvurulabilecek önlemler problemin şekli ve boyutuna, tünelin çevredeki diğer yapı ve sistemlere yakınlığına ve güzergahta benzer problemler ile karşılaşma ihtimaline bağlı kalmaktadır.

Zayıf zeminlerin iyileştirilmesinde veya çıkan problemlerin çözümünde kullanılan metodlar genellikle,

- Çimento ve kimyasal madde enjeksiyonu
- Yeraltı su seviyesinin alçaltılması
- Yeraltı suyunun dondurulması
- Basınçlı hava ile aynada duraylılığın sağlanması şeklinde olmaktadır. Ancak uygulanabilen tüm bu metodların maliyeti çok yüksektir.

**ABSTRACT** — The main aim in choosing the methods used in tunneling is finding appropriate solutions for problems that occur in excavation.

Tunnel structures are the most expensive ones in regard to construction and maintenance. For that reason in every tunnel project it must be studied if any other alternative alignment instead of the tunnel solution can be verified. It must be carefully examined, which method or solution we can use in excavation if tunnel alternative is chosen.

Sometimes ground conditions become worse than we expect in tunnels. In this situation in order to continue excavation we have to treat ground and we make it controllable.

The measures which have to be taken into account for controllable ground conditions depend on dimension and shape of the problem, the nearness of other structures and systems and probability of same problems in the alignment.

The methods used to treat weak ground or solve the potential problems are;

- Cement or chemical grouting
- To decrease the groundwater level
- To freeze groundwater
- To ensure the stability of the tunnel face by pressured air.

But the cost of all these methods are extremely high.

## GİRİŞ

Tünelcilikte kullanılan yöntemlerin belirlenmesinde esas amaç kazı sırasında çıkan problemlere yeterli çözüm getirebilmektir.

Tünel yapıları inşaat ve bakım yönünden en pahalı yapılar arasındadır. Bu nedenle her tünel projesinde alternatif olarak belirlenen güzergahlarda projeyi tünel olmadan gerçekleştirebilmenin mümkün olup olmayacağı araştırılmalıdır. Tünel alternatifi seçilmesi durumunda kazıda hangi metodun veya hangi çözümün kullanılabileceği titizlikle incelenmelidir.

Ancak bazı durumlarda özellikle büyük yerleşim merkezleri altında açılan tünellerde zayıf zeminlerden geçmek zorunlu hale gelmektedir. Bu durumda daha iyi zemin şartları ihtiva eden bir güzergah seçimi mümkün olmayabilir. Böyle durumlarda tünel açımında hangi metodun kullanılabileceği veya hangi çözümün seçileceği ve inşaat için hangi masraflarla karşılaşılabileceği iyi

\* Dr. Jeo. Müh., DSİ. Genel Müdürlüğü, Jeoteknik Hizmetler ve Yeraltı Suları Dairesi Başkanlığı, Ankara.



araştırılmalıdır. Bu konularda karar verebilmek için şu noktalar önem taşımaktadır.

- Tünel açımında kullanılabilecek teknolojik imkânlar
- Jeolojik ve jeoteknik koşullar
- Teknik ve mali imkânları uygulayabilme şartları
- Fizibilite ve maliyet raporlarının güvenilirliği.

Tünel inşaatında toplam maliyetin % 70-80 kadarını kazı ve iksalar oluşturur. Ancak bu, büyük maliyet oranı, ne kadar iyi zemin araştırmaları olursa olsun yine de bilinmeyen bazı faktörlere bağlı kalmaktadır. Bilinmeyen bu boşluklar yalnız tecrübe ve yerinde yapılabilecek müdahaleler ile kapatılabilir.

Tünel güzergahlarında bazen zemin şartları beklenenden daha kötü durumlar gösterebilir. Bu durumda tünel kazısına devam edebilmek için zemini iyileştirmek ve kontrol altına almak gerekir.

Zemin şartlarını kontrol altına alabilmek için başvurulabilecek önlemler problemin şekli ve boyutuna, tünelin çevredeki diğer yapı ve sistemlere yakınlığına ve güzergahta benzer problemler ile karşılaşma ihtimaline bağlı kalmaktadır.

Zayıf zeminlerin iyileştirilmesinde veya çıkan problemlerin çözümünde kullanılan metodlar genellikle,

- Çimento ve kimyasal madde enjeksiyonu
- Yeraltı su seviyesinin düşürülmesi
- Yeraltı suyunun dondurulması
- Basınçlı hava ile aynada duraylılığın sağlanması şeklinde olmaktadır. Ancak uygulanabilen tüm bu metodların maliyeti çok yüksektir.

## ÇİMENTO VE KİMYASAL MADDE ENJEKSİYONU

Bu yöntemde esas amaç zeminin düşük nitelikteki Jeoteknik karakterlerinin çimento ve kimyasal maddelerin basınç altında enjekte edilmek suretiyle değiştirilmesi ve yeraltı kazısına uygun hale getirilmesidir.

Enjeksiyonun cinsine, amacına ve uygulandığı zeminin Jeoteknik özelliklerine bağlı olarak enjeksiyon şerbetini oluşturan maddelerin cins ve miktarı değişir. Bu yönde bir sınıflamaya gitmek her geçen gün yeni maddelerin bulunması nedeniyle oldukça zordur. Ancak bugüne kadar uygulanan enjeksiyonları başlıca 2 grupta toplamak mümkündür.

- A — Çimento enjeksiyonu
- B — Kimyasal madde enjeksiyonu

### A — Çimento Enjeksiyonu

Geniş bir kullanım alanı olan portland çimentosu enjeksiyonda da kullanılan maddelerin en önemlisidir. Çimentonun kum ve su ile karışımı zemin içine enjekte edildiğinde boşlukları doldurarak taneciklerin etrafını çevrelemek suretiyle zemini sertleştirmekte ve bu suretle zeminin mekanik davranışı iyileşmektedir.

Yapılan enjeksiyonun cinsine amacına ve zeminin Jeoteknik özelliklerine göre çimento çeşitli maddelerle karıştırılabileceği gibi sadece su ile karıştırılarak da kullanılabilir.

Çimento enjeksiyonu sırasında çeşitli amaçlarla karışıma ilave edilen katkı maddeleri ve bu maddelerin fonksiyonları şu şekilde sıralanabilir.

1. Prizi çabuklaştıran maddeler : Sodyum klorür, kalsiyum klorür, sodyum silikat
2. Prizi geciktiren maddeler : Doğru tuzlu su, selüloz bileşimleri, odun özütü, şeker, alçıtaşı
3. Yoğunluğu arttırıcı maddeler : Barit, ilmenit
4. Yoğunluğu azaltıcı maddeler : Su, Bentonit

### B — Kimyasal madde enjeksiyonu

Kimyasal maddelerle yapılan enjeksiyon zeminlerin iyileştirilmesinde oldukça başarılı olmakla birlikte pahalı bir yöntem olduğundan ancak zorunlu hallerde kullanılmaktadır. Kimyasal enjeksiyon şerbetinin tanecik ihtiva etmemesi, düşük viskozitede olması ve sertleşme zamanının kontrol edilebilmesi gibi avantajları vardır. Kimyasal enjeksiyonda reaksiyon kullanılan farklı maddelerin bir araya gelmesi ile oluşur. Karışım formasyona girmeden önce biraraya gelebileceği gibi formasyon içinde de karışabilir.

Kullanılmakta olan başlıca kimyasal enjeksiyon maddeleri silikatlar, ligninler ve reçinelerdir.

#### 1 — Silikat enjeksiyonları

Bu yöntemde iyileştirilmesi istenen zemin içine önce Sodyum Silikat, daha sonra kalsiyum klorit enjeksiyonu yapılır. Böylece kalsiyum klorit, sodyum silikat ile reaksiyona girerek kalsiyum silikat jeli oluşturur. Bu jel kum zerreciklerini bağlayarak zayıf çimentolu bir kumtaşı teşekkülüne neden olur.

#### 2 — Ligninli enjeksiyonlar

Kağıt sanayinin yan ürünü olarak elde edilen Ligno Sülfat ile bikromat karışımı düşük viskoziteli bir enjeksiyon maddesi oluşturmaktadır. Bu karışım 10 dakika ile 10 saat arasında sertleştiğinden ve sağlam bir jelatin kütlesi oluşturduğundan kumlu zeminlerin iyileştirilmesinde başarı ile kullanılmaktadır.

#### 3 — Reçineli enjeksiyonlar

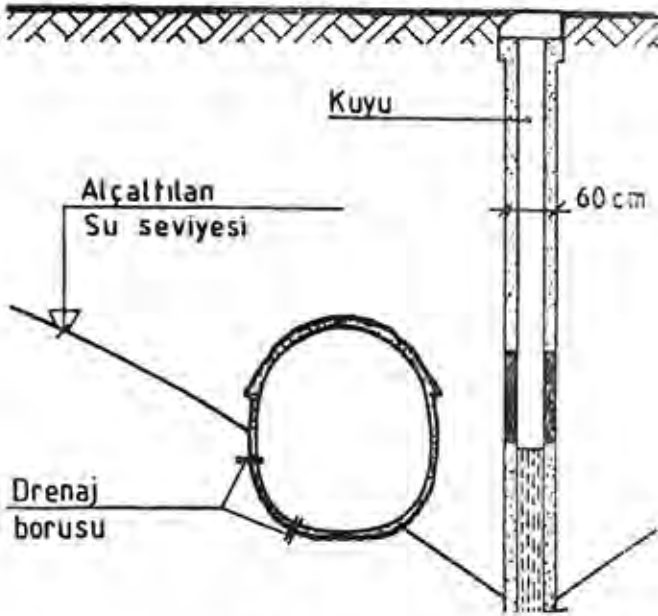
Çok yüksek derecede nüfus etme özelliği olan bu tür enjeksiyon maddeleri organik kimyasal maddelerin polimerizasyonundan oluşmaktadır. Geçirimliliği çok düşük olan ince taneli ve kumlu zeminlerde viskozitesi suyun aynı olan ve belirli bir süre sonunda aniden sertleşen reçine özellikli stabilizör kullanılmaktadır. Zemin cinsine göre kimyasal madde seçerken öncelikle visko-

zite esas alınmakta daha sonra da bunların nihai dirençlerinin uygulamadaki davranışları düşünülerek amaca uygun olanlar seçilmektedir.

### YERALTISUYU SEVİYESİNİN DÜŞÜRÜLMESİ

Tünel açımı sırasında tünel zemininin Jeoteknik özelliklerinin yanında en önemli konu yeraltısuyu durumu. Tünel kazısına başlamadan önce yeraltısuyunun kontrol altına alınması gerekir. Yeraltısuyu ile ilgili olarak alınacak önlemlerde öncelikle su seviyesinin düşürülmesi veya geçirimsiz birimler arasında yer alan geçirimli seviyelerdeki suyun dikey sondaj kuyularıyla azaltılması olanağı araştırılmalıdır. Açılacak pompaj kuyularının sayısı zeminin veya tünel güzergahında su sorununu yaratan olayın cinsi ve şekline göre tek veya birkaç tane olabileceği gibi belirli bir sıra dahilinde yerleştirilen bir diziden ibaret de olabilir. Eğer iki tünel yan yana açılıyorsa kuyuların iki tünel arasına yerleştirilmesi daha uygundur.

Pompaj ile yeraltısuyu seviyesinin alçaltılması işlemi sırasında zeminin cins ve litolojisine uygun filtre kullanılmaması zeminin ince taneciklerinin su ile beraber alınıp götürülmesine, dolayısıyla bir takım oturmalara sebep olabilir. Pompaj işleminin etki alanı tesis edilen sistemin her iki tarafında zeminin permeabilite ve iletkenlik gibi özelliklerine bağlı olarak oldukça uzak mesafelere de olabilir. Yakın çevredeki yapılarda olabilecek oturma olaylarını önlemek için etki alanının yayılımını gözlemek ve kontrol altında tutmak gereklidir (Şekil 1).

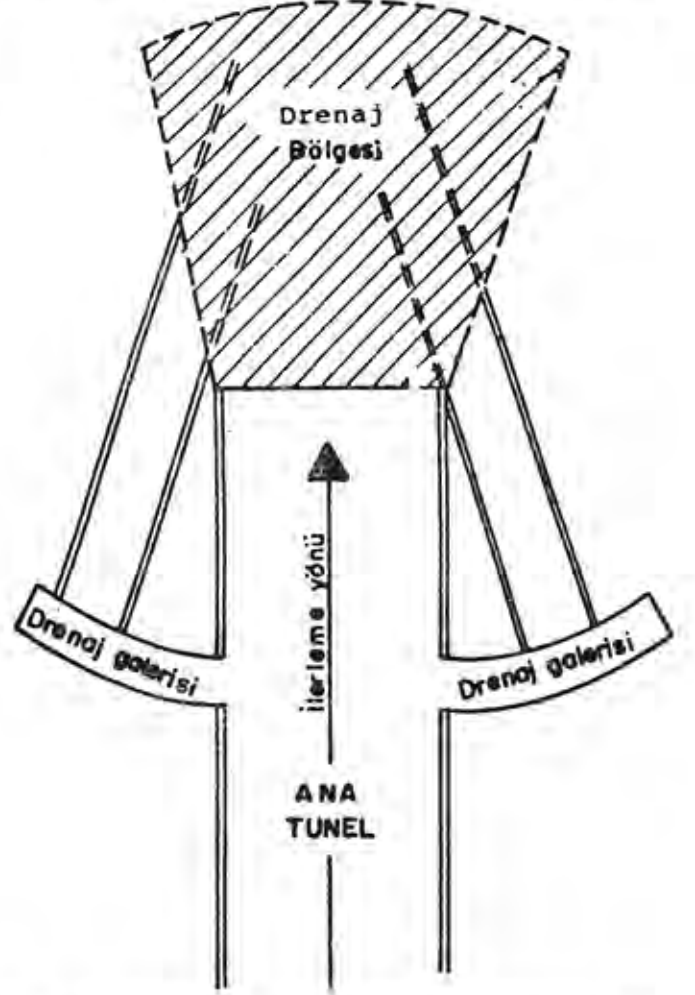


Şekil 1 — Pompaj ile yeraltı su seviyesinin düşürülmesi.

Pompaj kuyuları tünel kazım işlemlerinden 4 hafta önce çalıştırılmaya başlanmalıdır. Yeraltısuyunun tünel güzergahında tünel çalışmalarını aksatmayacak kadar az

bir miktarda kalması istenir. Artan su gerekirse tünelin içinden drenaj boruları yardımı ile tünel dışına atılır.

Yeryüzünden pompaj ile yeraltısuyu seviyesinin düşürülmediği durumlarda zeminin cinsi ve özellikleri ile tünelin projesine bağlı olarak her iki yönden veya tek taraftan ana tünele paralel drenaj galerileri açılabilir (Şekil 2). Bu galeriler ya ana tünelde daha önce iler-

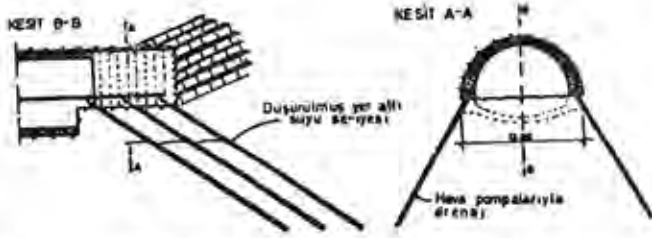


Şekil 2 — Paralel drenaj galerileri ile yeraltı su seviyesinin düşürülmesi.

ler ve zeminin suyunu drene ederek aynanın kuruda kalmasını sağlar veya bu galeriler içinden ana tünelin aynasına doğru insal açılacak drenaj delikleri ile kazı yapılacak aynanın suyu kurutulmaya çalışılır. Bu durumda zeminin suyu yine ana tünel içine drene edileceğinden suyun tünel dışına tünel içinde mevcut ekipman ve çalışmalara zarar vermeden atılabilmesi için gerekli önlemler alınmalıdır.

Yüzeyden açılan pompaj kuyuları yardımı ile yeraltısuyu seviyesinin alçaltılması işlemi Ankara yakınında açılmakta olan İncegez tüneline uygulanmıştır.

Çok zorunlu hallerde yüzey yerine tünel içinden açılan pompaj kuyularıyla yeraltısuyu seviyesini düşürmek ve aynayı kurutmak mümkün olabilmektedir (Şekil 3).

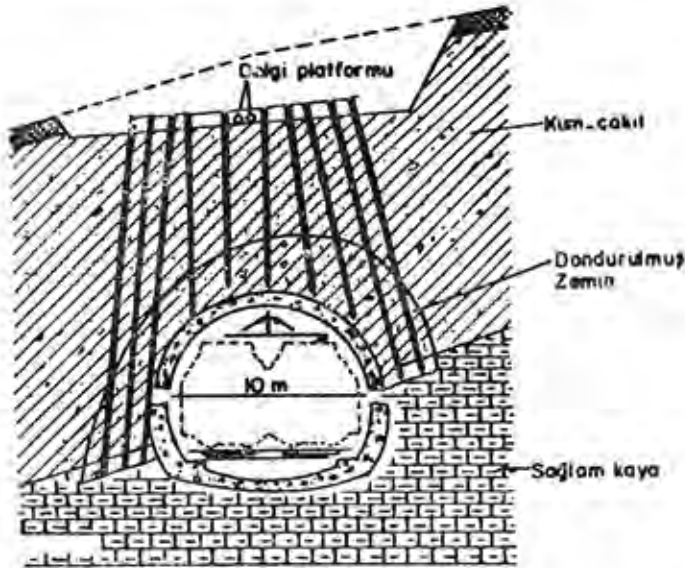


Şekil 3—Tünel içinde açılan pompaj kuyularıyla yeraltı su seviyesinin düşürülmesi.

### YERALTISUYUNUN DONDURULMASI

Tünelcilikte zemini iyileştirme yöntemlerinin birisinde zemini kötü yönde etkileyen ve kazıyı zorlaştıran yeraltısuyunun dondurulmasıdır. Bu yöntem ile su akımı durdurulabilmekte ve kendisini uzun süre tutabilen zeminler elde edilebilmektedir.

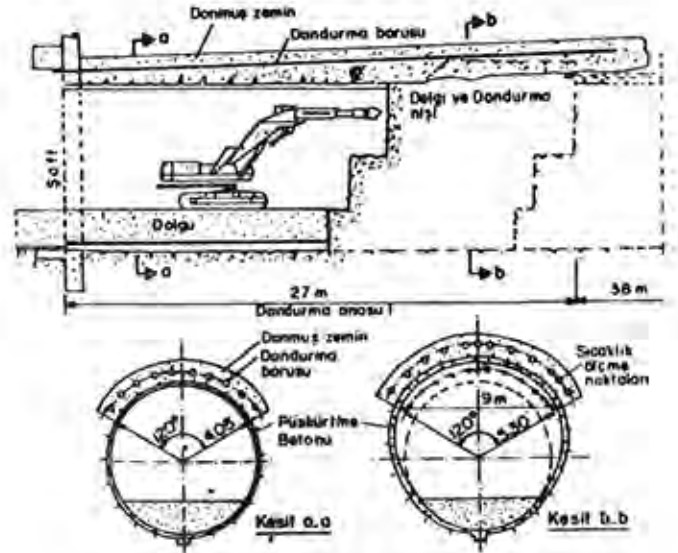
Dondurma işlemi zemin içine boru sistemi yerleştirilerek düşük ısıda sirkülasyon sağlanması şeklinde yapılır. Tünel inşaatında dondurma düşey dondurma ve yatay dondurma olarak iki ayrı prensipte gerçekleştirilebilmektedir. Yatay dondurmada ince bir dondurulmuş kabuk edilebileceği ve düşeye göre daha küçük bir hacim dondurulması ile sonuca ulaşılabileceğinden daha avantajlıdır (Şekil 4 ve 5).



Şekil 4—Düşey dondurma.

Dondurma yönteminin uygulanmasında zeminin jeolojik ve jeoteknik karakterleri önem kazanmaktadır. Özellikle boşlukların hacmi, zeminin su muhtevası, zeminin ısı iletme katsayısı, zeminin başlangıçtaki ısı derecesi ile zemin içindeki yeraltısuyunun hızının bilinmesi gerekmektedir.

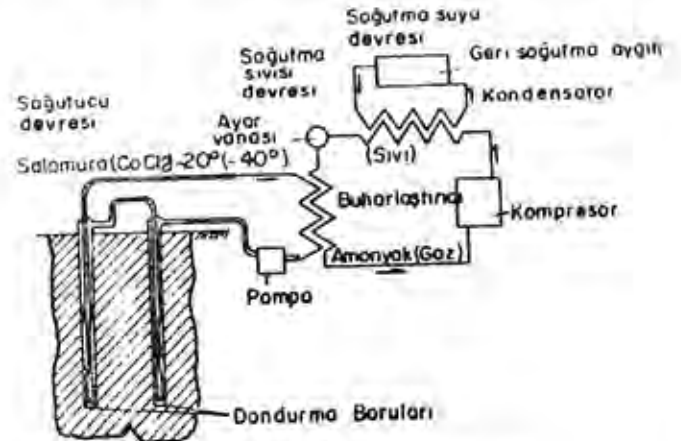
Dondurma yöntemlerini genelde iki ana grupta toplamak mümkündür.



Şekil 5—Yatay dondurma.

#### 1 — Tuzlu Su Kullanarak Dondurma

En ekonomik yöntem olmakla beraber işleme cevap verme süresi uzundur (20-25 gün). Bu yöntemde tuzlu su kapalı bir devrede dolaştırılarak soğutma sağlanmaktadır. Zemin içinde  $-20$  ile  $-40$  C° soğukluğundaki sıvının borular içinde dolaştırılmasıyla zemin içindeki su dondurulmaktadır. Amonyak ya da karbondioksit soğutucu olarak kullanılır (Şekil 6).

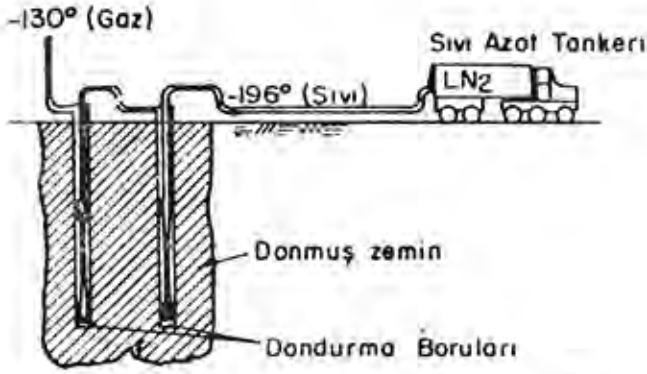


Şekil 6—Tuzlu su ile dondurma.

