



MÜHENDİSLİK JEOLJİSİ

TÜRK MİLLİ KOMİTESİ

BÜLTENİ

14¹⁴
SAYI
MART
1993
VIL

İÇİNDEKİLER

- ♦ MÜHENDİSLİK JEOLJİSİ TÜRK MİLLİ KOMİTESİ 1993
- ♦ LİTOLOJİK VE YAPISAL ÖĞELERİN ATATÜRK BARAJINDAKİ YERALTI KAZIKLARINA ETKİSİ
EFFECTS OF LITHOLOGICAL AND STRUCTURAL FACTOR ON THE UNDERGROUND EXCAVATIONS IN ATATÜRK DAM CONSTRUCTIONS
- ♦ İSTANBUL METROSU ARAŞTIRMA GALERİSİ ÖRNEĞİNDE İN-SİTU DAYANIM İLE İTÜ MJKM SINIFLAMASI
IN-SITU STRENGTH AND İTÜ-MJKM ROCK CLASSIFICATION OF THE İSTANBUL METRO PROJECT INVESTIGATION GALLERY
- ♦ İSTANBUL VE DOLAYININ YAPAY AGREGA POTANSİYELİ
SYNTHETIC AGREGATE POTANTIAL OF İSTANBUL AND AROUND
- ♦ YAPAY YAMAÇ TASARIMI VE KİNEMATİK İNCELEME
CUT SLOPE DESIGN AND KINEMATIC ANALYSIS
- ♦ MÜHENDİSLİK ÇALIŞMALARINDA SÜREKSİZLİK ARAŞTIRMALARININ ÖNEMİ
SIGNIFINANCE OF DISCONTINUITY SURVEY IN ENGINEERING WORKS
- ♦ ESKİŞEHİR OVASI YERALTISUYUNDAKİ NİTRAT KİRLİLİĞİNİN İNCELENMESİ
INVESTIGATION OF THE NITRATE POLLUTION IN GROUND WATER IN ESKİŞEHİR PLAIN
- ♦ GROSSE DHÜNN BARAJI EKSEN YERİ ENJEKSİYON ÇALIŞMALARI
ENJECTION WORKS IN THE GROSSE DHÜNN DAM AXIS
- ♦ HAFİF SU YAPILARI AÇISINDAN ŞİŞEN KİLLERİN ÖNEMİ VE BİR UYGULAMA
IMPORTANCE OF EXPENSIVE SAIL FOR LIGHT HYDRAULIC STRUCTURES AND CASE STUDY
- ♦ HİDROJEOLJİK ARAŞTIRMALARDA YÜKSEKLİK VE SÜREKSİZLİK ETKENLERİ
THE ATTITUDE AND DISCONTINUITY FACTORS IN HYDROGEOLOGY
- ♦ KILIÇKAYA BARAJI (Sivas) GÖL ALANINDAKİ HEYELANLARIN MÜHENDİSLİK JEOLJİSİ İNCELEMESİ
ENGINEERING GEOLOGICAL INVESTIGATION OF THE LANDSLIDES OF KILIÇKAYA DAM RESERVOIR AREA
- ♦ TÜNELLERDE YERALTISUYU VE YERALTISUYU HAREKETLERİ
GROUNDWATER IN TUNNELS AND GROUNDWATER MOVEMENT

A. UĞURLU
O. GÜRPINAR

M. VARDAR
H. BAYRAKTAR

M. ERDOĞAN

İ. YILMAZER
A. ERTUĞ
Ş. KAYA

İ. YILMAZER
F. ERHAN
T. DUMAN
E. AYTEKİN

F. KAÇAROĞLU

R. KARAGÜZEL

H. TOSUN

İ. YILMAZER

E. KARACAN
F. ARAL
O. CERİT

T. SAFA

İSTANBUL

MÜHENDİSLİK JEOLJİSİ TÜRK MİLLİ KOMİTESİ YÖNETİM KURULU

Başkan : Prof. Dr. Erdoğan YÜZER (İ.T.Ü. MADEN FAK. - 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. Dr. Erdal ŞEKERCİOĞLU (DSİ - 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 KASAPPOĞLU (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 34850 AVCILAR - İSTANBUL