#### 2 — Sıvı azot kullanarak dondurma

Oldukça yeni olan bu yöntemde işleme cevap verme süresi çok kısa (30-40 saat) olmakla beraber oldukça pahalıdır. Bu yöntemde önce sıvı azot zemine verilmekte daha sonra bir havalandırma borusu yardımıyla havaya bırakılmaktadır. Böylece çok düşük derecelerdeki soğukluk nedeniyle çok kısa sürede donma sağlanabilmekte, ayrıca diğer soğutma teçhizatlarına da gerek kalmamaktadır (Şekil 7).





Şekil 7 — Sıvı azot kullanılarak dondurma.

Yeraltısuyu dondurma yöntemi ile zeminin iyileştirilmesi enjeksiyon veya diğer yöntemlerin uygulanamaması durumunda başarılı olabilmektedir. Ancak donma sırasında zeminin kabarması, tünel kazısı nedeniyle zeminin gevşemesi ve donun çözülmesi sırasındaki konsolidasyon gibi nedenlerle yüzeydeki yapılarda deformasyonlar oluşabileceği de dikkate alınmalıdır.

Yeraltısuyunun dondurulması yöntemi ile zemin iyileştirilmesi İngiltere'de Abbotford yakınında 45 m uzunlukta ve 1.80 m çapındaki drenaj menfezinin ve Newyork şehrinde 6 m çaplı pis su tünelinin sorun yaratan kısa bir bölümünde ve İtalya'da Santomarco demiryolu tünelinin göçük yapan 35 m lik kesiminde uygulanmıştır.

#### BASINÇLI HAVA

Tünele basınçlı hava pompalanarak yapılan ilerleme ye basınçlı hava yöntemi denir. Burada amaç tünel içindeki hidrostatik basıncı dengeleyerek aynadaki su, kum çakıl ve yumuşak malzemenin hareketini önlemektir.

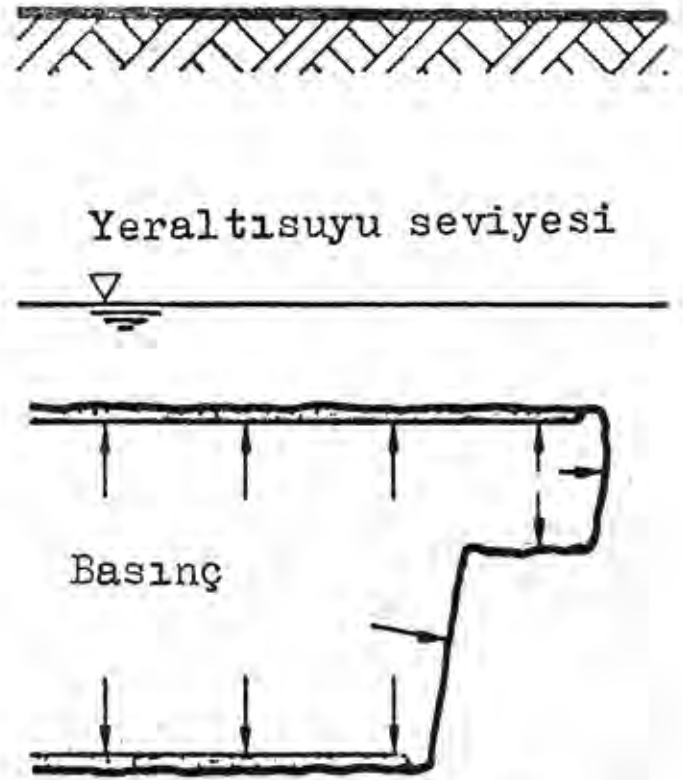
— Zemin içindeki yeraltısuyunun giderilmesi sırasında önemli ölçüde deformasyona uğruyorsa

— Sondaj kuyularının açımı yüzeydeki yapılar veya diğer nedenlerle zor ise

— Su taşıyan tabakların hacim ve geçirgenlikleri pompaj işlemi için oldukça fazla ise

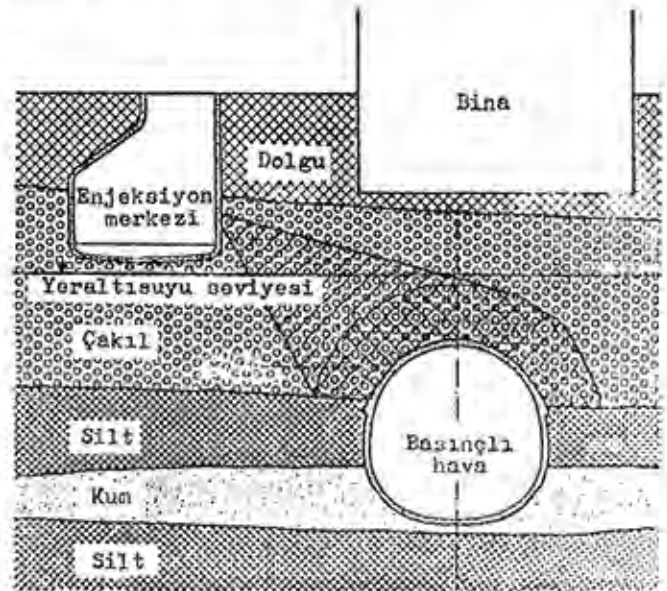
— Su seviyesinin düşürülmesinde başarılı olunamıyorsa bu yöntemle başvurmak yararlı olmaktadır (Şekil 8).

Bu sistemde tünel en kesiti bir basınç duvarı ile kapatılır. Tünel kazısının yapıldığı kısma havanın geri kaçmasını önlemek için bölme ve basınç odası yerleştirilir. Basınç odası her iki tarafında hava sızdırmaz kapı olan bir hücreden oluşur. Kapatılan bu kısma yeryüzündeki bir kompresör istasyonundan basınçlı hava pompa edilir. Kullanılan havanın basıncı zemin suyu basıncına eşit olmalıdır. Bu yöntemde ilerleme yönünde sadece elektrik le çalışan makineler kullanılır. Kazılan toprak ve taşlar basınç duvarına bağlantısı olan ulaşım galerisinden geçirilerek nakliye edilir.



Şekil 8 — Basınçlı hava yöntemiyle ilerleme.

Eğer kazı sırasında zemin içinden hava kaybı meydana geliyorsa hava basıncını düşürerek ilerlemek veya yüzeyden, tünelden veya bir kuyudan enjeksiyon yaparak zemin içinden hava kaybını önlemek mümkündür (Şekil 9).



Şekil 9 — Enjeksiyonla hava kaybını önleme.

Basınçlı hava metodu Kanada'da Toronto metrosu inşaatında ve İngiltere'de 2. dünya savaşından sonra Thomas nehri altındaki Dartford-Purfleet karayolu tünelli açımı sırasında kullanılmıştır.

## YARARLANILAN KAYNAKLAR

- AYAYDIN, N., (1986), Zayıf Zemin ve Zemin suyunun altında Yeni Avusturya tünel yöntemi, Türkiye'de Avusturya Teknik Bilimsel Sempozyumu.
- AYAYDIN, N., (1986), Yeni Avusturya Tünel Yöntemi Proje ve Ekonomik Uygulaması, Türkiye'de Avusturya Teknik Bilimsel Sempozyumu.
- CANGÖZ, O., (1986), Yeraltı yapılarında zemin iyileştirilmesi; Zemin Mekaniği 2. Ulusal Kongresi.

- ÇOLAKOĞLU, Y., (1986), Yumuşak Zemin Tünel Kazısında Duraylılık; Jeoteknik Seminer, DSİ Yayını.
- ERDEMĞİL, M., (1986), Tünelcilikte dondurma yöntemi; Tünelin projelendirilmesi ve inşası semineri.
- GREENWOOD, D.A., (1984), Ground Stabilisation: Deep Compaction and Grouting, London.
- TELFORD, T., (1984), Specification for Ground treatment; Institution of Civil Engineers, London.
- TOĞROL, E. ve GÜLER, E., (1986), Yumuşak Zeminlerde açılan tüneller, Tünelin Projelendirilmesi ve inşası semineri.

## 2. ULUSAL KAYA MEKANİĞİ SEMPOZYUMU YAPILDI

5-7 Kasım 1990, ANKARA

A. Mesut ÇETİNÇELİK\*



"2. ULUSAL KAYA MEKANİĞİ SEMPOZYUMU" 5-7 Kasım 1990 tarihleri arasında Ankara'da Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü (DSİ) Konferans Salonunda yapıldı. Sempozyuma 9 değişik Üniversite'den Öğretim Üyeleri, görevlileri yardımcıları ve uzmanları, özel kuruluş ve kamu kuruluş temsilcileri olmak üzere yaklaşık 250 kişi katılmıştır.

Sempozyum'u DSİ Genel Müdürlüğü, TKİ Genel Müdürlüğü, DLH Genel Müdürlüğü, ETİBANK Genel Müdürlüğü katkıları ile desteklemiştir.

Türkiye'de ilk olarak 1. Ulusal Kaya Mekaniği Sempozyumu 1986 yılında Türk Ulusal Kaya Mekaniği Derneği tarafından düzenlenmiş ve Ankara'da Milli Kütüphane'de yapılmıştır. Dört yıllık bir aradan sonra "2. Ulusal Kaya Mekaniği Sempozyumu" yine Türk Ulusal Kaya Mekaniği Derneği tarafından düzenlenmiş ve Ankara'da Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü Konferans Salonunda yapılmıştır.

Türkiye'de Kaya Mekaniği araştırmalarını özendirerek, Kaya Mekaniği teknolojisine katkıda bulunmak, Kaya Mekaniği eğitimi ve uygulamalarını geliştirmek, bu konuda Türkiye'de yapılan kaya mekaniği çalışmalarını ulusal düzeyde duyurmak ve tartışmak, genelde jeoteknik kavramı içinde yer alan kaya mekaniği, zemin meka-

niği ve mühendislik jeolojisi disiplinleri arasında bilgi iletişimini ve işbirliğini sağlamak amacı ile 2. Ulusal Kaya Mekaniği Sempozyumu düzenlenmiştir. Bu Sempozyum'da:

Kayaların mekanik özellikleri, Temel Sorunları, Yeraltı boşlukları, Tünelcilik, Madencilik, Sondaj, Şev stabilitesi, laboratuvar çalışmaları, model çalışmaları, Jeoteknik ile ilgili diğer çalışmalar, deprem mühendisliği, heyelanlar, kaya mekaniği ve çevre sorunları konularında 12 oturumda 21 adet bildiri sunulmuş ve tartışılmıştır.

Sempozyum 5 Kasım 1990 Pazartesi günü DSİ Konferans Salonunda saygı duruşu ve İstiklâl marşı ile açılmış Türk Ulusal Kaya Mekaniği Derneği 2. Başkanı A. Mesut ÇETİNÇELİK'in 2. Ulusal Kaya Mekaniği Sempozyumu Açılış konuşmasından sonra teknik bildirilerin sunulmasına geçilmiştir.

Sempozyum'un başlaması nedeniyle Sempozyum onuruna akşam da Etibank tarafından bir kokteyl verilmiştir.

Başından sonuna kadar büyük bir ilgi ile izlenen sempozyum 7 Kasım akşamı Oturum Başkanı Sn. Doçent Dr. Abdurrahim ÖZGENOĞLU'nun genel değerlendirmesi ve kapanış konuşması ile 2. Ulusal Kaya Mekaniği Sempozyumu sona ermiştir.

\* Jeo. Yük. Müh. DSİ-TED Başk. Yard., Ankara.

## KARSTİK SAHALARDA JEOFİZİK UYGULAMALAR

### GEOFYSICAL APPLICATIONS IN KARSTIFIED SITES

Ilyas ÇAĞLAR\*

*ÖZ — Jeofizik yöntemlerden bazıları çeşitli karst sorunlarını çözmek için uygulanabilmektedir. Örneğin, karstik sahalarda kullanılmış olan elektrik özdirenç (rezistivite) sondaj ve elektrik özdirenç kaydırma yöntemlerinden elde edilen sonuçlar;*

- a. karstifikasyon taban sınırı,*
- b. karstik olmayan ortam,*
- c. yeraltı su seviyesi,*
- d. karstifikasyon şiddeti ve yönü,*
- e. karstifikasyon koşulları nedeniyle oluşmuş yeraltı boşluklarının bulunduğu kesimler hakkında bilgileri verir.*

*Çalışmada çeşitli arazi sonuçları ve örnekleri sunulmuştur.*

**ABSTRACT —** Some of the geophysical methods could be applied to solve various karst problems. For example, the results of resistivity sounding and resistivity profiling methods used on karst areas gives detailed informations about;

- a. the karstification base boundary,*
- b. non-karstified medium,*
- c. groundwater table,*
- d. the direction and intensity of karstification,*
- e. the location of underground caves caused by karstification conditions.*

*Here several field results and examples have been presented.*

#### GİRİŞ

Çeşitli büyüklükteki jeolojik yapılarda oluşan mikrofissür, çatlak, fay ve kırıkların mühendislik işlerine yaptığı etkiler birçok felaketlerin meydana gelmesine neden olur. Bu nedenle bir baraj temeli, bir tünel ve karayolu kazısındaki emniyet ve maliyete etki yapan unsurlar arasında litoloji, çatlak ve kırıkların sıklıkları, ortam koşulları ve yeraltısuyu seviyesi yer alır. Çatlaklı

kayaçların oluş mekanizmaları, özellikleri, çatlak suyu durumu ve çatlaklı kayacın yeraltısuyu seviyesi ile olan ilişkisi jeolojik yapının mühendislik özellikleri olarak önem taşır (Erguvanlı, 1982). Bundan dolayı sıralanan böyle bilgilerin ayrıntılı olarak ortaya konulması gerekir.

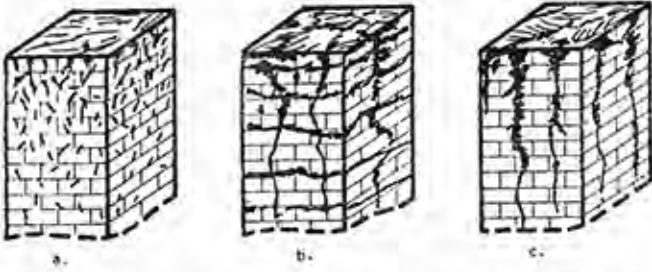
Doğada yaygın biçimde yer alan masif kalkerlerde gelişen çatlak ve kırıklara sık rastlanılır. Çatlaklı kalkerlerde yer alabilen erime boşlukları da yaygın bir olgu olup, bu özellikteki kalkerler "karstik kalker" diye isimlendirilir. Karstik kalkerlerin erime boşlukları içine sızan yeraltısuları mühendislik işlerinde önemli bir etken olarak gözlenir. Eroskay ve diğ., (1988) böyle boşlukların yer aldığı karstik yapılanmanın Oymapınar Baraj rezervuarındaki etkilerini incelemişlerdir. Benzer sahalarda mühendislik işlerinin sağlıklı yürütülmesi karstik sahanın karstifikasyon şiddetinin, yerinin ve tabanının belirlenmesi ile olasıdır. Jeofizik elektrik özdirenç yöntemlerinin bu konuda yatsınamaz bulguları ortaya koyduğu gözlenir. Mühendislik jeofiziği açısından bu konudaki bazı örneklerle Keçeli (1985) ve Öztürk (1987) değinmişlerdir.

#### KARSTİFİKASYON

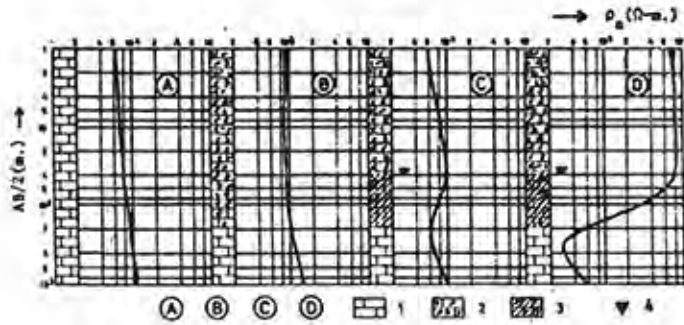
Doğada sağlam kayaç olarak gözlenen masif kalker formasyonu zamanla çatlak ve kırıklarla birlikte alterasyona uğrayarak önemli bir yapı değişikliği ortaya koyar. Kalker formasyonundaki bu karstifikasyon olgu tipleri Şekil 1'de gösterilmiştir. Karstik kalkerdeki böyle çatlak kuşaklar zamanla su ve yabancı dolgu maddeleri ile doldurulur. Elektrik olarak yüksek bir özdirençe sahip masif kalkerin bu özelliğine karşın karstik kalker, içerdği çatlak suyu ve dolgu malzemesinden dolayı, düşük bir özdirenç gösterir. Bu özellik karstik kalkerdeki karstifikasyon kuşağının elektrik özdirenç yöntemi ile belirlenmesini olası kılar. Şekil 2, karstik bir kalker formasyonunun içerdği yeraltısuyu durumuna göre yeryüzünde elde edilen Düşey Elektrik Sondaj (DES) görünür özdirenç eğri tiplerini göstermektedir. Şekillerde düşey eksen görünür özdirenç ( $\rho_s$ ), yatay eksen akım elektrod açıklığını (AB/2) simgeler. Karstik sahaların bu tür jeofizik

\* Yard. Doç. Dr., İ.T.Ü. Maden Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, Ayazağa, İstanbul.





**Şekil 1** — Masif kalkerlerde gelişen önemli üç tip karstifikasyon oluşumu (a) Genel olarak tekdüze biçimde gelişmiş karstifikasyon (b) Düşey olarak oluşan fissürler tarafından sınırlandırılmış ve yatay karstifiye kuşaklar biçiminde gelişen karstifikasyon (c) Düşey ya da eğimli fakat kesilmemiş kuşaklar biçimindeki karstifikasyon.



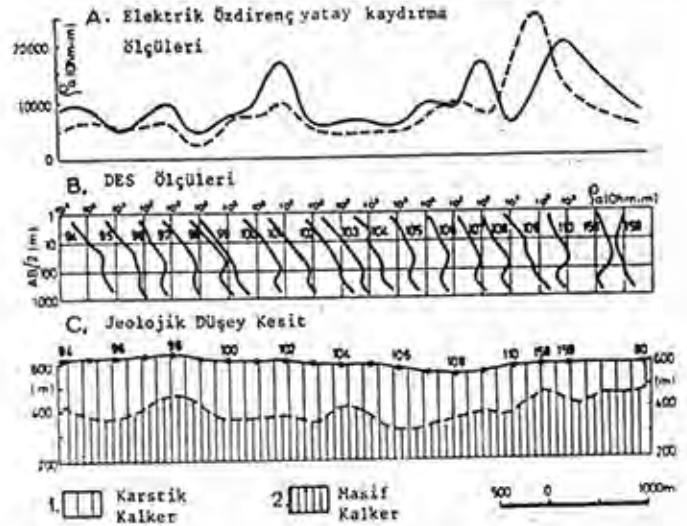
**Şekil 2** — Karstik kalker formasyonları üzerinde ölçülen DES eğri tipleri. (a) Karstifiye olmamış masif kalker (b) Yüzeiden itibaren derine doğru azalan bir şekilde karstifiye olmuş kalker (Kuru ortam). (c) Su içeren karstik kalker (Karstifikasyon yüzeyden derine doğru azalmaktadır). (d) Tuzlu su içeren karstik kalker (Karstifikasyon yüzeyden derine doğru azalıyor). (1) Karstifiye olmamış masif kalker (2) Karstik kalker (susuz) (3) Su ile doymun karstik kalker (4) Yeraltı su seviyesi.

fizik yöntemler aracılığı ile araştırılmasının böyle sahaları yaygın olan ülkelerde "Karst Jeofiziği" diye tanımlandığı gözlenir. Karst Jeofiziğinin çeşitli mühendislik yapılarına ilişkin uygulamalar verilebilir.

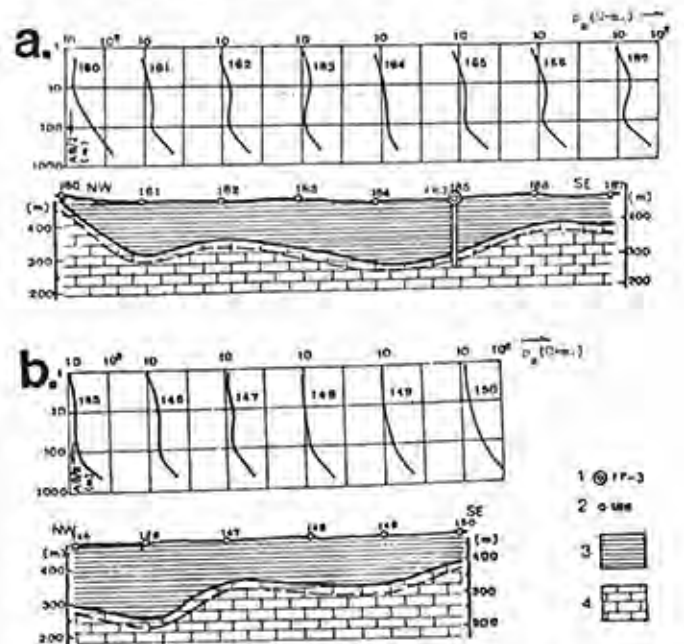
### BARAJLAR VE HİDROELEKTRİK SANTRALLAR

Ekonomik öneme sahip mühendislik yapılarından baraj ve hidroelektrik santralların rezervuar tabanlarının geçirimsiz bir özellikte olması istenir. Ancak karstik sahalarda zorunlu olarak seçilen rezervuarlarda taban kayaç istenen bu özelliği çoğunlukla göstermez. Karstik tabanda yer alan erime boşluklarının içerdiği yeraltı suları belli bir disipline uymadan karstik kanallarla dolaşır. Böyle "su kaçırıcı" kütleler bünyelerinde su tutamazlar. Bu gibi alanlar üzerinde gölet, baraj gölü gibi

büyük su rezervuarlarının oluşturulmasında karşılaşılabilecek sorunlar açıktır. Bu sorunların en önemlisi, inşa edilen büyük su rezervuarlarının doldurulması sırasında rezervuara giren su miktarının rezervuarda beklenen seviyeyi oluşturamamasıdır. Dolayısıyla, karstifikasyon tabanının belirlenerek gerekli önlemlerin (enjeksiyon gibi) sorunun giderilmesi açısından alınması mühendislik çalışmasının yürütülmesi için büyük önem taşır. Şekil 3'de böyle bir karstik sahada yapılan DES ve yatay kay-

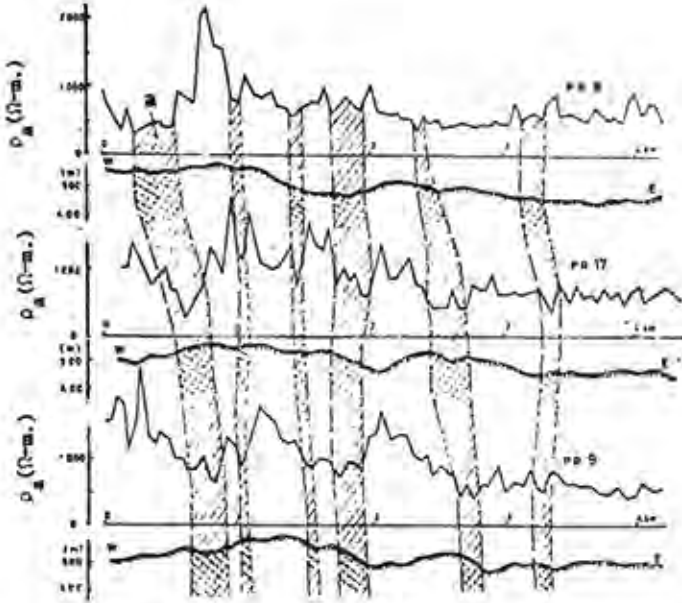


**Şekil 3** — Karstik kalker sınırını belirlemek için yapılmış öz direnç yatay kaydırma ve DES ölçüleri ile jeolojik kesit.