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

İÇİNDEKİLER

- ♦ MÜHENDİSLİK JEOLJİSİ TÜRK MİLLİ KOMİTESİ 1993
- ♦ LİTOLOJİK VE YAPISAL ÖĞELERİN ATATÜRK BARAJINDAKİ YERALTI KAZIKLARINA ETKİSİ
EFFECTS OF LITHOLOGICAL AND STRUCTURAL FACTOR ON THE UNDERGROUND EXCAVATIONS IN ATATÜRK DAM CONSTRUCTIONS
A. UĞURLU
O. GÜRPINAR
- ♦ İSTANBUL METROSU ARAŞTIRMA GALERİSİ ÖRNEĞİNDE İN-SİTU DAYANIM İLE İTÜ MJKM SINIFLAMASI
IN-SITU STRENGTH AND İTU-MJKM ROCK CLASSIFICATION OF THE İSTANBUL METRO PROJECT INVESTIGATION GALLERY
M. VARDAR
H. BAYRAKTAR
- ♦ İSTANBUL VE DOLAYININ YAPAY AGREGA POTANSİYELİ
SYNTHETIC AGREGATE POTANTIAL OF İSTANBUL AND AROUND
M. ERDOĞAN
- ♦ YAPAY YAMAÇ TASARIMI VE KİNEMATİK İNCELEME
CUT SLOPE DESIGN AND KINEMATIC ANALYSIS
İ. YILMAZER
A. ERTUNÇ
Ş. KAYA
- ♦ MÜHENDİSLİK ÇALIŞMALARINDA SÜREKSİZLİK ARAŞTIRMALARININ ÖNEMİ
SIGNIFINANCE OF DISCONTINUITY SURVEY IN ENGINEERING WORKS
İ. YILMAZER
F. ERHAN
T. DUMAN
E. AYTEKİN
- ♦ ESKİŞEHİR OVASI YERALTISUYUNDAKİ NİTRAT KİRLİLİĞİNİN İNCELENMESİ
INVESTIGATION OF THE NITRATE POLLUTION IN GROUND WATER IN ESKİŞEHİR PLAIN
F. KAÇAROĞLU
- ♦ GROSSE DHÜNN BARAJI EKSEN YERİ ENJEKSİYON ÇALIŞMALARI
ENJECTION WORKS IN THE GROSSE DHÜNN DAM AXIS
R. KARAGÜZEL
- ♦ HAFİF SU YAPILARI AÇISINDAN ŞİŞEN KİLLERİN ÖNEMİ VE BİR UYGULAMA
IMPORTANCE OF EXPENSIVE SAIL FOR LIGHT HYDRAULIC STRUCTURES AND CASE STUDY
H. TOSUN
- ♦ HİDROJEOLJİK ARAŞTIRMALARDA YÜKSEKLİK VE SÜREKSİZLİK ETKENLERİ
THE ATTITUDE AND DISCONTINUITY FACTORS IN HYDROGEOLOGY
İ. YILMAZER
- ♦ KILIÇKAYA BARAJI (Sivas) GÖL ALANINDAKİ HEYELANLARIN MÜHENDİSLİK JEOLJİSİ İNCELEMESİ
ENGINEERING GEOLOGICAL INVESTIGATION OF THE LANDSLIDES OF KILIÇKAYA DAM RESERVOIR AREA
E. KARACAN
F. ARAL
O. CERİT
- ♦ TÜNELLERDE YERALTISUYU VE YERALTISUYU HAREKETLERİ
GROUNDWATER IN TUNNELS AND GROUNDWATER MOVEMENT
T. SAFA

Bilindiği gibi Komitemiz (MJTMK), Mühendislik Jeolojisinin ülkemizde ve dünyada ulaştığı boyutları, gerek düzenlediği bilimsel toplantılarla, gerekse bültenimizde yayınlanan makalelerle sizlere duyurmak gayreti içindedir. Bu amaçla, 21-23 Mayıs 1992 tarihlerinde Komitemizle, Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi "3. Mühendislik Jeolojisi Sempozyumu"nu birlikte düzenlediler. Çukurova Üniversitesinin ev sahipliğinde yapılan bu sempozyuma Üniversitelerimiz ve Uygulamalı kuruluşlarımızdan çok sayıda konuşmacı ve izleyici katıldı. Mühendislik Jeolojisinin, baraj, tünel, metro, yeraltısuyu, yamaç duraylılığı malzeme gibi çeşitli konularının tartışıldığı bu sempozyumun sonunda TEKFEN-IMPRESİT Ortak Girişimi tarafından yapılmakta olan Tarsus-Adana-Gaziantep (TAG) Otoyolu güzergahında gelişen heyelanlar ve dolaylarına bir teknik gezi düzenlendi. Bölgenin ilgi çekici jeolojisinin yanı sıra, insanın doğaya denetimsiz girişimleri sonucunda gelişen, istenmeyen olayların ve bunlara karşı alınan önlemlerin izlendiği bu gezi, katılanların beğenisi ile karşılandı.