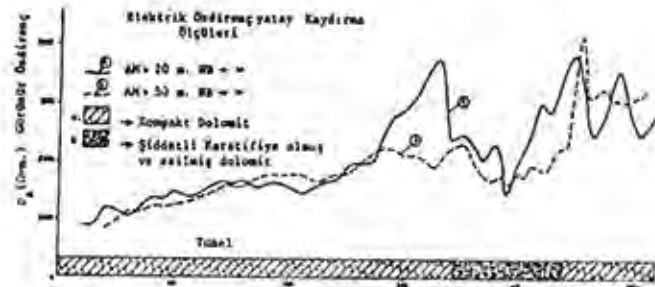
**Şekil 4** — Fatnicko Polje karst sahasındaki kalker-dolomit baraj tabanının belirlenmesi. (1) Sondaj kuyusu. (2) DES noktası. (3) Marnlı-kıllı filiz çökeltisi. (4) Yüksek öz dirençli kalker-dolomit tabanı. (Arandelovic, 1976).

dırma ölçüleri ile jeolojik kesit görülmektedir. Jeolojik yapıda üstte kalan formasyon karstik kalkerli simgelemektedir. DES eğrilerindeki (B) görünür öz direncin tabandaki masif (sağlam) kalker sınırını belirgin biçimde işaret ettiği görülür. Yatay kaydırma ölçülerinde (A) ise karstik kalker ile masif kalker arasında yer alan arayüzey topoğrafyası etkili şekilde gözlenmiştir. Her iki ölçü değişimleri karstifikasyon tabanının derinliğini ortaya koymaktadır. Şekil 4'de ise Yugoslavya'nın Fatnicko Polje karstik sahasındaki yüksek öz dirençli kireçtaşı-dolomit tabanını ortaya koyan DES eğrileri ve ilgili jeolojik



Şekil 5—Şiddetli olarak karstifiye olmuş ya da tektonik kırılma ve çatlamlara uğramış kuşakların belirlenmesi. (a) Öz direnç yatay kaydırma ölçülerine göre (AB=250 m., MN=50 m., kaydırma: 50 m.) saptanan kuşaklar.

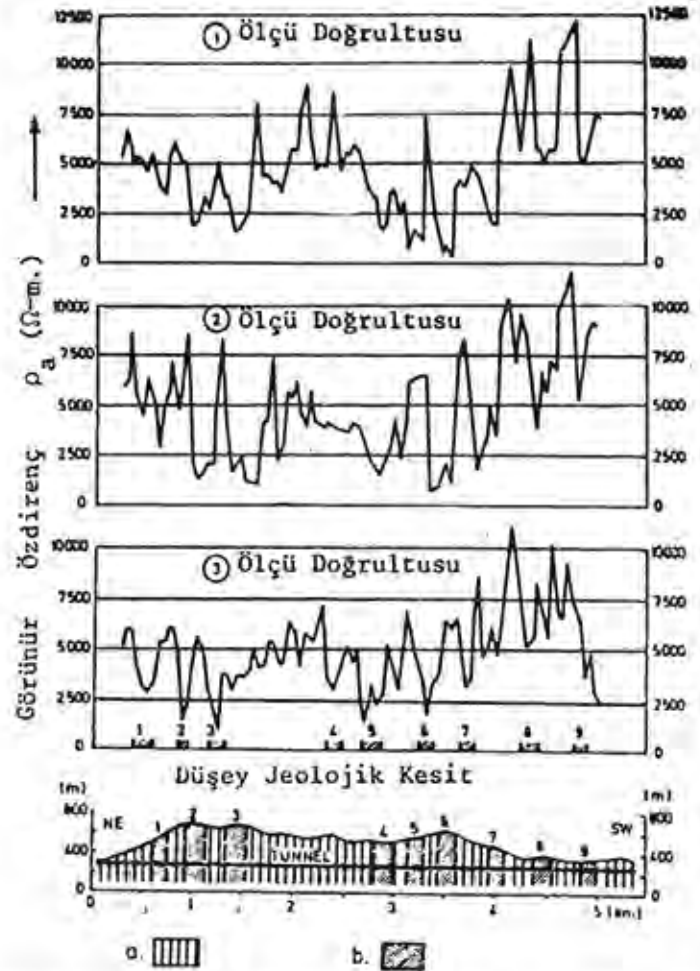
kesitleri yer almıştır. Şiddetli olarak karstifiye olmuş ya da tektonik kırılma ve çatlamlara uğramış düşük öz dirençli kuşakların hidroelektrik santral sahasındaki uzanımını ve konumlarını belirlemeye alt başka bir tipik örnek öz direnç yatay kaydırma ölçüleri ile ortaya konulmuş olarak Şekil 5'te gösterilmiştir.



Şekil 6—Dubrovnik hidroelektrik santral tüneli boyunca yapılan öz direnç yatay kaydırma ölçüleri (Arandelovic, 1976).

## TÜNELLER

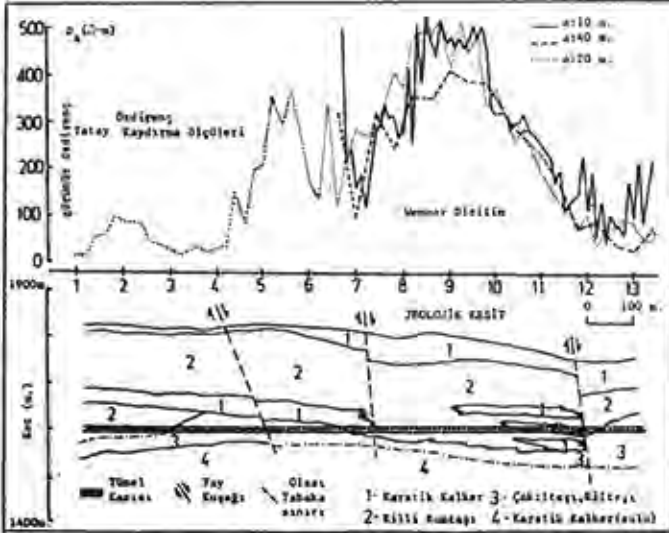
Karstik saahlardaki tünel yeri seçiminde planlamaya geçmeden önce inşaat yerindeki karst kuşağının iyi belirlenmesi gerekir. Çünkü bu gevşek ve su bulundurabilen kuşağın durumu ve yeri yapının maliyetine ve planlamaya önemli şekilde etki yapar. Tünelde böyle kuşakların iki tarafındaki farklı hidrostatik basıncın oluşu yapım sırasında çeşitli ani ve beklenmedik sorunlar ortaya koyabilir. Şekil 6 Yugoslavya'daki Dubrovnik Tünel sahasında yapılan öz direnç yatay kaydırma ölçülerini göstermektedir. Hidroelektrik santral için düşünülen bu derivasyon tüneli içerisinde yer alan Dolomit tipi kayacın karstik kuşağının düşük öz direnç değerleri ile belirlenişi şekilden açıkça görülmektedir. Bu jeofizik bulgunun tünelin yapımında önemli yararlar sağlayacağı mühendislik çalışması bakımından ortadadır. Keza benzer bir öz direnç yatay kaydırma ölçü örneği Şekil 7 ile ve



Şekil 7—Hidroelektrik santral tüneline karstik veya tektonik olarak kırılmış-ezilmiş kuşaklar üzerinde ölçülen görünür öz direnç eğrileri (yatay kaydırma). (1 ve 3) Tünel eksenine paralel yatay kaydırma ölçü doğrultuları (kaydırma aralığı: 100 m.). (2) Tam olarak tünel eksenini izleyen doğrultu boyunca alınan ölçüler. (a) Sağlam kalker, (b) Şiddetli olarak karstifiye olmuş veya tektonik olarak ezilmiş kuşak.

rilmiştir. Başka bir hidroelektrik santraline ait tünel eksenli boyunca yapılmış jeofizik ölçülerde düşük öz dirençlerle işaretlenmiş olan kuşaklar jeolojik olarak şiddetli biçimde karstifiye olmuş veya tektonik olarak kırılmış, çatlamış kuşaklar diye tanımlanmıştır. Sahadaki üç ölçü doğrultusunun seçimi ile bu gevşek ve kırıkli kuşakların uzanımı etkin biçimde ortaya konulur.

Şekil 8 Sivas Tacer-Kangal arasındaki demiryolu için tasarlanmış Deliktaş Tüneli yapım sahasında ölçül-



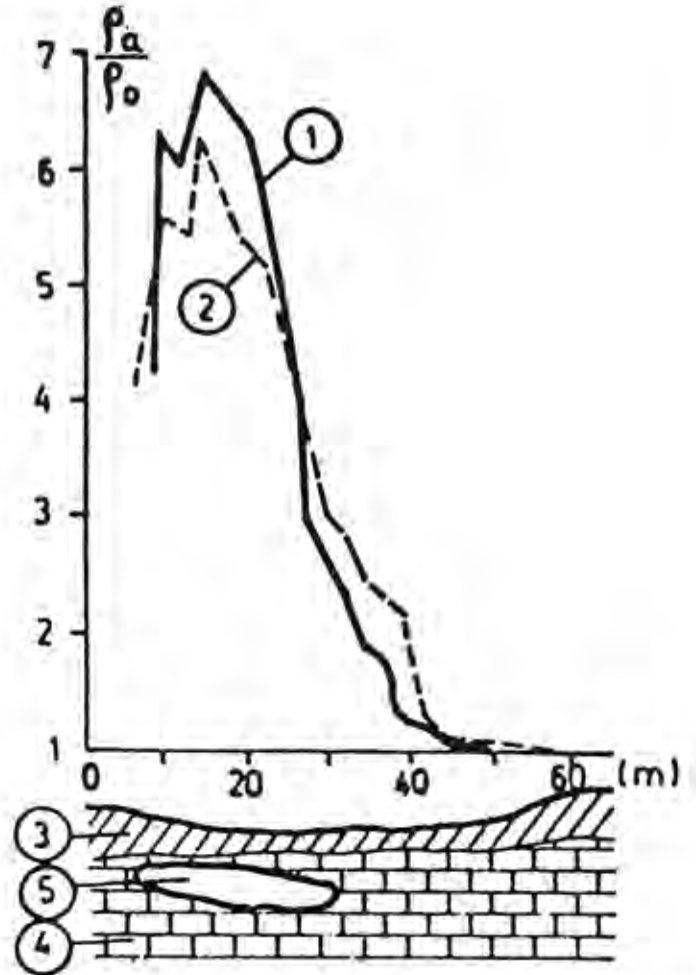
Şekil 8 — Sivas, Tacer-Kangal arasındaki demiryolu Deliktaş tünel sahası (üstte) Sahada yapılan öz direnç yatay kaydırma ölçüleri, (altta) Jeolojik kesit ve tünel güzergahı (Şişman ve Kızılay, 1986).

müş öz direnç yatay kaydırma eğrilerini göstermektedir. Wenner dizilimi kullanılan ölçülerde elektrod aralığı 10, 20 ve 40 metre olarak seçilmiştir. Çalışılan sahada yüzeye yakın yerlerde ince tabaka ve merccekler şeklinde karstik kalker formasyonu bulunmaktadır. Taban kayac ise yeraltı suyunu doygun Jura-Kretase yaşlı karstik kalkerdir. Jeofizik ölçüler sonucu, killi kumtaşı ve kilitaşı formasyonu içinden geçen tünel güzergahının en altta su bulunduran ve etkisi  $a=40$  m. eğrisinde görülen karstik kalkerin içinde yer almamasına özen gösterilmiştir. Ancak (1) ile simgelenen merccek biçimli karstik kalkerin tabandaki sudan beslenebileceği düşünülerek tünelin bu formasyonu kesen kısımlarında çeşitli önlemler önerilmiştir.  $a=10$  ve  $a=20$  m. ölçülerinin daha yüksek öz dirençler içermesi susuz karstik kalker ve (2) ile (3) nolu jeolojik birimlerin etkisine bağlanmıştır. Şekil 8 de görünür öz direnç ölçüleri ayrıca tünel sahasında üç fay kuşağının etkisini de içermektedir. Bu fay kesimlerinde blok düşmesinin beklenmesinden dolayı mühendislik çalışması sırasında gerekli önlemler alınması da önerilmiştir (Şişman ve Kızılay, 1986).

#### KARSTİK BOŞLUKLAR

Geniş bir sahaya göre küçük ve önemsiz olabilen, ancak dar bir ortamdaki mühendislik yapılarını doğru-

dan etkileyen yeraltı karstik boşluklarının belirlenmesi ayrı bir önem taşır. Baraj rezervuar tabanlarında yer alabilecek böyle boşluklar ortaya konularak onların enjeksiyonla doldurulup su kaçaklarının önlenmesi zorunlu bir işlemdir. Keza geçtiğimiz yıllarda ülkemizde radyasyonlu bazı ürünlerin zararlarından korunmak için yeraltına gömülmesi gündeme gelmiştir. Ayrıca, üretilen doğal gazın sıvılaştırılarak yeraltına enjeksiyonu da güncel bir konudur. Her iki işlemin gereksinimine yanıt verebilecek karstik boşlukların aranarak belirlenmesi bu bakımdan amaçlanır. Şekil 9 bir kalker formasyonu içe-

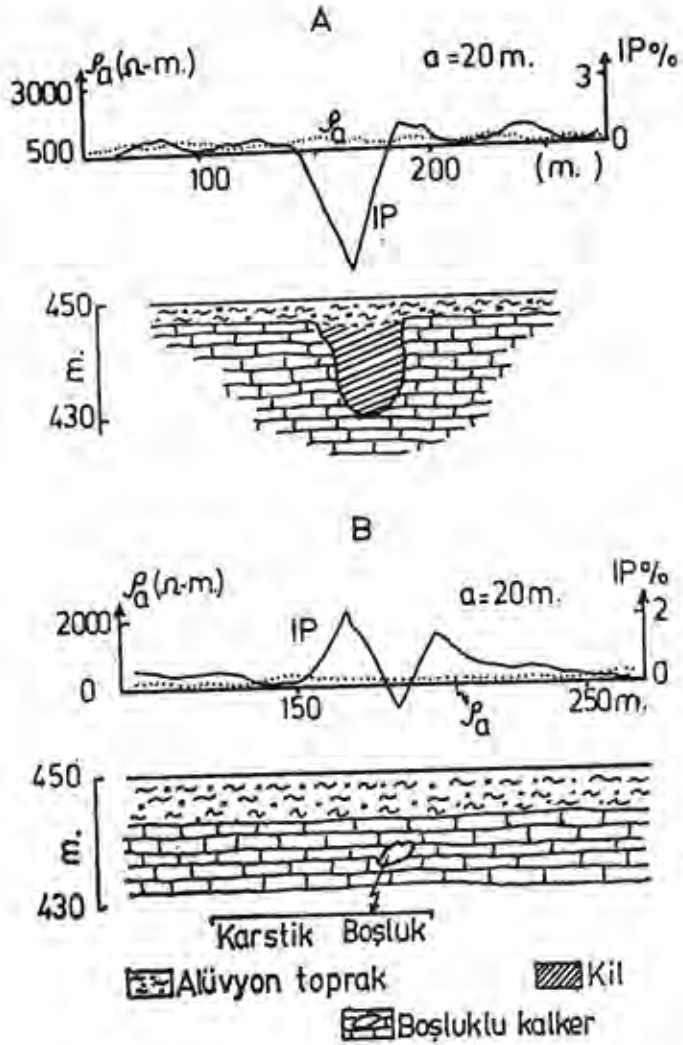


Şekil 9 — Kalker formasyonu içindeki büyük bir karstik boşluk üzerinde yapılan öz direnç yatay kaydırma ölçüleri. (1)  $AB_{abıt}=140$  m.,  $MN=5$  m. (2)  $AB_{abıt}=60$  m.,  $MN=5$  m., (3) Kil, (4) Karstik kalker. (5) Karstik boşluk.

risinde yer alan karstik boşluğun öz direnç yatay kaydırma ölçüleri ile saptanmasını göstermektedir. Karstik boşluk üzerinde elde edilen yüksek öz direnç, aramada belirgin bir göstergedir. İçinde zamanla yer alabilen yabancı dolgu maddesi (kil, alüvyon gibi) nedeniyle iletkin olabilen böyle boşlukların çok küçük olması durumunda "Induced Polarization" (IP) yöntemi yardımıyla



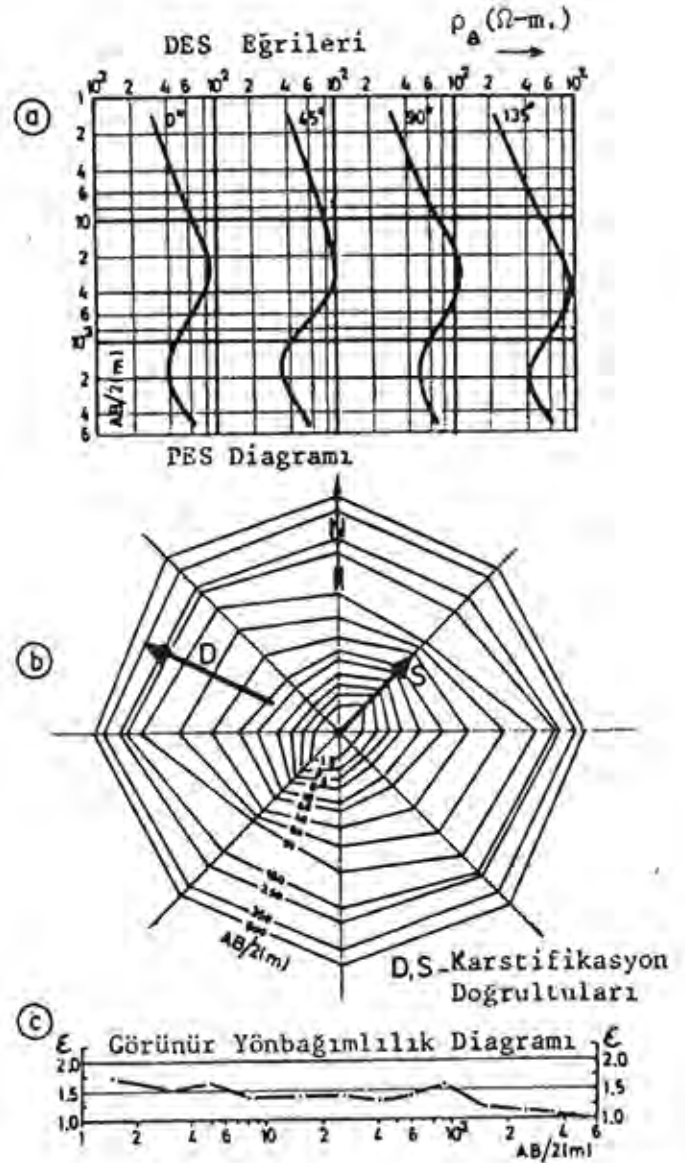
sağlıklı biçimde belirlenmiş Bertin ve Loeb (1976)'dan tekrar çizilen Şekil 10 ile verilmiştir.



Şekil 10 — Karstik boşluklar üzerinde alınan öz direnç yatay kaydırma ve IP ölçüleri. (a) Kil ile doldurulmuş karstik boşluk üzerindeki ölçüler (IP eğrisinin kil ile doldurulmuş boşluk üzerindeki davranışı ilginçtir). (b) Su bulundurabilen küçük bir karstik boşluk üzerindeki ölçüler (IP belirgindir). (Bertin ve Loeb, 1976).

Karstifikasyon doğrultu ve şiddetinin saptanması için önerilen yöntem:

Yapılan uygulama sonuçlarına göre dipol-azimutal elektrod diziliminin karstifikasyon doğrultusunu saptamada en uygun bir dizilim olduğu ortaya çıkmıştır. Bu dizilimin kullanımı ve matematik bağıntıları bazı jeofizik yayınlarında verilmiştir. Karstik bir sahada karstifikasyon doğrultusu ve şiddetini saptamak amacıyla önerilen yöntemin ilk basamağında dipol-azimutal elektrod dizilimi kullanılarak DES ölçümleri yapılır. Bu yolla bulunan örnek DES eğrileri Şekil 11(a) da çizilmiştir. Yöntemin ikinci işlem basamağında; Kullanılan dipol-azimutal açıları sahanın coğrafik kuzey yönüne göre işaretlenerek



Şekil 11 — Karstik sahalarda karstifikasyon yönü ve şiddetini saptama yöntemine örnek olarak verilen saha ölçü ve diagramları (Mirusébara rezervuarı). (a) DES ölçüleri (dipol-azimutal elektrod dizilimi kullanılarak ölçülmüştür), (b) Polar Elektrik Sondaj (PES) diagramı (DES ölçülerinin (a) her bir azimut açısı doğrultusuna göre çiziminden elde edilmiştir), (c) Görünür anizotropi (yönbagımlılık) diagramı (karstifikasyon şiddetini saptamak için), (Arandelovic, 1976).

bu doğrultular çizilir. DES eğrileri belirli AB/2 aralıkları için örneklenerek okunan görünür öz direnç değerleri ilgili doğrultular üzerinde işaretlenirler. Aynı AB/2 değerine karşılık gelen görünür öz direnç değerleri çizgilerle birleştirilerek Şekil 11(b) de görülen Polar Elektrik Sondaj (PES) diagramı oluşturulur. Üçüncü işlem basamağında ise; Bu diagramda yayılma gösteren doğrultular yayılma gösterdikleri noktadan başlayarak birer ok işareti ile belirlenirler. Bu ok işaretinin yönü sahadaki karstifikas-

yon doğrultusunu gösterir. Şekil 11(b) de S ile gösterilen yön yüzeyden başlayarak yaklaşık 40 metreye kadar ( $AB/2=40$  m.) olan derinlikteki karstifikasyon doğrultusunu verir. D ise bu derinlikten (40 m.) başlayarak yaklaşık 350 metre derinliğe kadar olan karstifikasyon doğrultusunu işaret eder. Şekil 11(c) ise DES eğrilerindeki  $0^\circ$  ve  $90^\circ$  ile  $45^\circ$  ve  $135^\circ$  ölçülerinin kullanımından elde edilen görünür anizotropi (yönbağımlılık) diagramını göstermektedir. Bu diagrama göre en şiddetli karstifikasyon yaklaşık 50 metre ( $AB/2=50$  m.) ve 100 metre ( $AB/2=100$  m.) derinliklerinde yer almıştır. Yönbağımlılık parametresinin ( $\epsilon$ ) 1.5 değerinden daha büyük oluşu bu kanıyı güçlendirir. Ayrıca karstifikasyon şiddetinin 400-500 metre derinliklerinde en az oluşu  $\epsilon$  nin 1.0 değerine yaklaşmasından elde edilir.

#### YARARLANILAN KAYNAKLAR

- ARANDELOVIC, D., (1976), Geophysics in Karst (Geofizika na Karstu), Inst. for Geological, Hydrogeological, Geophysical and Geotechnical Research-Geophysical Institute, Belgrad.
- BERTIN, J., LOEB, J., (1976), Experimental and Theoretical Aspects of Induced Polarization, Geoelectr. Monog., vol. 1, Berlin.
- ERGUVANLI, K., (1982), Mühendislik Jeolojisi, İ.T.Ü. Matbaası.
- EROSKAY, O., GÜNAY, G., ARIKAN, A., BAYARI, S., (1988), Oymapınar barajı rezervuarında yamaç depolaması, Tübitak DOĞA Müh. ve Çev. D. 12, 1, 74-85.
- KEÇELİ, A., (1985), Jeofizik mühendisliği uygulamaları, ELE Hidroelektrik Enerji Sempozyumu, 19-22 Kasım, Ankara.
- ÖZTÜRK, K., (1987), Mühendislik jeofiziği, Mühendislik jeolojisi bülteni, 9, 38-43.
- ŞİŞMAN, H., KIZILAY, H., (1986), Sivas Tecer-Kangal demiryolu varyantı Deliktaş tüneli jeofizik etüd raporu, Bayındırlık ve İskan bakanlığı demiryollar, limanlar ve hava meydanları inşaatı gen. müd., Ankara.

## AŞIRI KONSOLİDE KİLDE YER ALAN YARMALARDA KABARMA POTANSİYELİ

### SWEELLING POTENTIAL IN THE CUTS OF OVERCONSOLIDATED CLAYS

Sönmez YILDIRIM\*

**ÖZ —** Bu araştırmada Edirne-Kıvalı Otoyolu in-  
şaatında yeralan derin yarmalar nedeniyle zeminde  
oluşabilecek kabarma potansiyeli incelenmektedir.  
Sert, fissürlü ve aşırı konsolide Babaeski kili üzerinde  
yapılmış laboratuvar deneyi sonuçlarından yararlanı-  
larak kabarma indisinin olası değeri tahmin edilmeye  
çalışılmış, bu değer kullanılarak fiktif 10 m. derinlik-  
teki bir otoyol yarmasında kabarma potansiyeli sayı-  
sal olarak değerlendirilmiştir.

Sonuçlar olası kabarmaların tasarım aşamasında  
gözönüne alınmasını gerektirir büyüklüklere ulaşabi-  
leceğini göstermektedir.

**ABSTRACT —** In this investigation the swelling  
potential of deep cuts in the Edirne-Kıvalı Motorway  
project has been examined. The swelling index of  
hard, fissured and overconsolidated Babaeski Clay  
was first predicted by using laboratory test results,  
then the swelling potential of a typical 10 m. deep  
cut was analyzed numerically.

The results showed that the magnitude of swell-  
ing might reach to a degree that should be taken into  
account in the design stage.

#### GİRİŞ

Gerilme azaltılması birçok geoteknik mühendislik  
alanında meydana gelen ve zeminin davranışını etkileyici  
sonuçlar doğuran önemli bir olgudur. Gerilme azaltılma-  
sı düşey ya da yatay yükün bazen her ikisinin birden  
azaltılması şeklinde görülebilir. Bu gelişim sonucunda  
bir limit gerilme-gerinim değerine ulaşırsa süreksizlik-  
ler meydana gelebilir. (Örneğin fissürlerin oluşumu).  
Böyle bir ortamda bir miktar daha yükün kaldırılması çok  
çeşitli zemin ve çevre özelliklerine bağlı olarak ya yeni  
bir gelişim veya çok eskiden beri devam etmekte olan  
bir hareketin hızlanması şeklinde zemin hareketlerine  
neden olabilir. Zamana bağlı böyle bir hareketin sığ de-  
rinliklerde daha gelişmiş bir aşamada olması beklenir.

Yurdumuzda son yıllarda yapımına başlayan Otoyol-  
ların gerektirdiği bazı derin yarmaların özellikle Trakya'-  
da aşırı konsolide olmuş fissürlü killerden geçme zo-  
runluğu konunun güncel geoteknik bir sorun hale gelme-  
sine yol açmıştır. Bu yazıda konu genel hatları ile açık-  
lanmakta, laboratuvar verileri ışığında pratikte yapılabi-  
lecek tahminler için kullanılacak parametreler hak-  
kında önerilerde bulunmaktadır.

#### KABARMA TAHMİNLERİ

Kabarmanın tam bir analizi çok değişik parametre-  
lerin gözönüne alınmasını gerektirmektedir. Tuz konsan-  
trasyonu, boşluk suyunun bileşimi, zeminin kuru birim  
hacim ağırlığı ve dokusu gibi zeminin özelliklerine bağ-  
lı etkenler yanında iklim, yeraltı suyu durumu, drenaj  
koşulları, bitki örtüsü, zeminin bir kitle olarak geçirim-  
liliği ve yanıl gerilmelerin büyüklüğü gibi doğa koşulla-  
rı kabarma olasılığı ve boyutları hakkında başlıca etken-  
leri oluşturmaktadır.

Toplam olası kabarmaları tahmin için geliştirilmiş bir-  
çok yöntem başlıca 3 grup altında toplanabilir.

- Amirik yöntemler
- Odometre deneyleri
- Zemin emme deneyleri

Amirik yöntemler, yukarıdaki etkenlerden sadece zemin  
danelerinin bileşimini gözetmekte diğerlerini ihmal et-  
mektedir. Zemin sınıflandırması, Atterberg limitleri, baş-  
langıç su kapsamı, kuru birim hacim ve 2 mikrondan  
küçük daneler yüzdesi bu yöntemlerde veri olarak alın-  
maktadır. Çoğu sıkıştırılmış ve örselenmiş zeminler için  
geliştirilen bu yöntemlerin 6.9 kpa gerilme altında ze-  
minin doygun hale gelişindeki kabarmalar tahmin edil-  
meye çalışılmaktadır. [Mc Dowell (1959), Vijayvergiya  
ve Sullivan (1973)].

Zemin emme deneyleri ise kabarmadaki etkenleri  
daha iyi modelize etmesine karşın özel bir aygıt ve

\* Doç. Dr., Doğu İnşaat ve Tic. A.Ş., İstanbul.



dikkatli bir deney yöntemi gerektirdiğinden pratikte sık kullanılmamaktadır.

Odometre kabarma deneyleri, çeşitli su içeriklerinde ve değişik düşey gerilmeler altında toplam olası kabarmaları tahmin etmekte çok kullanılan bir yöntemdir. Bir zemin numunesinin belirli bir gerilmeye kadar konsolidasyonundan sonra üzerindeki yükün kaldırılmasıyla hacminde bir genişleme olmaktadır. Kabarmanın büyüklüğünü tahmin etmekte çok kullanılan parametre

$$C_c = \frac{-\Delta e}{\Delta \log \bar{\sigma}_v} \text{ olarak tanımlanabilir.} \quad (1)$$

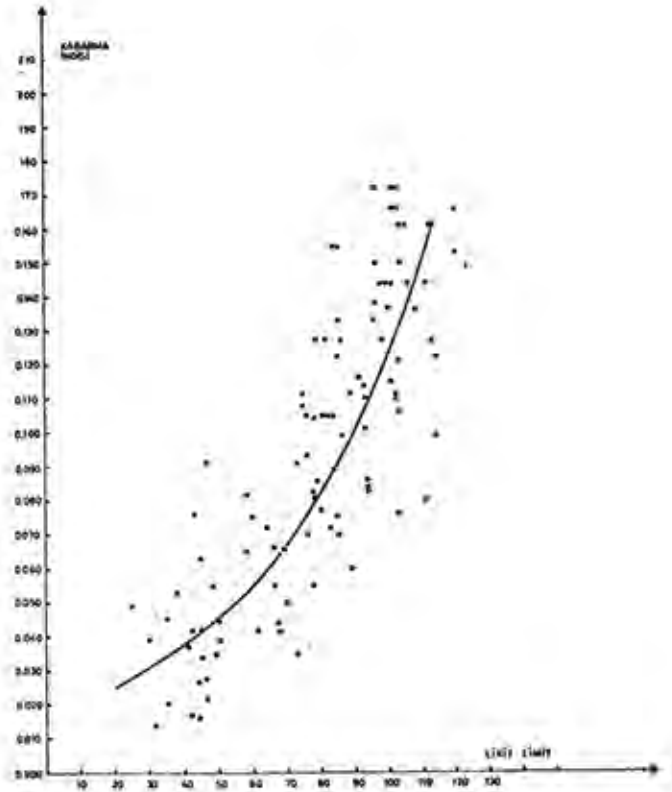
$C_c$ , konsolidasyon sırasında  $e - \log \bar{\sigma}_v$  eğrisinin eğimi olarak tanımlanan  $C_c$  sıkışma indisine benzer bir kavramdır. Yine konsolidasyona benzer şekilde sabit efektif gerilme altında oluşacak ikincil bir kabarmadan söz edilebilirse de bunun birincil bir kabarma yanında ihmal edilebileceği söylenebilir. Odometrede kabarma basıncının ve indisinin ölçülmesine yönelik farklı gerilme izleri uygulanabilirse de (Johnson ve Snethen, 1978) bu makalede laboratuvarda genel zemin araştırmaları programı içerisinde yapılmış konsolidasyon deneylerinin geriye dönüş bölümlerinden yararlanma olasılığı araştırılmaktadır.

#### LABORATUVAR DENEYLERİ

Edirne-Kıralı Otoyolu İnşaatında rastlanan ve Babaeski Formasyonu diye adlandırılan killi zemin pilyasen yaşı olup, plastik, aşırı konsolide ve fissürlüdür. Bu formasyonda yer alacak sanat yapılarının muhtemel oturumlarının hesabında kullanılmak üzere çok sayıda konsolidasyon deneyi yapılmıştır. Numunelerin büyük bir çoğunluğu  $1600 \text{ KN/m}^2$  bir kısmı da  $800 \text{ KN/m}^2$  düşey basınçlar altında kademelerle konsolide edildikten sonra yine yükleme kademeleri izlenerek kabarmalarına izin verilmiştir. Çizilen  $e - \log \bar{\sigma}_v$  eğrilerinde genel olarak geriye dönüş kesimlerinin doğruya çok yakın eğriler olduğu gözlenmektedir.

Eldeki eğrilerin tümünü bir arada inceleyebilmek amacıyla eğrilerin herbirinde  $400$  ve  $25 \text{ KN/m}^2$  düşey basınçlar altındaki kesimin eğimi (1) eşitliği yardımı ile bulunmuş, bunlar numunelerin likit limitlerine karşı Şekil 1'de, plastisite indislerine karşı Şekil 2'de işaretlenmişlerdir. Noktaların dağılımının son derece büyük olmasına karşın likit, limit ve plastisite indisinin artan değerleriyle kabarma indisinin artma eğilimi açıktır. Bu gözlem Lamb, (1969) tarafından da verilmektedir.

Kabarma eğrilerinde kabarmanın başladığı andaki numunelerin  $e$ , boşluk oranlarının farklı olmasının bir etken olabileceği düşüncesiyle  $C_c/1+e$ , değerleri de bir kez daha likit limit ve plastisite indisine karşılık Şekil 3 ve Şekil 4'de işaretlenmiştir. Noktaların dağılımı ve değişim yönelimi yine benzerdir.



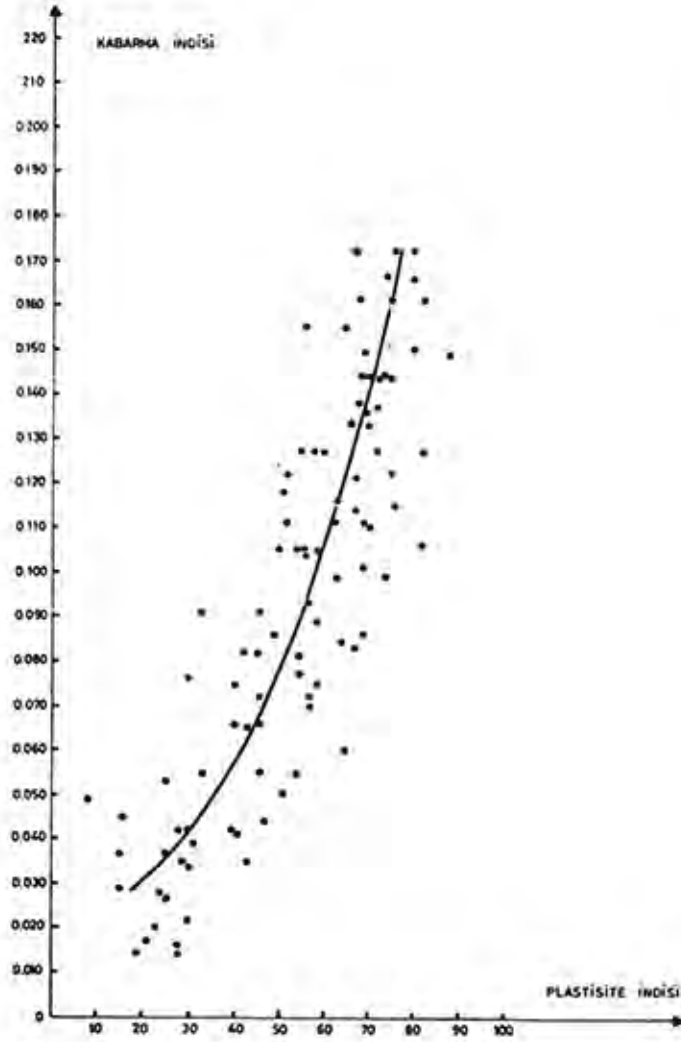
Şekil 1 — Kabarma indisinin likit limitle değişimi.

Ortaya çıkan deneysel sonuçlar eldeki zemin kitlesinin ne denli heterojen olduğunu gösterdiği gibi kabarma miktarlarının tahmininin ancak bir mertebe yaklaşımdan ötede bir incelikte olamayacağını da göstermektedir.

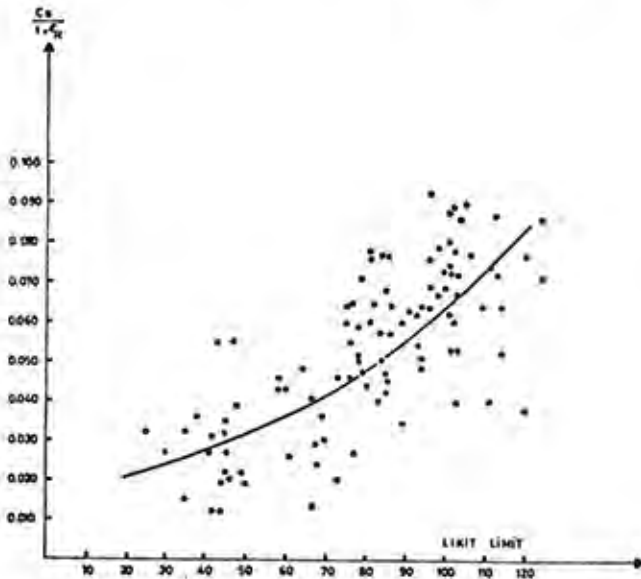
#### TİPİK BİR YARMADA KABARMA TAHMİNİ

Babaeski kilinde yer alacak fiktif  $10 \text{ m}$ , derinlikte bir yarma ekseninde ve topuğunda meydana gelebilecek potansiyel kabarmalar tahmin edilmeye çalışılmıştır. Kazı nedeniyle zeminde meydana gelebilecek gerilme değişiklikleri Jurgenson (1934) tarafından verilen teras yükleme durumundaki katsayılar kullanılarak hesaplanmıştır. Kazının negatif yükleme olacağı varsayımından hareketle eksenindeki  $H$ , topuktaki  $D$  noktasının izdüşümünde  $10'$  ar metrelilik tabakaların ortalarında meydana gelecek gerilme değişiklikleri Şekil 5'de gösterilmektedir. Kazının neden olduğu düşey gerilme azalmasının kazıdan önceki mevcut jeolojik yükün yaklaşık  $\% 10$ 'una düştüğü derinlik ilgi alanının sınırı kabul edilmiştir. Kazıdan önceki ve sonraki gerilmeler ilk tabaka için  $281$  ve  $94 \text{ KN/m}^2$  son tabaka için  $1403$  ve  $1236 \text{ KN/m}^2$  olacaktır ki laboratuvar konsolidasyon deneylerinde kullanılan maksimum gerilmeler bunları kapsar büyüklüktedir.

Örselenmemiş numunelerin alındığı derinlik olan ( $1.5 - 26 \text{ m}$ ) aralığında  $C_c/1+e$ , değerlerinin derinlikle belirgin bir değişimi saptanamamıştır (Şekil 6). Bu nedenle de kabarma miktarlarını tahmin ederken tek bir



Şekil 2 — Kabarma indisinin plastisite indisi ile değişimi.

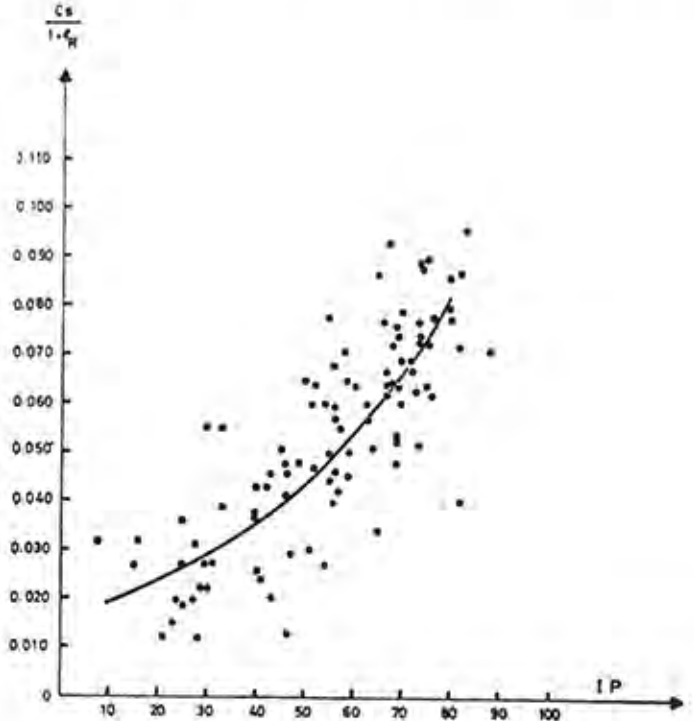


Şekil 3 —  $\frac{C_u}{1+I_p}$  nin L. limit ile değişimi.

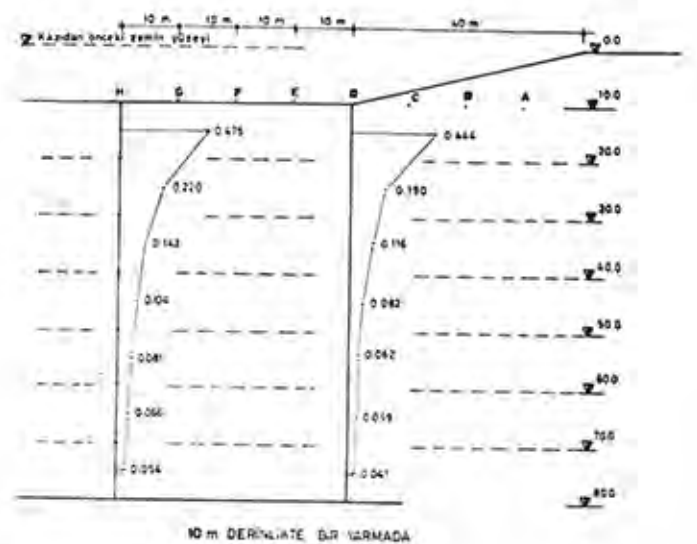
değer, ortalama LL değerine bağlı olarak 0.055 olarak seçilmiştir. Bu değerler kullanılarak

$$\Delta H_{u1} = H_u \frac{C_u}{1+e_r} (\Delta \log \sigma_{v1}')$$

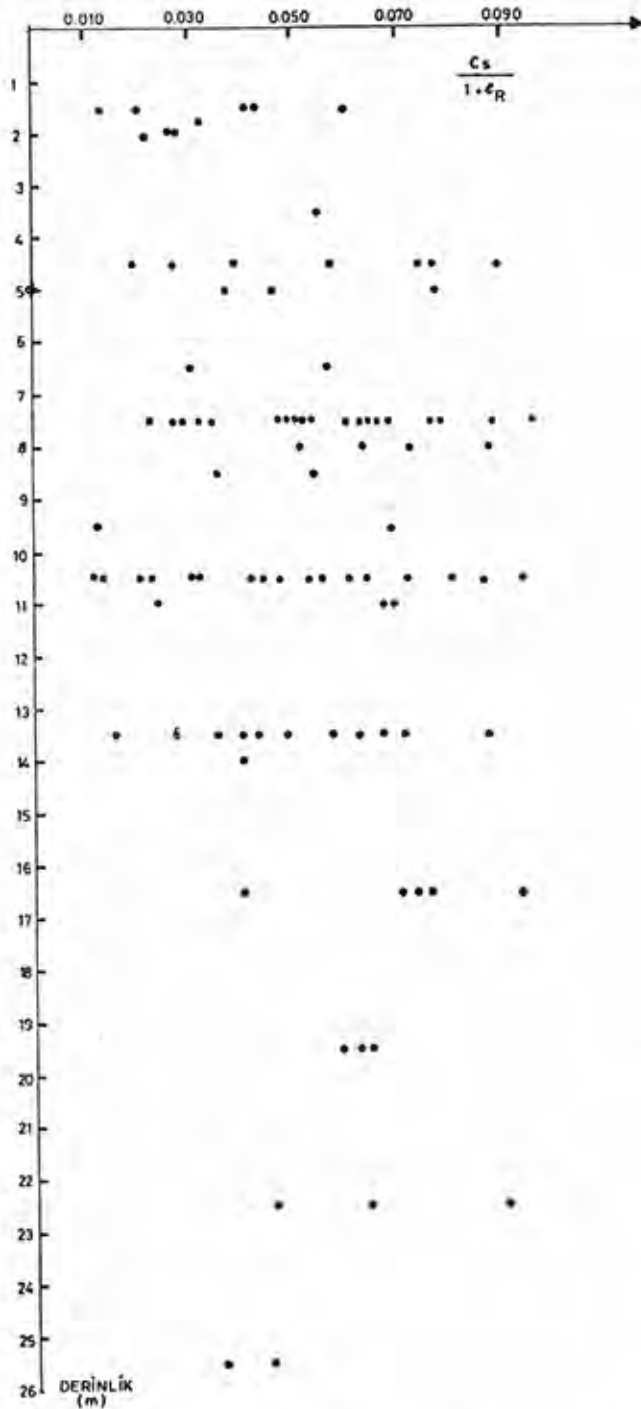
eşitliği ile her tabakanın olası kabarmaları bulunmuş bunların süperozisyonu ile toplam kabarmaların derinlikle değişimi hesaplanmıştır (Şekil 7).