Sempozyumda sunulan bildirilerden oluşan bu bültenimiz Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesinin ve Yurt Madenciliğini Geliştirme Vakfı ERGUVANLI Bilimsel Araştırma Fonu'nun değerli katkıları ile çıkmıştır. Bu olanağı Komitemize sağlayan Çukurova Üniversitesinin Rektörü (önceki) Prof.Dr. Sayın Mithat ÖZHAN ve Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dekanı Prof.Dr. Sayın Aziz ERTUNÇ ile Yurt Madenciliğini Geliştirme Vakfı'na teşekkürlerimizi sunarız.

Geçtiğimiz yılın önemli bir bilimsel olayı da "1.ERGUVANLI Mühendislik Jeolojisi Kollokyumu" nun 16 Kasım 1992 tarihinde İTÜ Maden Fakültesinde Komitemiz tarafından düzenlenmesi olmuştur.

Hocamızın adını yaşatmak, sevgimizin sıcaklığını korumak, onun öncülüğünde başlayan ve giderek gelişen Mühendislik Jeolojisi çalışmalarında uygulanan yeni teknolojileri ve yeni ilgi alanlarını belirleyerek, kaliteli bir tartışma ortamını yaratmak amacı ile düzenlenen bu toplantıya 60 dolayında katılım olmuş ve 9 bildiri sunulmuştur. 2 sene aralıklarla tekrarlanacak olan

ERGUVANLI Kollokyumlarına Mühendislik Jeolojisi konusunda ulusal ve uluslararası alanda deneyime ulaşmış bilim ve meslek adamları tarafından bir konferansla başlanması geleneğinin oluşturulmasına, Komitemizce karar verilmiştir. İlk Kollokyum, Sayın Hocamız Prof.Dr. İhsan KETİN'in "Mühendislik İşlerinde Jeolojinin Rolü" konulu konferansı ile başlamış, konferans sonunda kendilerine Komitemizin bir şükran plaketi sunulmuştur.

Mühendislik Jeolojisi konusunda hazırlanarak Komitemize sunulan, Bitirme Ödevi, Y.Lisans Tezi ve Doktora Tezleri arasından seçilecek olanlara, "ERGUVANLI MÜHENDİSLİK JEOLojisi ÖDÜLLERİ", bu yıl 21 Mayıs 1993 tarihinde Ankara'da toplanacak olan Genel Kurul toplantımızda verilecektir.

Değerli Meslekdaşlarımız,

Ülkemiz Mühendislik Jeolojisi çalışmalarının Uluslararası alanda duyurulmasının, meslekdaşlarımızın yine bu alanda karşılıklı ilişkilere girmesinin önemi, tartışılmayacak kadar açıktır. Ancak, özelikle son yıllarda, Uluslararası Mühendislik Jeolojisi Birliği tarafından düzenlenen çeşitli bilimsel toplantılara katılım ya çok sınırlı sayılarda kalmış, ya da hiç olmamıştır. Bu istenmeyen durumun, parasal kaynaklara dayalı haklı nedeni bilinmekle birlikte, bu suskunluğun Türkiye'de Mühendislik Jeolojisi ile uğraşanlara giderek getireceği yalnızlık düşünüldüğünde, bugünlerden daha farklı ve özverili bir davranış içine girmemizin zorunluluğu da ortaya çıkmaktadır. Öncelikle üyesi olduğumuz Uluslararası bülten olmak üzere, mesleğimizle ilgili yabancı dillerde yayınlanan diğer dergilerde yayın yapmayı ve düzenlenen toplantılara katılmayı, tüm üyelerimizden bekliyoruz.

Mühendislik Jeolojisinin ülkemizde yürütülmekte olan baraj, tünel, metro, otoyol gibi çok önemli yapılarında uygulayıcısı durumunda olmaktan gurur duyduğumuz tüm meslekdaşlarımıza, başarılı çalışmalarını bir an önce ulusal ve uluslararası düzeyde duyurmaları çabası içinde görmek dileği ile, selam ve saygılarımızı sunarız.

Mühendislik Jeolojisi
Türk Milli Komitesi
Yönetim Kurulu

LİTOLOJİK VE YAPISAL ÖĞELERİN ATATÜRK BARAJINDAKİ YERALTI KAZILARINA ETKİSİ

EFFECTS OF LITHOLOGICAL AND STRUCTURAL FACTORS ON THE UNDERGROUND EXCAVATIONS IN ATATÜRK DAM CONSTRUCTION

Atiye UĞURLU *

Okay GÜRPINAR **

ÖZ: Yeraltı kazılarının stabilitesinde etkin temel faktörler litoloji ve süreksizliklerdir. Galerilerin içinde açıldığı kayanın litolojik özellikleri yanında süreksizliklerin; konum, geometri ve ilişkileri ortamın davranışını belirlerler.

Araştırmalar, Atatürk barajının sol sahilinde geçirimsiz perde oluşturmak amacıyla dört kademede açılan L1 ve L3A enjeksiyon galerilerinde gerçekleştirilmiştir. L1 enjeksiyon galerisinin kazı çapı 4.10 metre ve uzunluğu 1115 metredir. Yatay konumda olan bu galeri üzerindeki örtü kalınlığı 15-75 metre arasında değişmektedir. L1 çıkış ağzından itibaren güneye doğru % 11 eğimle yaklaşık 100 metre aşağıda bulunan L3 galerisiyle bağlantılı olan L3A galerisi ise 4.10 metre çapında ve 998 metre uzunluğundadır.

Bu araştırmada; sözü geçen enjeksiyon galeri güzergâhlarında yer alan kayaların litolojik ve yapısal özelliklerinin bu galerilerde oluşturduğu veya oluşturması muhtemel mühendislik problemleri nedenleri ile ortaya konulmaktadır.

ABSTRACT: *Lithology and discontinuities are the effective factors on the stability problems encountered during the underground excavations. Besides the lithological properties of the rock which the gallery is excavated through, the orientation and the geometry of the discontinuities and the relationship between these structures define the behaviour of the environment.*

The diameter and the length of the L1 Grouting gallery which was excavated in four stages to construct an unpermeable curtain are respectively 4.10 metres and 1115 metres. The thickness of the overburden which lies horizontally over the L1 gallery varies from 15-75 metres. The L3A Gallery starts from the mouth of gallery L1 inclines to the South with 11 % slope and connects the L1 gallery to the L3 Gallery which is in 100 metres lower level than L1. Diameter of this L3A gallery is 4.10 metres and it has a length of 988 metres.

Properties of lithology and discontinuities along the alignment of grouting galleries mentioned above are evaluated together based on this evaluation, existing and future engineering problems in these galleries are discussed in this research .

*Araş.Gör.Yük.Müh.İ.Ü.Müh.Fak.Uygulamalı Jeol.Anabilim Dalı, Avcılar / İST.

**Prof.Dr.İ.Ü.Müh.Fak.Uygulamalı Jeol.Anabilim Dalı, Avcılar / İST.

1- GİRİŞ

Atatürk Barajı, Şanlıurfa İli'nin yaklaşık 62 km kuzey-batısında yer almaktadır. Yörede doruklar KB-GD gidişli ve birbirine paralel sıralanmıştır. Ana yapı unsurları ve litoloji morfolojisi denetlenmiştir.

Baraj yeri ve dolayındaki en yaşlı birim Üst Kretase'-ye ait dolomitik kireçtaşlarından oluşan Karababa formasyonudur. Bu formasyonun alt düzeylerinde yüksek olan dolomit oranının üst düzeylere doğru azalmasıyla birlikte Üst Kretase yaşlı, killi kireçtaşlarından oluşan Karaboğaz Formasyonuna geçilir. Bu formasyonun da alt seviyeleri karbonatça zengin olup üst seviyelere doğru kil miktarında artma vardır. Böylece karbonatlı kiltası, kiltası, kumtaşı ve killi kireçtaşı ardalanması ile temsil edilen Üst Kretase - Paleosen yaşlı Germav Formasyonuna geçiş görülür. Bunun üzerinde uyumlu olarak yer alan Eosen - Miyosen yaşlı Midyat Formasyonu ise tebeşirli - resifal kireçtaşlarından oluşmaktadır. Pliyosen'e ait gevşek tutturulmuş karasal çökeller ise yöredeki daha yaşlı birimler üzerinde diskordanslıdır.