Şekil 4 —  $\frac{C_u}{1+I_p}$  nin plastisite indisi ile değişimi.



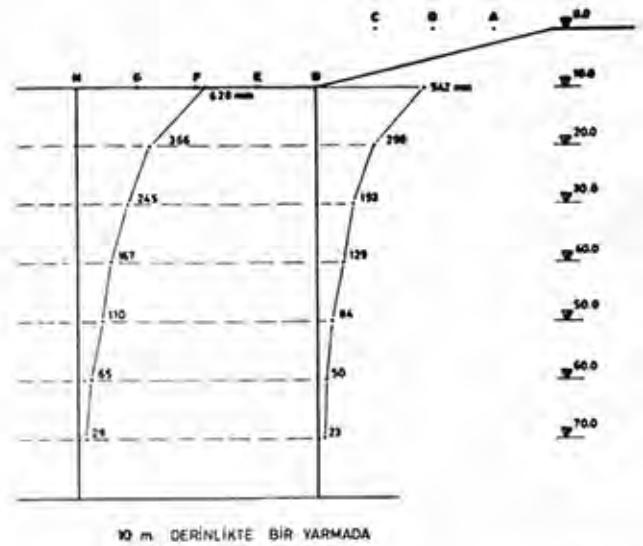
Şekil 5 — Tıpkı iki nokta için  $\Delta \log \sigma_{v1}$  nün derinlikle değişimi.



Şekil 6 —  $\frac{C_s}{1+e_R}$  nin derinlikle değişimi.

Görüldüğü gibi eksen ve şev topuğunda seçilen iki tipik noktada toplam olarak önemli ölçüde kabarma potansiyeli vardır ve projelendirmede gözönüne alınmasını gerektirecek büyüklüktedir. Kabarma farkı enine doğrultuda fazla olmayacağından yol üst yapısını zorlamayabilir. Ancak boyuna doğrultuda kısa bir boyda büyük yarmaya giriliyorsa yolun kırmızı kotunda zamanla önemli değişimler beklenebilecektir. Örneğin 200 m. boydaki bir yarmada ortada maksimum değere ulaşıyorsa drenaj

sisteminde % 06 mertebesinde eğim değişikliği beklenmelidir.



Şekil 7 — Toplam kabarma potansiyelinin derinlikle değişimi.

Kabarma tahminlerinde kullanılan deneyler sırasında kabarmanın zamana karşı gelişimi ölçülmediğinden konsolidasyon katsayısı  $C_v$ 'ye benzer bir kabarma katsayısı verisi elde yoktur. Böyle bir veri elde edilse bile bu kez drenaj yolu uzunluğunu tahmin etmek güçlüğü vardır. Kabarma katsayısı örneğin  $2 \text{ m}^2/\text{yıl}$  alınırsa ve 10 m.'de bir daha geçirimli bir tabaka geçildiği varsayılırsa kabarmanın % 90'ı yaklaşık 10 yılda gerçekleşecektir.

## SONUÇ

Bu çalışmanın amacı doğada gerçekleşmesi beklenen olayı tam olarak modelize edip gerçekçi tahminler yapmaktan çok bir mertebe yaklaşımlı yaparak elde edilen sonuçlarla konunun önemini vurgulamaktır. Doğadaki zemin kitlesinde var olan drenaj paterninin tam olarak modelize edilememesi, laboratuvarda numunenin şişmesi için sağlanan suyun arazide gerçekte var olup olamayacağı ve arazi ile laboratuvarda çok farklı yanıl gerilme ortamı olma olasılığı konuyu çok karmaşık hale getirmekte belkide tam çözümü olanaksız kılmaktadır. Bütün bunlara karşın laboratuvar odometre deneylerinin kabarma aşamalarının sonuçlarını kullanarak olabilecek kabarmaların mertebelerini tahmin etmek olanağı vardır ve sonuçlar proje aşamasında konunun önemine eğilmeyi gerektirecek büyüklükleri işaret etmektedir.

## YARARLANILAN KAYNAKLAR

- LAMBE, W.T. ve WHITMAN, R.V., (1969), Soil Mechanics. John Wiley and Sons, Inc.
- JOHNSON, L.D. ve SNETHEN, D.R., (1970), Prediction of Potential Heave of Swelling Soil. Geotechnical Testing Journal Vol. 1 No. 3.



JURGENSON, L., (1934), The Application of theories of elasticity and plasticity to foundation problems. Boston Society of civil engineers.

Mc DOWELL, C., (1959), The relation of laboratory testing to design for pavements and structures of expansive soils. Quarterly of the Colorado School of mines Vol. 54, No. 4.

## **"ULUSLARARASI KARSTİK ALANLARDA HİDROJEOLÖJİK SÜREÇLER SEMPOZYUMU VE ARAZİ SEMİNERİ" YAPILDI**

7-17 Ekim 1990, ANTALYA - Kemer

**A. Mesut ÇETİNCİLİK\***

Hacettepe Üniversitesi ile Birleşmiş Milletler Kalkınma Programı Kuruluşunun birlikte yürüttüğü TUR/88/007 nolu "Uluslararası Karst Su Kaynakları Araştırma Merkezinin Desteklenmesi" adlı projede öngörülen "Uluslararası Karstik Alanlarda Hidrojeolojik Süreçler Sempozyumu ve Arazi Semineri" 7-17 Ekim 1990 tarihleri arasında dünyanın en ilginç karst bölgesinden biri olan Toroslar Karst Bölgesinde yer alan Antalya kentinin Kemer İlçesi Göynük bölgesindeki İber Art Otel'de yapılmıştır. Sözkonusu sempozyum ve seminer Birleşmiş Milletler Eğitim ve Kültür Organizasyonu (UNESCO), Birleşmiş Milletler Kalkınma Programı (UNDP), Birleşmiş Milletler Kalkınma için Teknik İşbirliği Programı (UNDTCD), Uluslararası Hidrojeologlar Birliği (IAH) gibi Uluslararası ve Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK), Devlet Su İşleri (DSİ), Elektrik İşleri Etüd İdaresi (EİEİ), Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü (MTA) ve KEPEZ Elektrik TAŞ gibi ulusal kuruluşlar tarafından desteklenmiştir.

Bu toplantıya 30 değişik ülkeden 71 yabancı delege ile 52 Türk delege katılmıştır. 7-8 ve 10 Ekim günlerinde sempozyum. 9-11 Ekim günlerinde arazi gezisi yapılmış ve 12 Ekim gününden itibaren Batı Toroslarda 6 gün süren bir teknik gezi gerçekleştirilmiştir. Sempozyumda Genel Karst Hidrojeolojisi, Bölgesel Karst Hidrojeolojisi, Çevresel Hidrojeoloji, Hidrojeolojide Uzaktan Algılama Yöntemleri, Karst Sularının Jeokimyası, Yeraltısuyu İzleme Teknikleri, Hidroloji, Matematiksel Modeller, Karst Jeomorfolojisi ve Karst Jeotekniği konularında 105 bildirisi sözlü ya da poster olarak sunulmuştur.

Doğal suların karbonatlı kayalar eritmesi ile oluşan karst yapısı ve bu yapının yer aldığı karst bölgeleri yeraltısuyu potansiyeli açısından oldukça zengindir. Karbonatlı kayalar (kireçtaşı, dolomit vb.) Türkiye yüzölçümünün % 40'ına yakın bir kısmını oluşturmaktadır. Kalın kireçtaşı ve dolomit formasyonları, özellikle Toros Dağları kuşağında, Batı-Güneybatı Anadolu, Doğu Anadolu ve Konya havzasında olmak üzere Türkiye'nin hemen her yerinde bulunmakta olup, dünyanın en gelişmiş karst alanlarından birini oluşturmaktadırlar. Dev mağaralar, yüzlerce km. uzunluğundaki yeraltı nehirleri, çok büyük kaynaklar, bitki örtüsünün bulunmadığı çıplak ve kayalık topoğrafya, geniş yayılımlara sahip traverten alanları vb. Türkiye'de görülen karstik özelliklerin sadece bazılarını oluşturur. Birbirleriyle ilişkili, küçüklü büyüklü boşluklardan oluşan bir karst sistemi yüzlerce veya bin-

lerce km<sup>2</sup>'lik alanları kaplayıp, birkaç km derinliğine sahip olabilir.

Türkiye'deki yüksek yağışın büyük bir kısmı dağlık alanlarda oluşmakta ve karstik alanların çoğu da bu dağlık bölgelerde yer almaktadır. Sonuç olarak, ülkedeki su kaynaklarının özellikle Dicle, Fırat, Manavgat, Göksu, Eşençay, Dalaman vb. gibi büyük akarsuların önemli bir bölümü kısmen veya tamamen karst sistemleri ile ilişkilidir. Karst sistemlerinin karmaşık hidrojeolojik ve jeolojik yapıları ve boyutları nedeniyle karst bölgelerdeki su kaynaklarının geliştirilmesi ve planlanması için gereken temel jeolojik, hidrojeolojik, hidrolojik vb. verilerin elde edilmesi son derece güçtür.

Ülkemizde, önümüzdeki 30 yıl içerisinde hidroelektrik enerji ve sulama için inşa edilecek barajların ve diğer hidrolik yapıların % 60 kadarı karst alanlarında bulunmaktadır. Karst alanlarında su kaynaklarının geliştirilmesi ve özellikle barajların ve rezervuarların inşa edilmesi çok güç olup özel uzmanlık gerektirmektedir.

Karst alanlarındaki su kaynakları problemleri 1965 yılında başlatılan "UNESCO-Uluslararası Hidroloji Onyılı" ve daha sonra başlatılan "UNESCO-Uluslararası Hidroloji Programı" inceleme konuları arasında önemli bir yer tutmaktadır. Çünkü, karst alanlarında yeraltısularının oluşumu, hareketi ve kimyasal özellikleri, karbonatlı kayaların çökelişi, başkalaşımı, tektonik hareketler gibi temel jeolojik süreçler ve hidrolojik süreçler ile kontrol edilmektedir. Bu nedenle karst hidrojeolojisi çalışmaları özel projeler halinde desteklenerek soruna çözüm aranmaktadır.

Yukarıda sözü edilen karmaşık karst su kaynakları problemlerini çözmek için özel araştırma tekniklerine gereksinim duyulmaktadır. Bu amaca yönelik çalışmalarını sürdüren Hacettepe Üniversitesi Uluslararası Karst Su Kaynakları Uygulama ve Araştırma Merkezi'nin kapasitesi, BMKP tarafından finanse edilen TUR/81/004 "Eğitim ve Karst Su Kaynakları Araştırmaları için Hidrojeoloji Laboratuvarlarının Kurulması" projesi ile kısmen geliştirilmiştir. Bilimsel ve uygulamaya yönelik karst araştırmaları için jeologların, hidrojeologların, hidrologların ve inşaat mühendislerinin eğitilmesi Merkezin temel amaçlarından biridir. En az bunun kadar önemli diğer bir amaç da, var olan ve gelişmekte olan yeni karst araştırma yöntemlerinin, Türkiye'deki özel karst problemlerine uygulanmasıdır. Türkiye'deki genel karst araştır-

\* Jeo. Yük. Müh. DSİ - TED Başk. Yard., Ankara.

malarının yanısıra özel araştırmaların yürütülmesi de lisansüstü düzeyde çalışmalar yapan araştırmacıların temel faaliyetini oluşturmaktadır.

Uluslararası Karst Su Kaynakları Uygulama ve Araştırma Merkezinin hedefleri doğrultusunda gerçekleştirilen bu sempozyum ve seminerin ana amacını, karst kaynaklarının oluşumunu denetleyen ve etkileyen hidrojeolojik süreçleri inceleyen, bu kaynakların geliştirilmesi ve yönetimi ile ilgili sorunlara çözüm arayan dünyanın çe-

şitli ülkelerindeki bilim adamlarının biraraya getirilerek çalışmalarını sunması, uluslararası bir platformda tartışma olanağının sağlanması ve bu bilim adamlarına Türkiye karstının tanıtılarak karst problemlerine ortak çözüm aranması oluşturmaktadır. Farklı disiplinler esas alınarak yapılan karst hidrojeolojisi çalışmalarından elde edilen sonuçların kendi ülkelerinde uygulama olanağı vermesi sempozyum ve seminerin, katılanlara sağlayacağı bir başka yarar olacaktır.

## **"TÜRKİYE'DE SICAK VE MİNERALLİ SULARIN POTANSİYELİ VE KULLANIM OLANAKLARI**

12 Aralık 1990, ANKARA

A. Mesut ÇETİNCİLİK\*

Ülkemiz jeolojik yapı bakımından önemli bir jeotermal kuşak üzerinde yer almaktadır. Bu nedenle sıcak (termal) ve mineralli sular bakımından diğer ülkelere oranla büyük bir potansiyele sahiptir.

Termal sular, fiziksel ve kimyasal niteliklerine göre değişik tedavi özelliklerine sahip olduğundan termal kür merkezlerinde (kaplıca), seralarda turfanda sebzeçilikte, entegre kullanımlar olarak yerleşim birimlerinin ısıtılmasında, mineralli sular ise yurtiçi ve yurtdışı pazarlama açısından büyük önem taşımaktadır.

Ancak sözkonusu önemli potansiyel anılan uygulama alanlarındaki mevcut tesislerin, uygulamaların yetersizliği ve çağdaş yararlanma düzeyinde olmamalarından dolayı yeterince değerlendirilmemektedir.

Bu nedenle TÜBİTAK Mühendislik Araştırma Grubu 1990 yılı içinde konularda düzenlendiği bilimsel toplantılar çerçevesinde programda belirtilen konuların tartışılacağı bir toplantı düzenlemeyi konunun önemi açısından faydalı ve gerekli görmüştür.

"TÜBİTAK MÜHENDİSLİK ARAŞTIRMA GRUBU" nun "BİLİMSEL TEKNİK TOPLANTILARI" ndan "TÜRKİYE'DE SICAK (TERMAL) VE MİNERALLİ SULARIN POTANSİYELİ VE KULLANIM OLANAKLARI" adlı toplantı 12 Aralık 1990 günü Ankara'da Millî Prodüktivite Merkezi Toplantı Salonunda yapıldı. Toplantıya çeşitli Üniversitelerden DSİ, MTA vb. Kamu ve Özel Kuruluşlardan 150 kişi kadar uzman ve bilim adamı katılmıştır.

Toplantı, Oturum Başkanı Doç. Dr. Güner ÜNALAN tarafından TÜBİTAK Mühendislik Araştırma Grubu Genel Sekreteri Prof. Dr. Metin GER'i Açılış Konuşmasını yapmak üzere kürsüye davetli ile başladı. Prof. Dr. Metin GER konuşmasında özetle toplantının yapılma amacını Sıcak ve Mineralli Suların Ülkemiz için önemini anlattı, toplantının düzenlenmesinde tüm emeği geçenlere teşekkür ederek toplantının başarılı ve yararlı geçmesini diledi.

Açılış ve kısa bir aradan sonra teknik bilimsel bildirilerin sunulmasına geçildi.

Sabah oturumunda: İlk bildiri olarak Maden Teknik ve Arama (MTA) Genel Müdürlüğünden Ali KOÇAK tarafından "SICAK VE MİNERALLİ SULARIN ARANMASI VE UYGULANAN YENİ TEKNİK YÖNTEMLER" anlatıldı. İkinci bildiri Hacettepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Hidrojeoloji Mühendisliği Bölümünden Doçent Dr. Şakir ŞİMŞEK "TÜRKİYE'DEKİ SICAK SU KAYNAKLARININ POTANSİYELİ MEVCUT VE MUHEMEL KULLANIMLARI" adlı bildiri, üçüncü bildiri olarak da MTA'dan Nizamettin ŞENTÜRK tarafından "TÜRKİYE'DEKİ MİNERALLİ SULARIN POTANSİYELİ VE ARAMA ÇALIŞMALARI" adlı bildiri sunulmuş ve tartışılmıştır.

Toplantının öğleden sonraki bölümü tamamen PANEL'e ayrılmıştır.

PANEL'in konusu "TÜRKİYE'DEKİ SICAK VE MİNERALLİ SULARIN POTANSİYELİ VE KULLANIM OLANAKLARI" idi.

"PANEL" Hacettepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Hidrojeoloji Mühendisliği bölümünden Karst Araştırmaları Merkezi Müdürü Prof. Dr. Gültekin GÜNAY tarafından yönetildi. Panalistler: Ankara Üniversitesi Tıp Fakültesinden Prof. Dr. Tansu RASİL, Turizm Bakanlığında Dr. Taras ÖZBEK, Sağlık Bakanlığında Remzi BİLİCİ, ORME Jeoteknik A.Ş. den Orhan MERTOĞLU, İzmir Valiliği Özel İdare'den Yaşar MENG ikiyeşer tur şeklinde konuşarak Sıcak (termal) kaplıcalar, ılıcalar hakkında görüşlerini sunmuşlardır. Panalistlerin sunuş konuşmalarından sonra izleyiciler Panalistlere sorular yöneltilmişler açıklanılmasını istedikleri konularda sorularına yanıt verilmesini istemişlerdir. Sorulan sorulara Panalistler tarafından yanıtlar verilmiştir.

Toplantıda, anılan konularda faaliyet gösteren "kamu, özel, bilimsel" kesimler biraraya getirilerek bir tartışma ortamı oluşturulmuştur. Sonuçta mevcut sorunlar, çözüm seçenek ve önerilerinin belirlenerek mümkün olduğunca geniş bir kitleye ulaştırılması ve gerekli ilişkilerin başlatılması amaçlanmıştır.

\* Jeo. Yük. Müh. DSİ, TED Başk. Yrd., Ankara.

## BATI ANADOLU'DA ISI AKISI DEĞERLERİNİN DAĞILIMI

## DISTRIBUTION OF HEAT FLOW VALUES IN WESTERN ANATOLIA

O. Metin İLKİŞİK\*

ÖZ — Sıcak su kaynaklarındaki silika belirleyicisi kullanılarak ısı akısı değerlerinin Batı Anadolu'daki bölgesel dağılımı elde edilmiştir. Anadolu'nun batısında yer alan 187 kaynaktan hesaplanan ortalama ısı akısı dünya ortalamasından % 60 kadar daha fazla olup değeri  $106.8 \pm 54.4 \text{ mW} \cdot \text{m}^{-2}$  dir.

Bu bölgede alışlagelmis yolla saptanmış sınırlı sayıdaki ısı akısı değerleri, yeni silika-ısı akısı değerleri ile kıyaslandığında genelde bir uyum olmasına rağmen ayrıntılarda birçok farklar gözlenmektedir. Yüksek silika-ısı akısı değerleri ( $100 \text{ mW} \cdot \text{m}^{-2}$  den yüksek) ile Tersiyer ve daha genç volkanizma arasında yakın bir ilişki vardır. Ayrıca, gerilme rejimi altındaki Menderes masifinin Paleozoyik kayaları içinde yüksek ısı akısı dizilimleri gözlenmiştir. En yüksek ısı akısı değeri  $247 \text{ mW} \cdot \text{m}^{-2}$  olup Gediz civarında ( $38^{\circ} 57' \text{ N}$ ,  $29^{\circ} 13.2' \text{ E}$ ) gözlenmiştir. Bu alan sismik açıdan etkin bir bölge olup orta Eosen yitim (sonradan çarpışma) kuşağına yakındır.

Batı Anadolu ısı akısı verileri yer kabuğu içindeki sıcaklık koşullarına ilişkin bilgi sağlamaktadır. Bu bilgi ise farklı jeofizik ve jeolojik model değişkenlerinin analizinde önemlidir.

**ABSTRACT** — A regional distribution of heat flow values in western Anatolia has been obtained using the silica estimator from thermal springs. Mean heat flow value which is calculated from 187 spring in western part of Anatolia is approximately 60 % more than the world average and its value is  $106.8 \pm 54.4 \text{ mW} \cdot \text{m}^{-2}$ .

A few available conventional heat flow values for this region were compared with silica heat flow. Although there is a general agreement, many detailed differences could be observed. A close association exist between high silica heat flow values (over  $100 \text{ mW} \cdot \text{m}^{-2}$ ) and Tertiary and younger volcanism. In addition, high heat flow lineations were observed in Paleozoic rocks of Menderes massive which are un-

der tensional stress regime. The highest heat flow value is  $247 \text{ mW} \cdot \text{m}^{-2}$  and was measured near Gediz ( $38^{\circ} 57' \text{ N}$ ,  $29^{\circ} 13.2' \text{ E}$ ). This area is a seismically active region and is located near to the middle-Eocene subduction (later collision) zone.

Heat flow data from western Anatolia provides information on thermal conditions within the crust. This information is important in the analysis of different geophysical and geological parameters.

## GİRİŞ

Batı Anadolu civarındaki kabuk içi gerilme rejimi daha çok Alp-Himalaya kıtasal çarpışma kuşağı ile ilişkilidir. Bölgede doğu-batı uzanımlı sıra dağlar ile tortul kayaç dolu vadiler belirgindir. Neo-Tetis okyanusunun kuzey ve güney kolları Türkiye civarında Alt Kretase'de en geniş durumlarına ulaşmış ve Eosen döneminde her iki okyanusta kuzeye Avrasya ve Sakarya kıtacıkları altına dalarak kaybolmuştur (Dewey ve diğ., 1973); Şengör ve Yılmaz, 1981). Bölgedeki kuzey-güney yönlü kısalma Üst Miyosenin başlangıcına kadar devam etmiştir. Bu yitimin bir sonucu olarak sıvılar mantoyu etkilemiş erime noktasını azaltmış ve karmaşık volkanik kayaç türleri oluşturmuştur (Yılmaz, 1989). Tortoniye başlarında bölgede aniden başlayan gerilme rejimi kalınlaşmış ve alt katmanları kısmen erimiş kabuğu germeye başlayarak üstteki ince kırılğan kabuk üzerinde bir horst-graben sistemi oluşturmuştur.