Yoğun süreksizlikler içeren killi kireçtaşlarında açılan L1 ve L3A galerilerinde stabilitenin sağlanması için kaya ortamının ayrıntılı tanımlanması gereği doğmuştur. Bu amaçla litoloji ve yapı unsurları birlikte değerlendirilerek, galerinin stabilitesine etkileri ortaya konulmuştur.

2 - L1 VE L3A GALERİ GÜZERGAHLARINDAKİ LİTOLOJİ DEĞİŞİMİ

Atatürk Baraj gövdesinin oturduğu kesim yaklaşık olarak Karaboğaz Formasyonunun orta düzeylerine denk gelmektedir. L1 ve L3A galerilerinin her ikisinde Karaboğaz Formasyonuna ait killi kireçtaşlarının üst seviyelerinde açılmıştır. Yüzeyde L3A galerisinin dönüş kısmına yakın kesiminin Germav Formasyonuna ait karbonatlı kilttaşlarından oluştuğunun belirlenmesine rağmen galeri açımı sırasında derlenen numunelerden bu birimin galeri kotuna inmediği görülmüştür. Bunun yanı sıra galeri güzergâhlarında yer alan kayalardan yüzeyden ve yeraltından derlenmiş numuneler üzerinde kimyasal ve petrografik analizler yapılmıştır. Buna göre numuneler kil, karbonat ve kırıntı içeriklerine göre Fookes ve Higginbottom (1975)'ten değiştirilerek hazırlanmış üçgen diyagrama göre sınıflanmıştır. Bu verilere göre L1 galeri güzergâhı doğusunun çoğunlukla kireçtaşları, batısının killi kireçtaşları, çok kısıtlı bir alanın ise kumlu kireçtaşları ile temsil edildiği belirlenmiştir. L3A galerisinin L1 galerisine yakın kesimleri kireçtaşı, orta kesimleri killi kireçtaşı ve kumlu kireçtaşı, dönüş kısmına yakın kesiminin ise

karbonatlı kiltaşları ile temsil edildiği görülmüştür (Şekil 1).

Bunların yanında özellikle karstlaşmaya ışık tutmak amacıyla, yine kimyasal analizlere dayanarak güzergâh boyunca yer alan kayaların karbonat yüzdelerinin değişimlerini gösteren bir harita hazırlanmıştır (Şekil 2). Bu haritada da galeri güzergâhlarında yer alan kayaların büyük çoğunluğunun %70'in üzerinde karbonat içerdiği görülmüştür. Daha sonra galeri açımı ile birlikte karstlaşmanın bu alanlarda gelişim gösterdiği tespit edilmiştir.

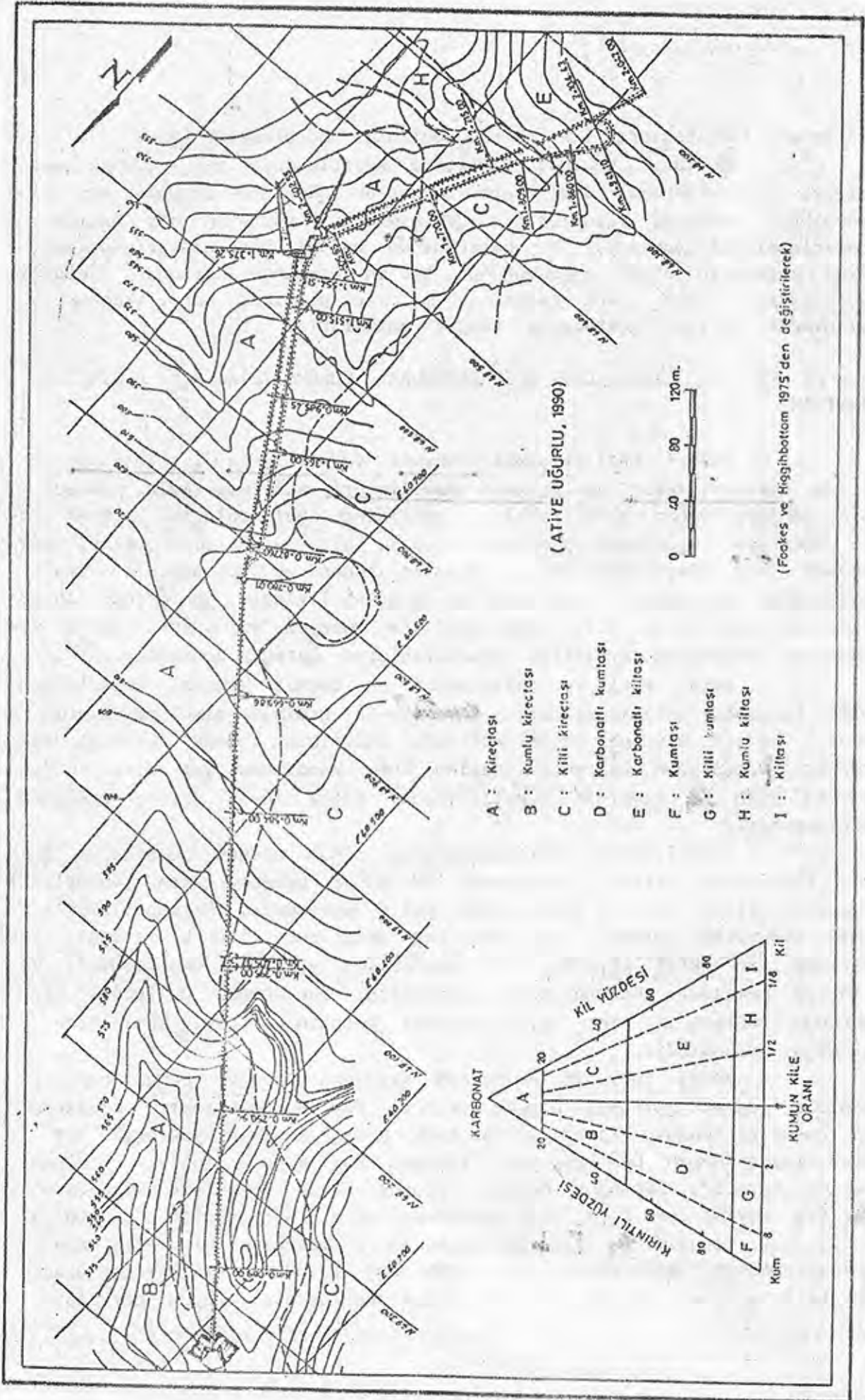
3 - L1 VE L3A GALERİLERİ GÜZERGAHINDAKİ SÜREKSİZLİKLERİN AYRINTILI TANITIMI

Galeri kazılarındaki emniyet ve maliyete litolojinin yanında süreksizlikler ve ortamın özellikleri etkilemektedir. Galerî güzergâhları çoğun aynî litoloji içerisinde bulunmalarına rağmen yapı unsurları açısından genelde karmaşık bir durum sergilerler. Düzlemsel yada düzlemsel yakın yüzeyler sunan ve bu sebeple kaya kütlelerinde anizotropi oluşturan bu süreksizliklerin, galerinin stabilitesine etkilerini belirlemek amacıyla yüzeyde ve galeri açımı sırasında yeraltında ayrıntılı araştırmaların gereği doğmuştur.