Batı Akdeniz'de genelde yüksek ısı akısı değerleri görülür. Tersine, Akdeniz'in doğu kesimindeki ısı akısı verileri geniş bir düşük ısı akısı bölgesine işaret eder. Karadeniz'de ölçülen ısı akısı değerleri de düşüktür (Erickson, 1970). Bununla birlikte bu alan yüksek orandaki tortullaşmanın ölçülen akıyı çok azaltması nedeniyle bir yüksek ısı akısı bölgesi olarak da değerlendirilebilir. Ege denizindeki ısı akısı ölçümleri tektonik kuşaklar boyunca üç yüksek ısı akısı uzanımı gösterir. En yüksek değerler Ege volkanik kuşağı üzerinde gözlenmiştir (Fytikas, 1980).

\* Doç. Dr., İst. Üniv. Müh. Fak. Jeofizik Müh. Bölümü, İstanbul.



## SİLİKA ISI AKISININ HESAPLANMASI

Meteorik sular üst kabuk içinde dolaşırken kayalar ve su arasında sulardaki eriyik miktarını değiştirecek bazı kimyasal tepkimeler oluşur.  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  ve  $\text{SiO}_2$  gibi birçok iyonlar genelde silikatların oluşturduğu kayalardan çözülür. Bu tür iyonların miktarı daha çok ortamın sıcaklığına bağlıdır.

Bu çözülmenin hangi sıcaklıkta olduğu, 1) Sudaki Na/K veya  $(\text{Na/K}) + (\text{Ca/Na})$  oranları kullanılarak (Fournier ve Truesdell, 1973), 2) Suyun içerdigi  $\text{SiO}_2$  miktarı kullanılarak;

$$\text{TSiO}_2 = \frac{1315}{5.205 - \log_{10} \text{SiO}_2} - 273.15 \text{ (C}^\circ\text{)}$$

bağıntısından (Truesdell, 1976), 3) Sülfatlardaki  $^{34}\text{S}/^{32}\text{S}$  oranlarından (Craig, 1983), belirlenebilir. Hazne sıcaklıklarının hesaplanmasında başka termometreler de kullanılır, ancak yazımızın konusu değildir. Bu çalışmada silika sıcaklığının saptanması için ikinci teknik uygulanmıştır; çünkü 1) üst kabuk içinde  $300\text{ C}^\circ$  ye kadar olan sıcaklıklarda kaynak sularındaki  $\text{SiO}_2$  eriyiği miktarı ile hazne sıcaklığı arasında doğrusal bir uyum görülür, ve 2) silika belirleyicisi hidrotermal su sistemine dışardan olan küçük katkılara karşı daha dengelidir.

Anadolu'nun sıcak su kaynaklarının pek çoğunun kimyasal nicelik analizi tıbbi amaçlarla Yenil ve diğ. (1969/70) tarafından yapılmıştır. Ortamın silika sıcaklıkları bilgisayarda dosyaladığımız bu veriler kullanılarak hesaplanmıştır.

Silika sıcaklıklarından ısı akısı değerleri ise, Swanberg ve Morgan (1979) tarafından kullanılan silika sıcaklığı ile ısı akısı arasındaki doğrusal ilişkiyi veren

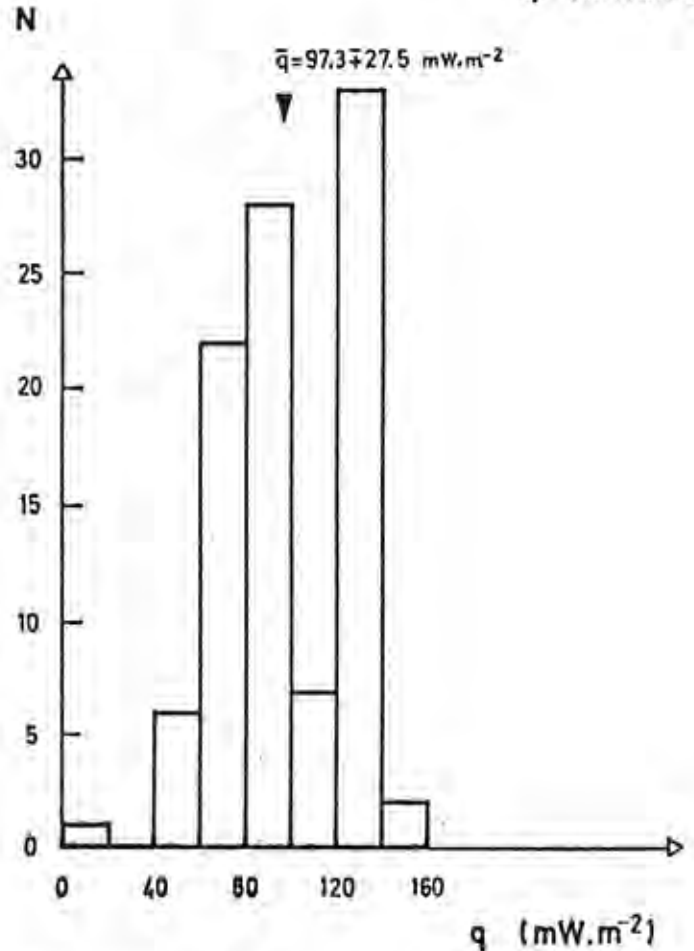
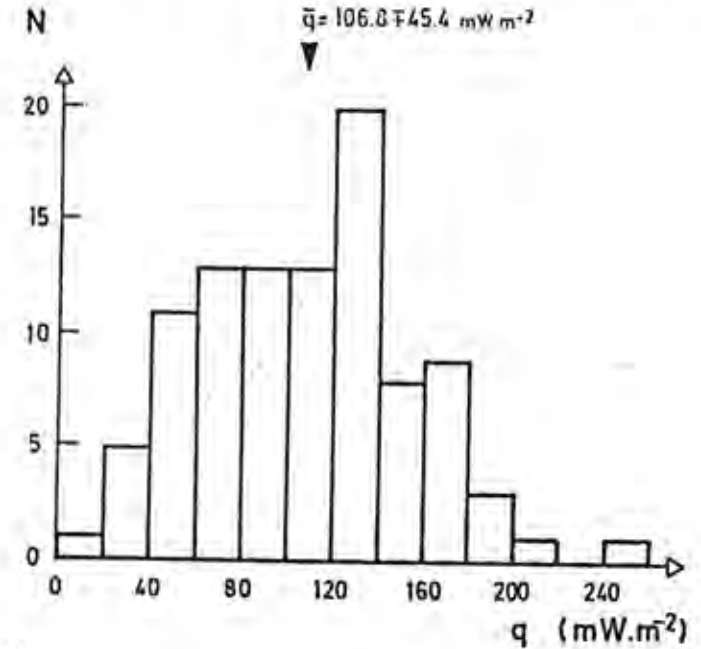
$$\text{TSiO}_2 = mq + b$$

bağıntısı yardımıyla hesaplanmıştır. Burada  $\text{TSiO}_2$   $\text{C}^\circ$  olarak derin hazne kayanın sıcaklığı,  $q$   $\text{mW} \cdot \text{m}^{-2}$  olarak ısı akısı ve  $b$  uzun dönem ortalama hava sıcaklığıdır,  $m$  eğim ise termal direnç olup ortamın ısı iletkenlik katsayısı ( $\text{Wm}^{-1} \text{K}^{-1}$ ) ile çarpıldığında yeraltı sularının dolaştığı ortalama derinliği verir. Benzeri bağıntılar Bullard (1939) ve Oxburgh ve diğ. (1980) tarafından da verilmektedir. Bizim hesaplamalarımızda " $m$ " değeri 0.7 seçilmiştir. Bunun anlamı ise su dolaşım derinliğinin kayalık türüne bağlı olarak 1.3 ile 2.1 km. olmasıdır.

## ISI AKISI VERİLERİNİN TANTIŞILMASI

Tezcan ve Turgay (1989) tarafından Avrupa Jeotermal Atlası (Hurtig ve diğ. 1990) için bazı ısı akısı değerleri hazırlanmıştır. Onlar ısı akısı değerlerini hesaplamak için klasik gradyan yolu ile çeşitli arama kuyularındaki sıcaklık artım hızını ve sabit bir ısı iletkenlik katsayısını kullanmışlardır. Hesaplamaları Batı ve Orta Anadolu'da  $120 \text{ mW} \cdot \text{m}^{-2}$  yi geçen bazı geniş anomaliler göstermektedir.

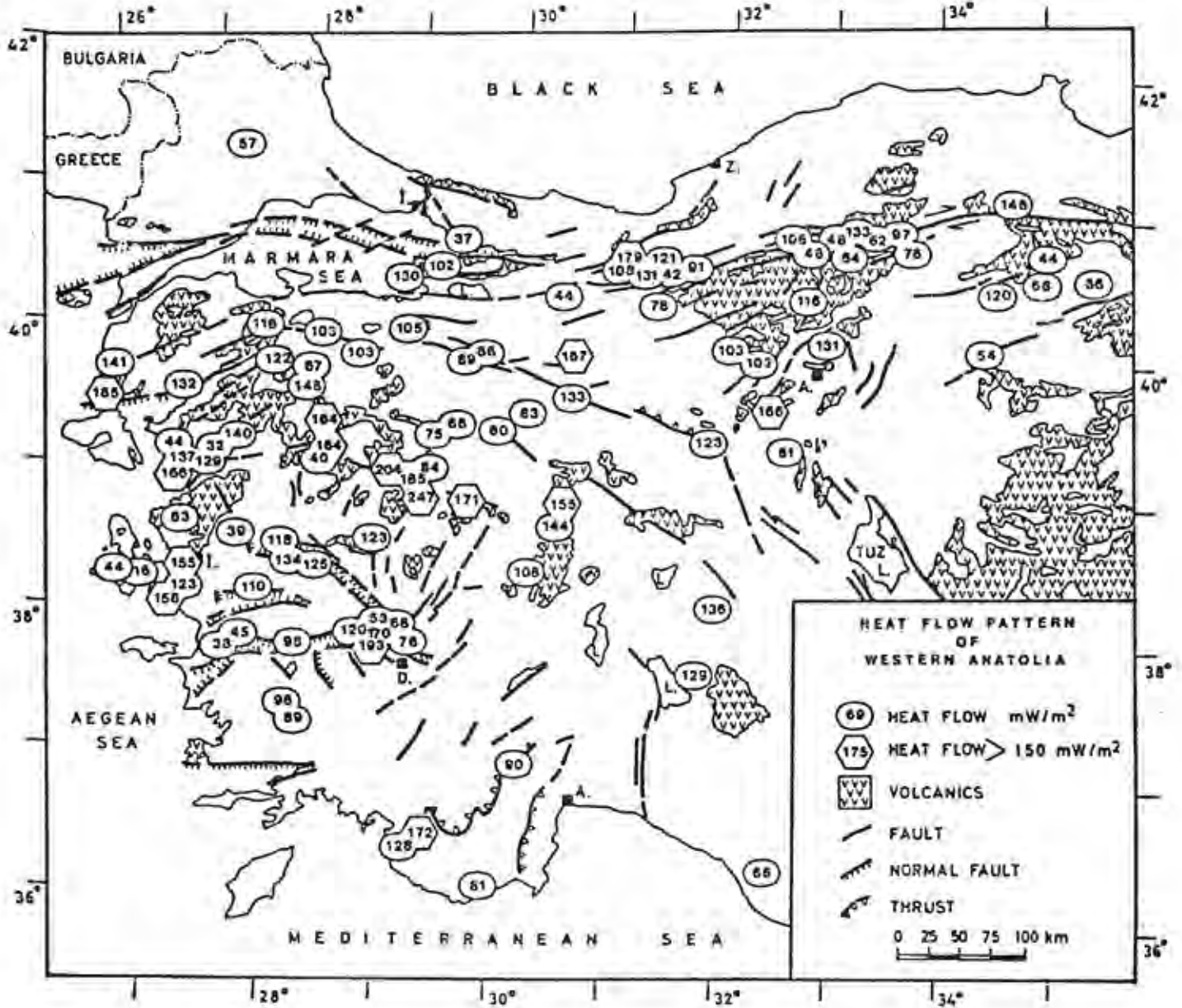
187 sıcak su kaynağındaki silika belirleyicisi kullanılarak Batı Anadolu için yeni bir ısı akısı veri grubu oluşturulmuştur. Bu silika-ısı akısı verilerinin tekrarlanma grafiği Şekil 1a'da verilmektedir. Klasik yolla ölçül-



Şekil 1 — a) Silika ısı akısı verilerinin, b) alışılmış yolla bulunmuş (Hurtig ve diğ., 1990 dan) ısı akısı verilerinin tekrarlanma grafikleri.

müş ısı akısı değerlerinin tekrarlanma grafiği ise, ki Avrupa Jeotermal Atlası'nın Sofya paftasından sıcak su kaynaklarının koordinatları kullanılarak okunan değerlerden oluşturulmuştur, hemen hemen aynı ortalama değeri verir fakat dağılımın biçimi biraz farklıdır (Şekil 1b). Anadolu'nun batı kesimi için silika yöntemiyle bulunan ortalama ısı akısı değeri  $106.8 \pm 45.4 \text{ mW} \cdot \text{m}^{-2}$ , klasik gradyan yöntemi ile bulunan değer ise  $97.3 \pm 27.5 \text{ mW} \cdot \text{m}^{-2}$  dir. Farklı yöntemler ile saptanmış olan her iki değer de hemen hemen aynı olup yerküre ortalamasından % 50-60 kadar daha fazladır.

Yeni ısı akısı değerlerinin Batı Anadolu'daki dağılımı Şekil 2 de verilmektedir (İlkışık, 1990),  $100 \text{ mW} \cdot \text{m}^{-2}$  den yüksek anomaliler ile Tersiyer ve daha genç volkanizma arasında yakın bir ilişki gözlenmektedir. Bazı yüksek ısı akısı değerleri, Menderes masifinin grabenleri ve Kuzey Anadolu Kırık Kuşağı'nın batı uzanımı gibi gerilme rejimini yansıtan genç tektonik özellikler ile ilişkilidir. Veri yerlerinin düzgün bir biçimde dağılmasının sonucu olarak eldeki haritanın yorumlanmasında dikkatli olmak gerekir. Batı Anadolu'ya ait yeni ısı akısı değerleri (Şekil 2) farklı kişilerce farklı yöntemler ile hazırlanan Ay-



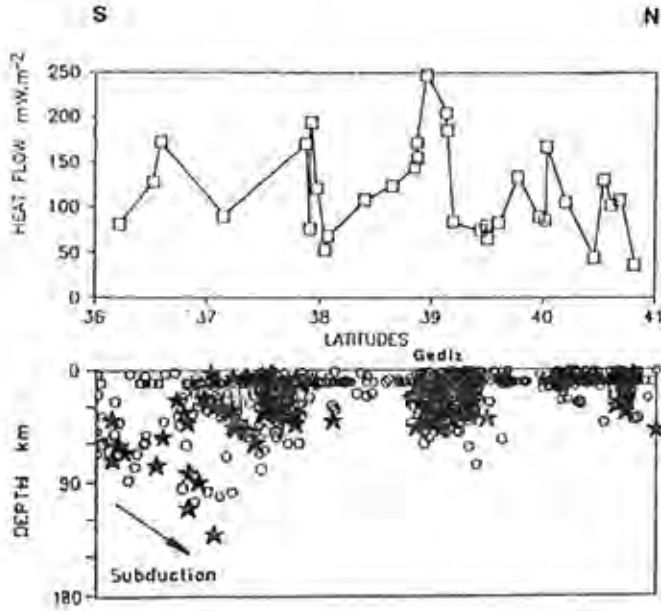
Şekil 2 — Batı Anadolu'da silika sıcaklığı kullanılarak hesaplanan ısı akısı verileri.

rupa Jeotermal Atlası'nın Sofya paftası (Hurtig ve diğ., 1990) ile genel uyum içindedir. Fakat ayrıntıda bazı farklar vardır. Örneğin Sofya paftasında görülen Ankara yakınındaki  $100 \text{ mW} \cdot \text{m}^{-2}$  den yüksek anomali yeni bulgu-

lara göre Kızılcahámam volkanizmasını da kaplıyacak bir genişliktedir. Anadolu'nun Orta, Güney ve Güneybatısı'nda da bazı farklılıklar vardır. Silika tekniği kullanılarak bulunan en yüksek değer  $247 \text{ mW} \cdot \text{m}^{-2}$  olup Ge-

diz civarında (38° 57' N, 29° 13.2' E) gözlenmiştir. Genelde 150 mW.m<sup>-2</sup> den büyük değerlerin oluşturduğu bu anomali N 70° W yönünde uzanmakta ve yukarıda değinilen Eosen yaşlı çarpışma kuşağında yeralan etkin deprem bölgesine karşı gelmektedir.

28.5-31° E boylamları arasında kalan kuzey-güney yönlü bir şerit içinde kalan deprem iç-odakları ısı akısı değişimi ile kıyaslanacak biçimde (Şekil 3) de verilmiştir.



Şekil 3— 28.5-31° E boylamları arasında kalan bölgede, (üstte) silika ısı akısı değerlerinin, (altta) deprem iç odaklarının dağılımı (İlkışık ve diğ., 1990 dan).

tir (İlkışık ve diğ., 1990). Güneyde daima batma kuşağının hemen üzerinde göreceli olarak yüksek ısı akısı değerleri gözlenmektedir. Daha az deprem etkinliği olan Menderes masifi üzerinde ise biraz daha az ama yine de 100 mW.m<sup>-2</sup> civarında ısı akısı değerleri ölçülmüştür. Kuzeyde, Gediz civarında 200 mW.m<sup>-2</sup> den yüksek ısı akısı değerlerinin oluşturduğu anomali ise İzmir-Ankara kenet kuşağında ve Gediz grabeni içindeki (39° N) yoğun deprem etkinliğine karşı gelmektedir. Kesitin en kuzeyinde yeralan Kuzey Anadolu Kırık Kuşağı'na doğru 100 mW.m<sup>-2</sup> olan ısı akısı değerleri daha sonra Karadeniz'e doğru 50 mW.m<sup>-2</sup> değerine kadar düşer.

Bölgedeki volkanik kayalarda Ercan ve diğ., (1985) tarafından verilen radyoaktif eleman dağılımı kullanılarak radyojenik ısı üretimi  $A$ , 3.733  $\mu\text{W.m}^{-3}$  bulunmuştur (İlkışık, 1990). Üst kabuğa ait ısı üretimi  $A$  ile yüzey ısı akısı  $q_0$  arasında

$$q_0 = q_m + D \cdot A$$

doğrusal ilişkisi vardır. Burada  $D$  radyoaktif maddece zengin granitik-gneysik kabuk kalınlığı olup Batı Anadolu için değeri 13-15 km kadardır. Bu derinliğin altında

radyojenik ısı üretiminin çok küçük olduğu genellikle kabul edildiğinden tüm yerkabuğunun yeryüzündeki  $q_0$  değerine katkısı "D.A" 52 mW.m<sup>-2</sup> dir. Bunun ise anlamı kabuk tabanındaki ısı akısı  $q_m$  in 55 mW.m<sup>-2</sup> bulunmasıdır. Bu değer yerküre üzerinde gözlenen benzerleri ile kıyaslandığında -ki ortalama  $q_m = 25-30$  mW.m<sup>-2</sup> dir- Batı Anadolu'da kabuk tabanında oldukça yüksek bir ısıya yani "sığ" bir Astenosfer'e işaret etmektedir.

## SONUÇLAR

Batı Anadolu'da yeralan 187 sıcaksu kaynağında silika belirtgeni kullanılarak yeni bir ısı akısı dağılım haritası hazırlanmıştır. Hesaplanan ısı akısı değerlerinin ortalama değeri 106.8  $\pm$  45.4 mW.m<sup>-2</sup> olup yerküre ortalamasından yaklaşık % 50-60 kadar fazladır.

Yeni silika ısı akısı değerleri klasik teknikler ile hazırlanan Avrupa Jeotermal Atlası'nın Sofya paftası (Hurtig ve diğ., 1990) ile genel uyum içindedir, fakat ayrıntıda bazı farklar vardır. Yeni veri grubunda 100 mW.m<sup>-2</sup> den büyük anomaliler ile Tersiyer ve daha genç yaşta olan volkanizma arasında yakın bir ilişki gözlenmektedir. Gerilme rejimi altında bulunan Menderes masifindeki grabenler ve Kuzey Anadolu Kırık Kuşağı'nın batı ucunda da yüksek ısı akısı değerleri saptanmıştır.

Silika tekniği kullanılarak bulunan en yüksek değer 247 mW.m<sup>-2</sup> olup Gediz civarında (38° 57' N, 29° 13.2' E) gözlenmiştir. Genelde 150 mW.m<sup>-2</sup> den büyük değerlerin oluşturduğu bu anomali N 70° W yönünde uzanmakta ve yukarıda değinilen Eosen yaşlı çarpışma kuşağında yeralan etkin deprem bölgesine karşı gelmektedir.

Üst kabukta  $A=3.733 \mu\text{W.m}^{-3}$  olarak hesaplanan radyojenik ısı üretimi dikkate alınarak Batı Anadolu'da yerkabuğu tabanındaki ısı akısı değeri " $q_m = 55$  mW.m<sup>-2</sup>" bulunmuştur. Bu değer yerküre üzerinde gözlenen benzerleri ile kıyaslandığında üst Manto'da oldukça yüksek bir ısıya, yani "sığ" bir Astenosfer'e işaret etmektedir.

## KATKI BELİRTME

Bu çalışma kısmen, İstanbul Üniversitesi Araştırma Fonu'nunca desteklenen (Fen 393/230289 sayılı) proje kapsamına girmektedir. Uzun yıllar ortalama sıcaklık verilerini sağlayan Meteoroloji Y. Müh. G. Abur'a ve verilerin bilgisayarda hazırlanmasında görev alan öğrencilerim F. Serttaş, Ü. Ömür, E. Tuyan ile S. Bayman'a teşekkür ederim.

## YARARLANILAN KAYNAKLAR

- BULLARD, E.C., (1939). Heat flow in South Africa. Proc. Roy. Soc. London, Ser. A., 173: 474-502.  
CRAIG, H., (1963). The isotopic geochemistry of water and carbon in geothermal areas. In: E. Tonglorgi (Editor), Nuclear Geology on Geothermal Areas, Spoleto, 17-54, Consiglio Nazionale delle Ricerche Lab. di Geologia Nucleare.