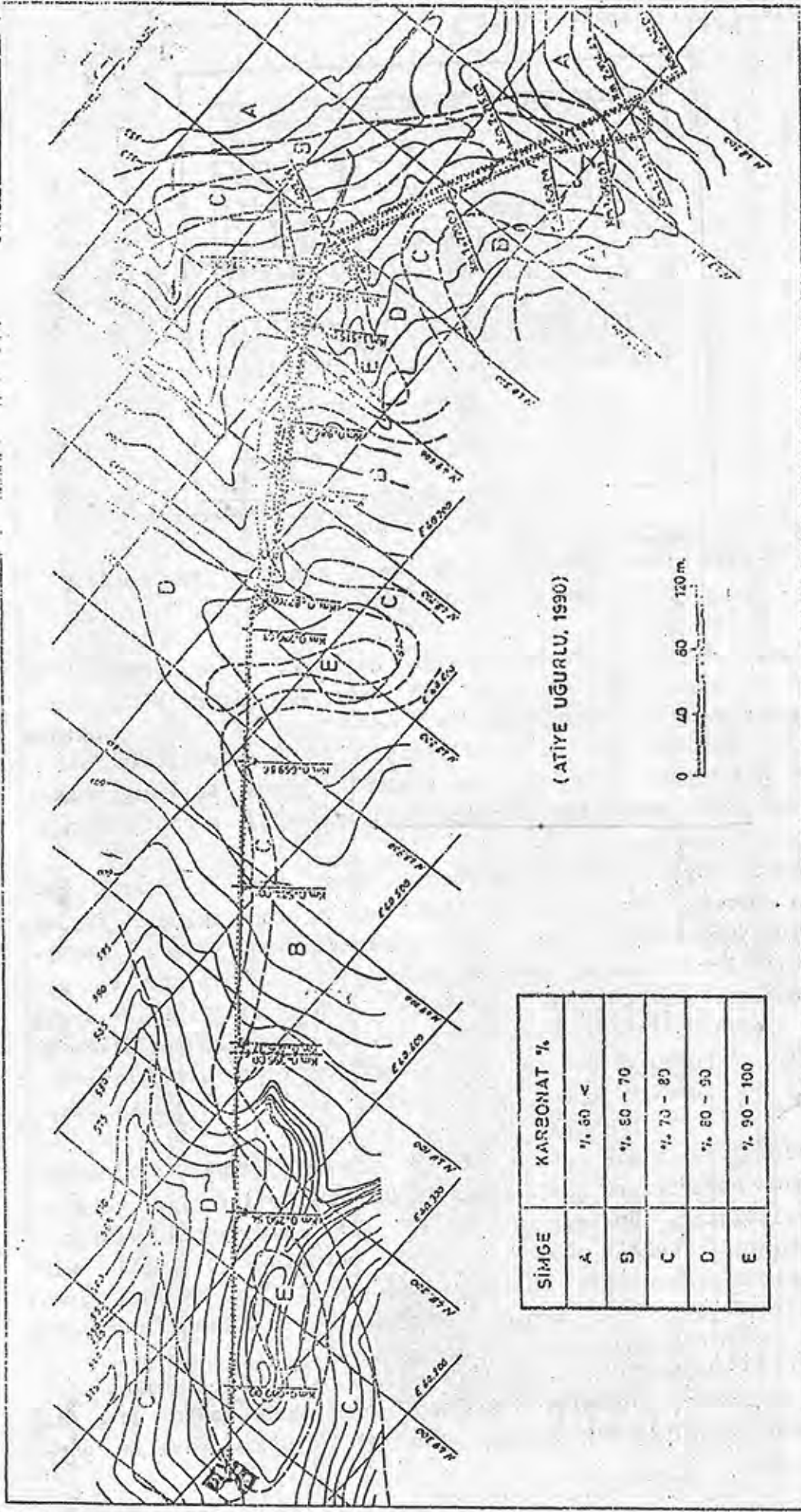
Baraj yeri ve dolayındaki en önemli yapısal unsurlardan biri Karababa antiklinalidir. ~~Kuvaterner~~ NW-SE gidişli olan bu kıvrım eksenî harita alanını enine kateder. Galerinin içinde açıldığı Karaboğaz Formasyonu bu antiklinalin güney kanadında yer alır. Çoğun yayvan olan ~~bu~~ kıvrımın kanatlarındaki eğimi 10-30 derece arasında değişmektedir.

Kalınlıkları, kil miktarının yoğun olduğu düzeylerde 3-10 cm, karbonatın arttığı kesimlerde 50 cm'ye ulaşan katman yüzeyleri; yüzeyde Little (1969)'a göre çoğun hafif ayrışmalı, Piteau (1970)'e göre ise orta pürüzlü olup yer yer oksitlenme ile kahverengi, yeraltında ise hafif pürüzlü, kil sıvanmalı, yer yer oksitlenmeli ve oldukça nemlidir. Katman yüzey geometrisi ise çoğun düzlemsel bir görünüm sunmasının yanı sıra yüzeyel karstın arttığı kesimlerde oldukça düzensizdir.

Baraj yeri ve dolayında iki ana fay ve çoğun bunlara bağımlı olarak gelişmiş birçok ikincil fay bulunmaktadır. Bunlardan en önemlisi Bozova fayıdır. Atatürk Baraj aksının yaklaşık 1km mansabından geçen bu fay, aynı zamanda söz konusu galeri güzergâhlarını kateder. Karababa Boğazı boyunca NW-SE doğrultusunda uzanan ~~bu~~ fay normal ve ters atım bileşeni olan, sağ yönlü doğrultu atımlı bir faydır. ~~bu~~ Fayda yaklaşık 50-60 metrelik bir ezik zon geliştirmiştir. Kireçtaşları bu ezik zon içindeki kırıkların arasında blok şeklinde kalmış ve bu kırıklara paralel büyük boyutlarda