- DEWEY, J.F., PINMAN III, W.C., RYAN, W.B.F., ve BONNIN, J., (1973). Plate tectonics and the evolution of the Alpine system. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 84: 3137-3180.
- ERCAN, T., SATIR, M., KREUZER, H., TÜRKECAN, A., GÜNAY, E., ÇEVİKBAŞ, A., ATEŞ, M. ve CAN, B., (1985). Batı Anadolu Senozoik volkanitlerine ait yeni kimyasal, izotopik ve radyometrik verilerin yorumu. *TJK Bult.*, 28: 121-136.
- ERICKSON, A.J., (1970). The measurement and interpretation of heat flow in the Mediterranean and the Black Sea. Ph. D. Thesis, MIT Dept. of Earth and Planetary Sci., Massachusetts.
- FOURNIER, R.O. ve TRUESDELL, A.H., (1973). An empirical Na-K-Ca geothermometer for natural waters. *Geochim. et Cosmochim. Acta.* 37: 1255-1275.
- FYTIKAS, M.D., (1980). Geothermal exploitation in Greece. In: A.S. Strub and P. Ungemach (Editors), 2nd Int. Sem. on the Results of E.C. Geothermal Energy Research, Strasbourg. Reidel Publ., Dordrecht, pp. 213-237.
- HURTIG, E., CERMAK, V., HAENEL, R. ve ZUI, V. (Eds.), (1990). Geothermal Atlas of Europe, Sheet Sophia. VEB Hermann Haack, Gotha.
- İLKIŞIK, O.M., (1990). Heat flow pattern of western Anatolia. EGS XV General Assembly, 23-27 April Copenhagen, Ann. Geophys. Special Issue, 55.
- İLKIŞIK, O.M., ALPTEKİN, Ö., EZEN, Ü. ve UCER, S.B., (1990). Heat flow, seismicity and the crustal structure of western Anatolia. Int. Earth Sciences Cong. on Aegean Regions, 1-6 Oct. 1990, İzmir.
- OXBURGH, E.R., RICHARDSON, S.W., WRIGHT, S.M., JONES, M.O.W., PENNY, S.R., WATSON, S.A. ve BLOOMER, J.R., (1980). Heat flow pattern of the United Kingdom. In: A.S. Strub and P. Ungemach (Editors), 2nd Int. Sem. on the Results of E.C. Geothermal Energy Research, Strasbourg. Reidel Publ., Dordrecht, pp. 447-455.
- SWANBERG, C.A. ve MORGAN, P., (1979). The linear relation between temperatures based on the silica content of groundwater and regional heat flow: A new heat flow map of the United States. *Pageoph.* 117: 227-241.
- ŞENGÖR, A.M.C. ve YILMAZ, Y., (1981). Tethyan evolution of Turkey: A plate tectonic approach. *Tectonophysics*, 75: 181-241.
- TEZCAN, A.K. ve TURGAY, I., (1989). Türkiye ısı akışı haritası. MTA Jeofizik Dai., Ankara.
- TRUESDELL, A.H., (1976). Summary of section 3: Geochemical techniques in exploration. Proc. 2nd U.N. Sympos. on the Development and Use of Geothermal Resources, San Francisco, 1975, 1, 1iii-1xx, U.S. Govt. Printing Office.
- YENAL, O., USMAN, N., BİLECEN, L., KANAN, E., ÖZ, G., ÖZ, U., BONCE, T., GOKSEL, A., ALKAN, H. ve SEZGİNER, N., (1969/1970). Türkiye Maden Suları, Cilt 1, 2, 3, 4, 5. I.U. Tıp Fak., Tıbbi Ekoloji ve Hidro-Klimatoloji Kurs., İstanbul.
- YILMAZ, Y., (1989). An approach to the origin of young volcanic rocks of western Turkey. In: A.M.C. Sengör (editor), *Tectonic Evolution of the Tethyan Region*. Kluwer Academic Publ., Dordrecht.

## İSTANBUL-ÇİFTEALAN DOLAYINDA ŞEV STABİLİTESİ

## DIE BÖSCHUNGSSTABILITÄT IN DER NÄHE VON İSTANBUL-ÇİFTEALAN

Ali Malik GÖZÜBOL\*

**ÖZ** — Çiftealan, İstanbul'un kuzeyinde Karadeniz sahilinde, kömür işletmelerinin bulunduğu bölgedir. Kömürlü Miyosen çökellerinde şev stabilitesi araştırılmıştır. Deneyisel çalışmalarla elde edilen jeomekanik özellikler değerlendirildiğinde, 70 metre yüksekliğe kadar şevlerin her açı derecesinde dengede kalacağı anlaşılmıştır. Fay zonları dışında, şevlerin 80°'lik açılarla açılması halinde, güvenlik bölgesinde kalacağı ortaya konmuştur.

**VORWORT:** Çiftealan ist ein Dorf an der Schwarzmeerküste von Istanbul. In diesem Gebiet gibt es die Braunkohlenabbau mit den ziemlich hohe Felsböschungen. Die Böschungsstabilität ist in diesem Forschung untersucht worden. Die geomechanische Eigenschaften der Miozangesteine ist nach der Proben bestimmt und genutzt worden. Nach diesen Eigenschaften werden die Felsböschungen bis zum 70 m. Höhe in jedem Böschungswinkel stabil. Ausser der Verwerfungszone werden die Böschungen in dem Sicherheitsgebiet, wenn die Böschungswinkel unter 80° ist.

## GİRİŞ

Çifte alan köyü, İstanbul ilinin Karadeniz sahilinde yer almaktadır. Çevredeki kömür açık işletme alanları, köyün yakınlarına kadar ulaşmış ve şev yükseltileri artmıştır. Şev yükseltilerinin artması ile birlikte, köyün yakınlarında şev stabilitesi önemli bir araştırma konusu olmuştur.

Bu kesimde, şev stabilitesini belirleyici jeolojik, hidrojeolojik ve jeoteknik özellikler incelenmiştir. Elde edilen bulguların değerlendirilmesi ile stabilize şartları ortaya konmuştur.

## TOPOGRAFYA KOŞULLARI

İnceleme alanı, Çiftealan köyünün Karadenize doğru giderek alçalan kuzey yamaçlarını içine almaktadır. Yamaç eğimleri % 20-35 arasında değişmektedir. Karadeniz kıyı çizgisinden başlayarak güneye doğru ilerleyen kömür

açık işletmeleri, 25-40 metrelik şevlere sahiptir. Ocak işletme düzlüğü ile köy arasında 300 metre kadar harita mesafesi ve 55-60 metrelik yükselti farkları bulunmaktadır.

## İNCELEME ALANININ JEOLojİSİ

Çiftealan köyü yakın dolayında iki birim mostra vermektedir. Altta, kömür katmanlarını bünyesinde taşıyan Gürpınar formasyonu bulunmaktadır; onun üstünde de bölgesel olarak geniş yayılımlar gösteren Belgrad formasyonu yer almaktadır.

Gürpınar formasyonu, gri, koyu gri, mavimsi koyu gri renklerde kilitaşı, miltatşı, killi miltatşı kaya topluluğundan oluşmaktadır. İstifte 2 veya 3 seviye halinde kömür katmanları, yer yer de ara düzeyler halinde kumtaşı yer almaktadır. Gürpınar formasyonu, diğer kesimlere kıyasla bu bölgede oldukça homojen bir stratigrafi istifi sunmaktadır. Bu istifin Miyosen yaşında olduğu, önceki çalışmalarla belirlenmiştir.

İncelenen alanın her kesiminde, Miyosen çökelleri üstüne diskordansla Pliyosenin kil, kum ve çakıl örtüleri gelmektedir. Belgrad formasyonu olarak adlanan bu örtü çökelleri, daha çok kötü boyanmalı çakıl-kum istifinden oluşmaktadır ve kalınlığı en çok 10 m. kadardır. Kuzeye, deniz yönünde giderek kalınlaşma gösterir.

Miyosen ve Pliyosen çökelleri, yapısal konum itibarı ile kuzeye doğru 2°-3° eğim değerlerine sahiptirler. Eklem düzlemleri görülmez, seyrek olarak faylarla kesilmişlerdir.

## YERALTISUYU KOŞULLARI

Arazi çalışmalarından elde edilen bulgular ve açık ocak işletmelerinde ortaya çıkan görüntülerden, Belgrad formasyonu kum ve çakıllarının yağışlı mevsimlerde suya doygun olduğu anlaşılmaktadır. Alttaki Miyosen istifi ise geçirimsiz, yeraltısuyu taşımayan kaya topluluğudur. Yalnızca fay düzlemleri, üstteki Pliyosen çökellerindeki yeraltısuyundan beslenir.

\* Yard. Doç. Dr., İstanbul Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Uygulamalı Jeoloji Anabilim Dalı.

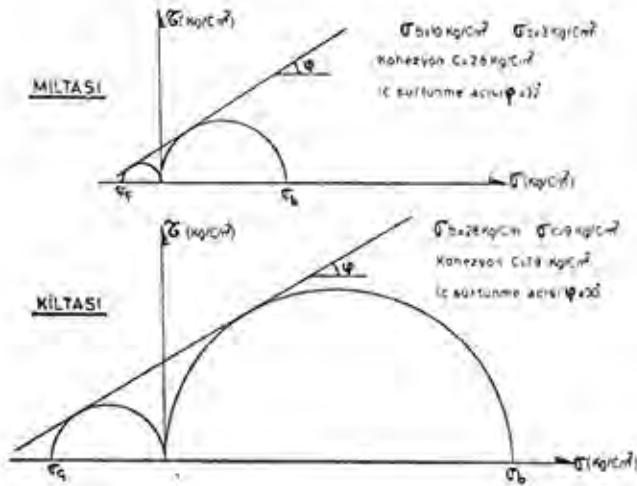
## JEOTEKNİK ÖZELLİKLER

Kömür seviyesinin üstünde yeralan ve işletme şevlerini oluşturan Miyosen istifli, değişik litolojiler kapsamaktadır. Buna bağlı olarak fiziko mekanik özellikler de düşey olarak değişimler sunmaktadır.

Istifin en üstünde yeralan Pliyosen'in kum ve çakıllı seviyeleri, yüzeyde altere olduğundan dayanımsızdır. Ancak alta doğru sağlam zonlar, tutturulmuştur, kendini taşıyacak derecede dayanım ve kohezyona sahiptir. Karbonatlı bağlayıcılarının bulunduğu kesimlerde yüksek dayanımlar gösterebilir.

Miyosen çökel istifinin çeşitli seviyelerinden alınan kilitaşı ve miltaşları örnekleri deneylerle incelenmiş ve Birim Hacim Ağırlıkları ortalaması  $\gamma_n=2,05-2,10 \text{ t/m}^3$  bulunmuştur.

Kömür örtü kayalarının, serbest basınç deneyi ve çekme deneyleri sonunda bulunan değerlerinin ortalaması alınmıştır. Miltaşlarının çekme dayanımları  $\sigma_c=3 \text{ kg/cm}^2$ , Serbest basınç dayanımları  $\sigma_b=10 \text{ kg/cm}^2$  bulunmuştur. Bu değerlere göre miltaşının kohezyonu  $C=2,8 \text{ kg/cm}^2$  ve içsel sürtünme açısı  $\phi=32^\circ$  olarak belirlenmiştir. Deney sonunda kilitaşlarının çekme Dayanımları  $\sigma_c=9 \text{ kg/cm}^2$  ve Serbest Basınç Dayanımları  $\sigma_b=28 \text{ kg/cm}^2$ , kohezyonları  $C=7,9 \text{ kg/cm}^2$  ve içsel sürtünme açıları  $\phi=30^\circ$  olarak bulunmuştur (Şekil 1).



Şekil 1 — Miyosen kayalarının temsilci kırılma zarfları.

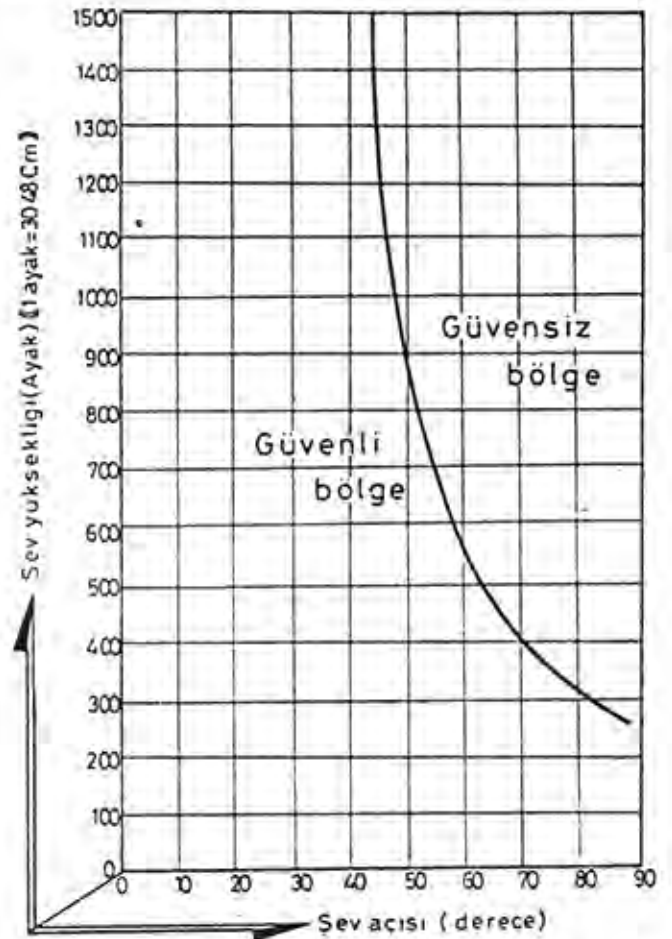
## ŞEVLERİN STABİLİTESİ

İnceleme alanında çökel istifli yataya yakın konumdadır. Süreksizlik kapsamamaktadır ve faylarla seyrek kesilmektedir. Miyosen istifli geçirimsiz olduğundan, yüzeysel üst kesimler dışında yeraltı suyu kapsamaz. Kalınlığı 10 metreyi geçmeyen pliyosen çökelleri yağışlı mevsimlerde suya doygunudur.

Miyosen çökellerinin deneysel çalışmalarla belirlenen mekanik özellikleri aşağıdadır:

|                         | Miltaşları                    | Kilitaşları                   |
|-------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| Serbest Basınç Dayanımı | $\sigma_b=10 \text{ kg/cm}^2$ | $\sigma_b=28 \text{ kg/cm}^2$ |
| Çekme Dayanımı          | $\sigma_c=3 \text{ kg/cm}^2$  | $\sigma_c=9 \text{ kg/cm}^2$  |
| Kohezyon                | $C=2,8 \text{ kg/cm}^2$       | $C=7,9 \text{ kg/cm}^2$       |
| İçsel Sürtünme Açısı    | $\phi=32^\circ$               | $\phi=30^\circ$               |

Bu özellikleriyle Miyosen çökellerine Kley ile Lutton ve Ross Brown'dan alınan abaklar (Şekil 2) uygulandığında, 70 metre şev yüksekliğine kadar en yüksek şev açıları ile de şevlerin dengede kalacağı ortaya çıkmaktadır.



Şekil 2 — Miyosen kayalarında  $C=3 \text{ kg/cm}^2$  ve  $\phi=30^\circ$  değerlerine göre şev güvenlik diyagramı (Kley ile Lutton ve Ross Brown'dan).

Çiftealan dolayı Miyosen çökellerinde oluşturulacak, yüksekliği 70 metreden az,  $80^\circ$  den düşük açılı şevler güvenlik sınırları içerisinde kalmaktadır. Şevlere yakın fayların bulunması halinde, stabilitenin olumsuz etkileneceği şüphesizdir.



Pliyosen çökelleri gevşek tutturulmuş bulunduğu-  
dan, suya doygun olduğu yerlerde ve mevsimlerde yü-  
zeyssel kütle hareketleri oluşabilecektir.

#### YARARLANILAN KAYNAKLAR

- BAYKAL, F., (1963), İstanbul boğazı batısındaki sahanın  
etüdü. MTA Enst. rap. No. 3267.  
HOEK, E. and BRAY, J., (1974), Rock Slope Engineering.  
Institution of Mining and Metallurgy, London.

- KLEY, R.J. and LUTTON, R.J., (1967), Engineering pro-  
perties of nuclear craters: a study of selected  
rock excavations as related to large nuclear  
craters. Report U.S. Army Engineers, No. PNE  
5010 159 p.  
ROSS-BROWN, D.R., Slope design in open cast mines.  
Ph. D. Thesis, London University.  
TERZAGHI, K., (1962), Stability of steep slopes on hard  
unweathered rock. Geotechnique. Vol. 12 pp.  
251-270.  
YENİYOL, M., (1984), İstanbul kıllarının oluşumu, Türkiye  
Jeoloji kurultayı bülteni, n.s. 143-150.

## ÇATLAKLI KAYANIN ALANSAL GEVŞEMEYE BAĞLI DAYANIM AZALMASI

## THE DECREASE IN BEARING CAPASITY OF FRACTURED ROCK WITH RESPECT TO TWO DIMENTIONAL RELAXATION

Yılmaz MAHMUTOĞLU\*

**ÖZ —** Uygulamada kaya davranışı genellikle klasik elastisite teorisi ve birçok ampirik formüle dayandırılmıştır. Bu durum kaya mekaniği çalışmalarında gözönüne alınan sınır koşulları ve elde edilen sonuçlardan kaynaklanmaktadır. Günümüze kadar aynı tür kaya veya kaya örnekleri üzerinde yapılan arazi ve laboratuvar deneyleri karşılaştırıldıklarında laboratuvar deney sonuçlarının 20 kat hatta bazen daha fazla değerlere ulaştıkları bilinmektedir. Bu nedenle kaya davranışıyla ilgili pratik yaklaşımlar çoğu kez projeyi yapan kişinin bilgi, görgü ve deneyimine bağlı kalmaktadır.

Kaya mekaniğini malzeme mekaniğinden ayıran en önemli özellikler kayanın süreksiz, anizotrop ve heterojen oluşudur. Bunun sonucu günümüzde kaya mekaniği artık bir süreksizlik mekaniği olarak kabul edilmektedir.

Yukarıdaki nedenlerden dolayı aşağıda tanıtılacak çalışmada çatlaklı kayanın mekanik davranışındaki değişimin alansal gevsemeye olan bağımlılığı açıklanmaya çalışılmıştır.

**ABSTRACT —** In application, generally the behaviour of the rock is based on the classical elasticity theory and some empirical formulas. The boundary conditions which are taken into consideration and the results obtained in rock mechanics studies are not fully specified. The comparisons of the results of "in situ" field tests on rock masses with the results of "laboratory" tests on the same rock samples show that laboratory tests invariably lead to an overestimate of the bearing capacity by factors of 20 or more is possible. The principal reason of this difference is the presence of discontinuities in rock mass.

For the reasons mentioned above it is intended to carry out the variations in mechanical behaviour of fractured rock depending upon the two dimentional relaxation by the physical modeling.

## GİRİŞ

Kaya Mekaniği bilimi insanın yerkabuğunu işleme ve kullanmaya başladığı ilk çağlardan beri kullanılmış olmasına rağmen teorik anlamda asıl bir bilim sıfatına 1940'lardan sonra büyük kaya yapılarının inşaatı sırasında çıkan sorunların çözümüyle erişmiştir.

Yerkabuğunun birkaç metre derinliğinden başlayıp yumuşak zon (Astenosfer)'a kadar uzayan genelde katı, süreksiz, anizotrop ve heterojen ortam kaya olarak tanımlanmaktadır.

Günümüz insanının bu ortama müdahalesi ve kayayı yerinde taşıyıcı sistemin bir elemanı olarak kullanmak istemesi, yapısal ve dokusal süreksizlikler içeren, bulunduğu ortam koşulları etkisiyle davranışı önemli ölçüde değişen kaya hakkında bilgi üretiminin zorunlu kılmaktadır. Bunun sonucu olarak, kaya yapısı projelerinde kullanılacak bilgileri elde etmek için, kayanın yerinde (in-situ) denenmesi gerekmektedir. Bu tip in-situ deneyler pahalı, uzun zaman alıcı ve teknik bazı zorlukları beraber getirdiklerinden dolayı yaygın olarak kullanılamamaktadır. Ayrıca taş örnekleri üzerinde yapılan laboratuvar deneylerinden de kaya davranışına yaklaşım sağlamak oldukça güçtür.

Büyük ve pahalı kaya yapılarının projelendirilmesinde kullanılacak bilgilerin kesin ve güvenilir olması zorunluluğu vardır. Bu nedenle kaya yapısının oluşturulacağı ortamı tümüyle temsil edebilecek ölçekli fiziksel model model deneyler (scaled physical model tests)'in yapımı, daha güvenilir bilgilerin eldesine olanak tanınması açısından önemlidir. Ayrıca mühendislik yapısının tasarımına yardımcı olacak bilgilerin sağlanması ve oluşabilecek mühendislik hatalarının giderilmesi için daha büyük ölçekli model çalışmalarının yapıldığı bilinmektedir.

Kaya ortamla ilgili sağlıklı ve uygulanabilir bir modellemede ilk durum girdilerinin yeterince doğru olacak şekilde tesbiti gerekmektedir. Bu nedenle, arazi çalışmalarıyla prototip kaya ortam özelliklerinin ilk etapta tanımlanması zorunludur.

\* Ar. Gör. İTÜ Maden Fak., Uygulamalı Jeoloji Anabilim Dalı, İstanbul.

Model çalışmalarda prototip özelliklerinin belirlenmesi aşamasında arazi ve laboratuvar çalışmaları beraber yürütülmektedir. İlk durum girdileri ve boyutsal mekan verileri arazide belirlenirken, sınır değerler laboratuvar çalışmalarıyla saptanmaktadır. Elde edilen bilgiler kullanılarak kaya ortam boyut analizi (Dimensional Analysis) kuralları yardımıyla laboratuvar şart ve boyutuna indirgenmektedir.

Aşağıda tanıtılacak çalışma çatlaklı kayanın gevşemeye bağlı dayanım azalması ile ilgilidir. Araştırmada ilk durum girdilerinin tamamı dikkate alınmamış, süreksizliklerin geometrisi, boyut verileri ve birim kaya elemanının fiziksel ve direnç özellikleri dikkate alınmıştır.

## ARAZİ VE LABORATUVAR ÇALIŞMALARI

Modellemede çalışmanın en önemli aşamasını laboratuvara indirgenecek ortamla ilgili arazi verilerinin araştırılması ve tanımlanması oluşturmaktadır. Bu nedenle önce, ortam ile prototipin mühendislik özelliklerinin belirlenmesi gerekir.

Yukarıda ifade edilen nedenden dolayı, bu çalışmada, örnek ortam olarak İstanbul Grovalarının incelenmesi hedeflenmiştir. Arazi çalışmaları sözkonusu birimin minerolojik bileşim, süreksizlik ve dokusal bakımdan farklı homojen bölgeler içermekte olduğunu ortaya koymuştur.

Modellemede kullanılacak geometrik ve malzeme ölçeklerinin belirlenmesinde kullanılan sayısal 6 farklı bölgede yapılan çalışmanın istatistik ortalamasıdır.

Bu bölgeler;

- Eyüp Bölgesi (1)
- Fatih Bölgesi (2)
- Kasımpaşa-Fındıklı hattı (3)
- Gümüşsuyu bölgesi (4)
- Beşiktaş-Baltalımanı hattı (5)
- Taşkılla Hyaat Regency oteli temel kazı alanı (6)

6 nolu bölgede arazi çalışmalarının yürütüldüğü örnek bölge niteliğindedir. Kumtaşının jeolojik ve mühendislik jeolojisi özelliklerini belirlemek ve birim kaya elemanı ile ilgili sınır değerleri (fiziksel ve mekanik özellikler) saptamak amacıyla çalışılmıştır. Yapılan çalışmada bölgede birbirinden minerolojik bakımdan farklı 4 ayrı homojen bölge tanımlanmıştır.

- Feldispatlı-Mikalı kumtaşı (k1)
- Kumtaşı-Silttaşı ardalanması (k2)
- Kilttaşı-Çamurtaşı (k3)
- Kumtaşı-Kilttaşı-Çamurtaşı ardalanması (k4)

Feldispatlı-Mikalı kumtaşı zonu (k1) arazide en yaygın izlenmekte olduğundan prototip kaya ortamı olarak seçilmiştir. Malzeme ölçeği hesaplanırken birim kaya elemanının fiziksel ve mekanik özellikleri araştırma son-

dajlarından elde edilen karotlar üzerinde yapılan laboratuvar deneylerinden faydalanılmıştır.

Model malzemesinin boyutlandırılması sırasında Fumagalli (1968), Stimpson (1979) ve Barton (1974) tarafından denenilen ve teorik karışımlardan faydalanılmıştır.

Sonuçta sözü edilen kaya modelleri için tasarlanan laboratuvar boyut ve koşulları da dikkate alınarak agrega olarak pomza, bağlayıcı olarak kireçtozu ve çimento model malzemesi karışım bileşenleri olarak seçilmiştir.

Model malzemesi karışımı da % de olarak;

- Pomza (2 mm'nin altındaki boyutta) % 60
- Elenmiş-sönmüş kireçtozu % 30
- Portland çimento (PÇ 325) % 10

kullanılmıştır .

Deneylerde kullanılan numunelerin döküm kalıpları hazırlanırken;

- Kumtaşı tabakalarının kalınlığı
- Süreksizliklerin sıklık ve devamlılığı
- Birim kaya elemanlarının geometrisi
- Süreksizlik takımlarının genel konumları

dikkate alınmıştır.

Hazırlanan karışımlarda yoğurma kolaylığı sağlamak için su/çimento oranı (w/c) ağırlıkça 1.2 olarak alınmıştır. Karışım homojenliği sağlanıncaya kadar yoğurma işlemine devam edilmiş ve daha sonra hazırlanan özel kalıba yerleştirilerek tam konsolidasyon için sıkıştırma işleminden geçirilmiştir. Elde edilen örnekler standartın öngördüğü süre ve şartlarda kurutulmuştur. Üretilen örneklerin malzeme özelliklerine göre öngörülen temel değişkenler arasındaki boyutsuz oranlar (dimensionless ratios) hesaplanmıştır. Sonuçta geometrik ölçek (geometrical scale) 1/10, malzeme ölçeği (material scale) 1/14 ve birim hacim ağırlıkları arasındaki oran 0.64 olarak bulunmuştur.

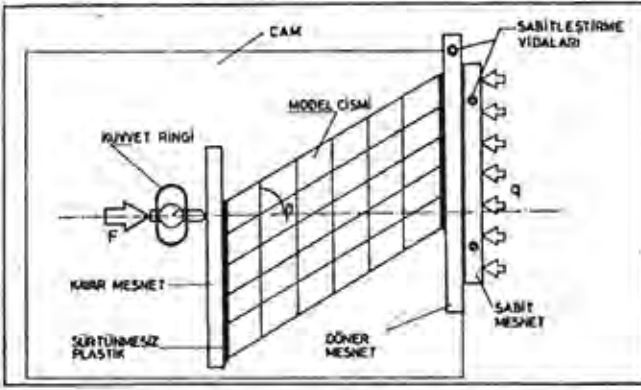
## MODEL DENEYLER

Model deneyler özel olarak hazırlanan deney düzeneği yardımıyla sürtünmesiz yatay düzlem üzerinde tek eksenli olarak yapılmıştır. Birim kaya elemanları arazideki konumlarına göre dizilerek, sistem yükleme plakası 15 er derecelik döndürülerek 7 farklı doğrultuda yüklenmiştir. Yükleme doğrultusu belirlenirken temsil edilen süreksizliklerden birinin doğrultusu ile kuvvetin aktarıldığı doğrultu arasındaki açıdan ( $\beta$ ) faydalanılmıştır.

İki boyutta meydana gelen gevşeme miktarı (alanal gevşeme) deneyler süresince sabit uzaklıktan çekilen seri fotoğraflar epidiaskopta büyütülerek planimetreyle kontrollü olarak ölçülmüştür.

Çizelge 1 de farklı yükleme doğrultularında model ortamın maksimum relatif taşıma kapasiteleri ( $F_r$ ) ve bu değerlere karşılık gelen alanal gevşeme miktarları

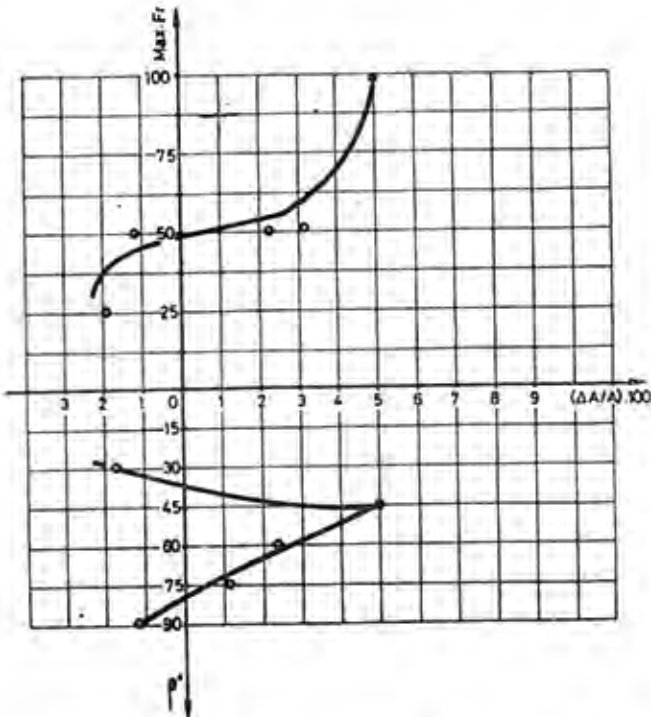




Şekil 1 — Model Deney Düzeneği ve Birim Kaya Elemanları Dizilimi.

| $\beta$ (°) | Fr | Ar   |
|-------------|----|------|
| 90          | 40 | -1.1 |
| 75          | 45 | 1.4  |
| 60          | 40 | 2.4  |
| 45          | 80 | 4.8  |
| 30          | 25 | -1.8 |
| 15          | 45 | —    |
| 0           | 35 | —    |

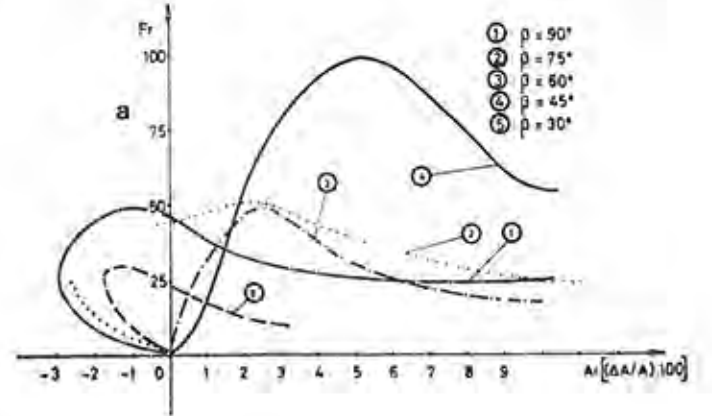
Çizelge 1 —  $\beta$  açısına bağlı maksimum relatif taşıma kapasitesi ve alansal gevşeme miktarları.



Şekil 2 — Yükleme doğrultusu ( $\beta$ ) na bağlı relatif taşıma kapasitesi ve kritik alansal gevşeme miktarları.

% olarak verilmiştir. Çizelgede görüldüğü gibi, model ortam niteliğindeki çatlaklı kaya süreksizliklerin arakesiti yönünde yüklendiği zaman maksimum taşıma kapasitesine % 5 alansal gevşeme (% 08 hacimsal gevşeme) durumunda erişmektedir. Ayrıca  $\beta$  açısının 90 ve 30 derece olması halinde ortamın sıkışma anında en fazla taşıyacağı sonucuna ulaşılmıştır (Şekil 2).

Buradaki en önemli sonuç hiç kuşkusuz kayanın içerdiği süreksizliklerden dolayı yüklemenin başlangıcında sıkışmadan dolayı oluşan hacim azalmasına rağmen, yenilme sonrası ani gevşemelerinin meydana gelmesidir (Şekil 3a).



Şekil 3 — a) Yükleme doğrultusuna bağlı relatif yük alansal gevşeme oranı grafiği. b) Model ortamın yön bağımlı taşıma kapasitesi.

Ayrıca çatlaklı kayanın yüklenmesi durumunda belirli doğrultularda sıkışma (kontraktans), bazı doğrultularda da gevşemenin (dilatans) meydana geleceği gözlenmiştir. Sistem yöne bağlı relatif taşıma kapasitesi ve oluşan alansal gevşemeler bakımından anizotrop bir dav-

ranış göstermektedir. Anizotropik davranış relatif taşıma kapasitesi ve alansal gevşeme miktarları açısından değerlendirildiğinde, taşıma kapasitesinin yöne bağlı % 60. yenilme anındaki alansal gevşeme oranlarında % —1.8-4.8 arasında değiştikleri saptanmıştır (Şekil 2, 3a, 3b).

## SONUÇ

Kaya ortamda oluşturulan kazılar sonucu mevcut gerilmelerin yön ve şiddetinin büyük ölçüde değiştiği bilinmektedir. Ayrıca çoğu zaman bu tür müdahaleler sonucunda ortam stabilitesi bozularak istenmeyen deformasyonlarla karşılaşmaktadır. Bu nedenle ortam güvenliğini korumak için yapılması gereken sağlamlaştırma çalışmalarının zamanında yapılması önemlidir. Günümüze kadar yapılan kaya sınıflamalarında tanımlanan duraylılık süresi (stand up time) vb. gibi yaklaşımların yerinde yapılan ölçümlerle ileriye götürülmesi, daha güvenilir değerlendirmeler açısından önemlidir.

Yapılan çalışma sonucunda kayanın taşıma direncinin ve duraylılık zamanının tesbitinin yerinde ölçülecek gevşeme modülüne bağlanabileceği sonucuna ulaşılmıştır. Bu nedenle, gevşeme modülünün arazide tespit edilmesi ve doğada mevcut model kaya ortamların fiziksel modellerle davranışlarının ayrıntılı araştırılması gereği ortaya çıkmaktadır.

## YARARLANILAN KAYNAKLAR

- ALKEN, D.N., (1954), Relaxation Methods; McGraw Hill Book Company Inc, New York.
- ASSZONYI, C.S. ve DIG., (1979), Determination of Rock Characteristics Using Relaxation Tests; Acta Geodaet., et Mantamist. Acad. Sci., Hung.
- BORDIA, S.K., HAVIR, J., PETROS, V., (1971), A Simple Method of Determining the Coefficient of Loosening of Rocks; Int. Jur. of Rock Mech. & Mining Sci.
- CHAPPELL, B.A., (1979), Deformational Response in Discontinues; Int. Jur. of Rock Mech & Mining Sci., London.
- CLARC, G.B., (1982), Geotechnical Centrifuges for Model Studies and Physical Property Testing of Rock and Rock Structures; Colorado School of Mines.
- GOODMAN, R.E., (1976), Methods of Geological Engineering in Discontinuous Rock; West Publishing Com., New York.
- EMMANUEL, D., (1986), Elastoplastic Model of a Deep Tunnel for a Rock with Variable Dilatancy; Rock Mechanics and Rock Engineering.
- ERGUVANLI, K., (1982), Mühendislik Jeolojisi; İ.T.Ü. Yayını, İstanbul.
- FUMAGALLI, E., (1974), The Significance of Model Testing in Problems of Foundations and Slopes; Ismes, Bergamo, Italy.
- FUMAGALLI, E., (1968), Statical and Geotechnical Models; Springer-Verlag, New York.
- FUMAGALLI, E., (1968), Model Simulation of Rock Mechanics Problems, Rock Mechanics in Engineering Practice; John Wilay and Sons, London.
- HUDSON, J.A., PRIEST, S.D., (1979), Discontinuities and Rock Mass Geometry; Int. Jur. of Rock Mechanics and Mining Sciences, London.
- ITU. MJKM (1983), İSKİ Haliç Tünel Güzergâhının Mühendislik Jeolojisi ve Kaya Mekaniği raporu; İstanbul.
- ITU. MJKM (1983), İSKİ Fatih-Eyüp-Zeytinburnu Tüneli Güzergâhındaki Kayacların Jeomekanik Özellikleri; İstanbul.
- ITU. MJKM (1986), İSKİ Dolmabahçe-Baltalimanı Güzergâhının Mühendislik Jeolojisi ve Kaya Mekaniği Raporu; İstanbul.
- KETIN, I., GÜNEŞ, G., (1988), İstanbul Bölgesinde Karbonifer Yaşlı Trakya Formasyonunun Yapısal Özelliği, Erguvanlı Sem. İstanbul.
- LANGHAAR, H.L., (1951), Dimensional Analysis and Theory of Models; John Wiley and Sons, London.
- MAHMUTOĞLU, Y., (1988), Catlaklı Kayanın Sekonder Gevşemeye Bağlı Dayanımındaki Azalmanın Arazı ve Laboratuvar Çalışmalarıyla Araştırılması, İTÜ. Fen Bilimleri Enstitüsü, Master Tezi.
- ONAK, A., (1984), Haliç Tüneli Güzergâhının Mühendislik Jeolojisi ve Jeomekanik Parametrelerin Yüzeysel Oturmalarına Etkisi; İTÜ. Fen Bilimleri, Master Tezi.
- PETUKHOW, I.M. and LINKOW, A.M., (1979), The Theory of Post-Failure Deformations and the Problem of Stability in Rock Mechanics; Int. Jur. of Rock Mechanics and Mining Science, London.
- PRICE, A.M. and FARMER, I.W., (1979), Application of Yield Models to Rock; Int. Jur. of Rock Mechanics & Mining Sciences, Oxford.
- ROXBOROUGH, F.F., ESKİKAYA, S., (1974), Dimensional Consideration in the Design of a Scale Model for Coal Face Production System Research; Int. Jur. of Rock Mechanics & Mining Sciences, Great Britain.
- STIMPSON, B., (1979), A New Approach to Simulating Rock Joints in Physical Models; Int. Jur. of Rock Mechanics & Mining Sciences, London.
- VARDAR, M., (1986), Kayaç Anizotropisinin Tünel Boyutlandırılmasına Etkisi; DSİ, Tünellerin Projelendirilmesi ve İnşaatı Semineri, Adana.
- YÜZER, ve VARDAR, M., (1986), Kaya Mekaniği, İTÜ. Vakfı Yayını, İstanbul.
- ZIENKIEWICZ, S., (1979), Rock Mechanics in Engineering Practice; John Wiley and Sons, London.

# MÜHENDİSLİK JEOLJİSİ TÜRK MİLLİ KOMİTESİ ÜYELERİ

|                            |                               |                            |
|----------------------------|-------------------------------|----------------------------|
| AKIN, Nuran                | DİLEK, Remzi Prof. Dr.        | MUT, Taner                 |
| AKLAN, Turhan              | DÖYÜRAN, Vedat Prof. Dr.      | MUTLUTÜRK, Mahmut Dr.      |
| AKMAN, M. Kemal            | DURGUNOĞLU, Turan Prof. Dr.   | OTKUN, Galip Dr.           |
| AKYOL, Erdal               | EĞİN, Dinçer Dr.              | ÖZGÜZEL, Nuri              |
| ALGAN, Melih               | ERCAN, Ahmet Prof. Dr.        | ÖZİŞ, Ünal Prof. Dr.       |
| ALTUĞ, Saydun              | ERDOĞAN, Eray Dr.             | ÖZKER, Ertan               |
| ANIK, Ferruh               | ERDOĞAN, Mustafa Y. Doç. Dr.  | ÖZSAN, H. Aydın            |
| ARAL, Feda                 | ERİŞ, İsmail                  | ÖZTÜRK, Kurultay Prof. Dr. |
| ARIKAN, Alparslan Doç. Dr. | EROSKAY, S. Okay, Prof. Dr.   | SAÇLITÜRE, A. Koray        |
| AŞÇIOĞLU, Erman            | ERTUNÇ, Azlız Prof. Dr.       | SAFA, M. Turgut            |
| ATAOĞLU, Erhan             | GENÇ, Deniz                   | SAĞLAMER, Ahmet, Prof. Dr. |
| AYAN, H. Tamer             | GÖKTEN, Y. Ergun Doç. Dr.     | SARISU, Ali                |
| AYDAY, Can                 | GÖZÜBOL, A. Malik Y. Doç. Dr. | SESÖREN, Atilla Doç. Dr.   |
| BAŞARAN, Tanju             | GÜL, Adnan                    | SOMEL, A. Namık            |
| BARGU, Simav Y. Doç. Dr.   | GÜNAY, Gültekin Prof. Dr.     | SÜMERMAN, Kaler            |
| BAYKAL, Hasan Dr.          | GÜRPINAR, Okay Prof. Dr.      | ŞAMİLGİL, Erman Doç. Dr.   |
| BOYNUKALIN, Suat Dr.       | GÜRSEL, Fatma                 | ŞEKERCİOĞLU, Erdal Dr.     |
| BULUT, Fikri Dr.           | GÜVEN, M. Müfit               | ŞENYUVA, Tahsin            |
| BULUTLAR, Erdal            | GÜZEL, Ahmet Y. Doç. Dr.      | ŞİMŞEK, Orhan              |
| BUZLU, H. Baki             | KALE, Saım                    | TARHAN, Fikret Prof. Dr.   |
| BÜYÜK, Mehmet Dr.          | KARACAN, Ergun Y. Doç. Dr.    | TAŞLICA, A. Hamdi          |
| BÜYÜKKÖSE, Nevzat          | KARAHANOĞLU, Nurhan Doç. Dr.  | TEMİZ, Halit               |
| CANİK, Baki Prof. Dr.      | KARAOĞULLARINDAN, Talip       | TOĞROL, Ergün Prof. Dr.    |
| CORUK, Özkan               | KASAPOĞLU, Erçin Prof. Dr.    | TOPAL, Taner               |
| ÇANLI, Turgut              | KAVLAK, Hikmet                | TOSUN, Hasan               |
| ÇELEBİ, Levent             | KAYA, M. Kenan                | TÜRK, Necdet Doç. Dr.      |
| ÇETİNÇELİK, A. Mesut       | KETİN, İhsan Prof. Dr.        | TÜRKEL, Erçin              |
| ÇETİNER, Levent            | KILIÇ, Recep Y. Doç. Dr.      | TÜYSÜZ, Okan Y. Doç. Dr.   |
| ÇOĞALAN, Hasan Hüseyin     | KILINÇ, Mehmet Dr.            | UĞURLU, Atiye              |
| ÇONCAR, Behiç              | KOCA, M. Yalçın               | ULUSAY, Reşat              |
| DADAŞBİLGE, Kırhan         | KODAMANOĞLU, Tuncer Prof.     | UNAY, Güngör               |
| DALGIÇ, Süleyman           | KORKMAZ, Turgut               | ÜSTÜN, Olgun               |
| DEMİREL, Zeynel A. Dr.     | KOŞAR, Ercan                  | VARDAR, Mahir Prof. Dr.    |
| DEMİRKOL, Cavit Prof. Dr.  | KÖSEOĞLU, Mesut Doç. Dr.      | YEŞİLOĞLU, M. Kemal        |
| DİĞİŞ, Aytaç               | KUMBASAR, Vahit Prof.         | YÜZER, Erdoğan Prof. Dr.   |



## KURUMSAL ÜYELER

- ◆ AFET İŞLERİ GENEL MÜDÜRLÜĞÜ  
LODumlu - ANKARA
- ◆ ANKARA ÜNİVERSİTESİ  
FEN FAKÜLTESİ - ANKARA
- ◆ BOTEK A.Ş.  
MASLAK İŞ MERKEZİ - İSTANBUL
- ◆ ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ MÜH. MİM. FAKÜLTESİ  
BALCALI - ADANA
- ◆ DSI GENEL MÜDÜRLÜĞÜ  
YÜCETEPE - ANKARA
- ◆ Eİİ GENEL MÜDÜRLÜĞÜ  
ESKİŞEHİR YOLU 7. km - ANKARA
- ◆ ESAN A.Ş.  
KARTAL - İSTANBUL
- ◆ EVRE MÜHENDİSLİK  
ZİNCİRLİKUYU - İSTANBUL
- ◆ HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ KARST ARAŞTIRMA MERKEZİ  
BEYTEPE - ANKARA
- ◆ HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ  
BEYTEPE - ANKARA
- ◆ İLLER BANKASI GENEL MÜDÜRLÜĞÜ  
ULUS - ANKARA
- ◆ İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ MADEN FAKÜLTESİ  
AYAZAĞA - İSTANBUL
- ◆ İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ  
VEZNECİLER - İSTANBUL
- ◆ KARAYOLLARI GENEL MÜDÜRLÜĞÜ  
YÜCETEPE - ANKARA
- ◆ KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ MÜHENDİSLİK - MİMARLIK FAKÜLTESİ  
TRABZON
- ◆ JEOLJİ MÜHENDİSLERİ ODASI  
KIZILAY - ANKARA
- ◆ MADEN İHRACATÇILARI BİRLİĞİ  
HARBİYE - İSTANBUL
- ◆ MTA GENEL MÜDÜRLÜĞÜ  
ANKARA
- ◆ TEMEL ARAŞTIRMA A.Ş. STFA GURUBU  
ALTUNIZADE - İSTANBUL
- ◆ TÜRK YTONG A.Ş.  
PENDİK - İSTANBUL