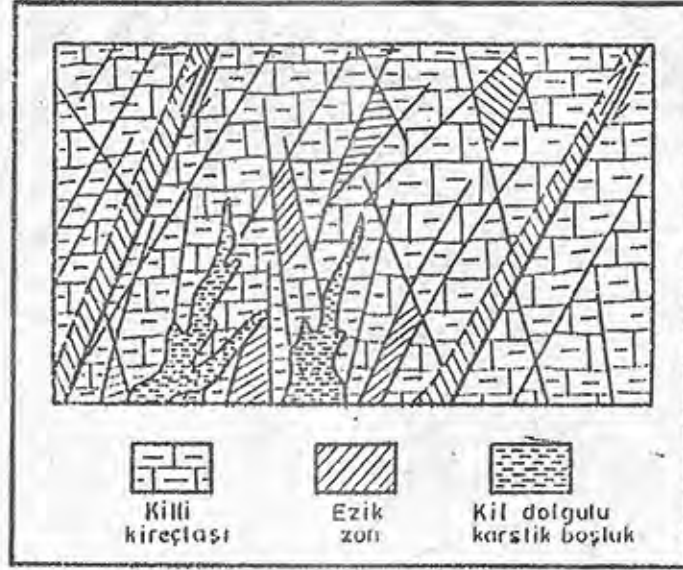


Şekil 1 - L1 ve L3A Galerisi güzergâhlarındaki kayaların litofasiyes haritası



Şekil 2 - L1 ve L3A Galerî güzergâhlarındaki kayaların % karbonat haritası

erime boşlukları gelişmiştir (Şekil 3).



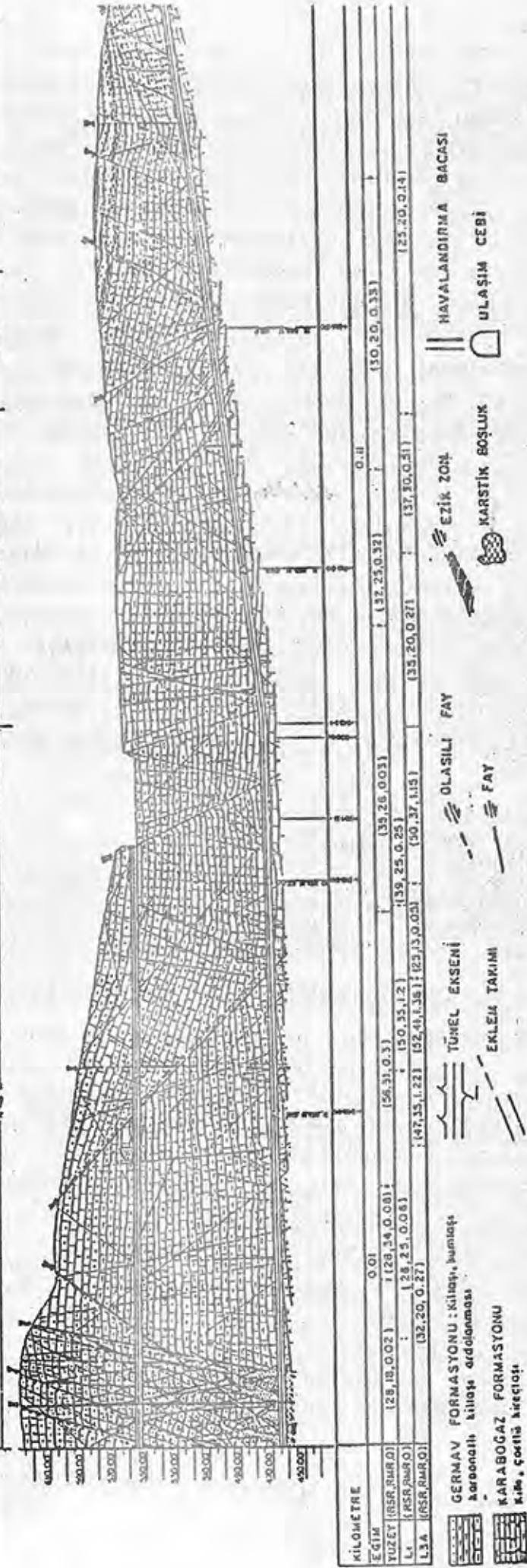
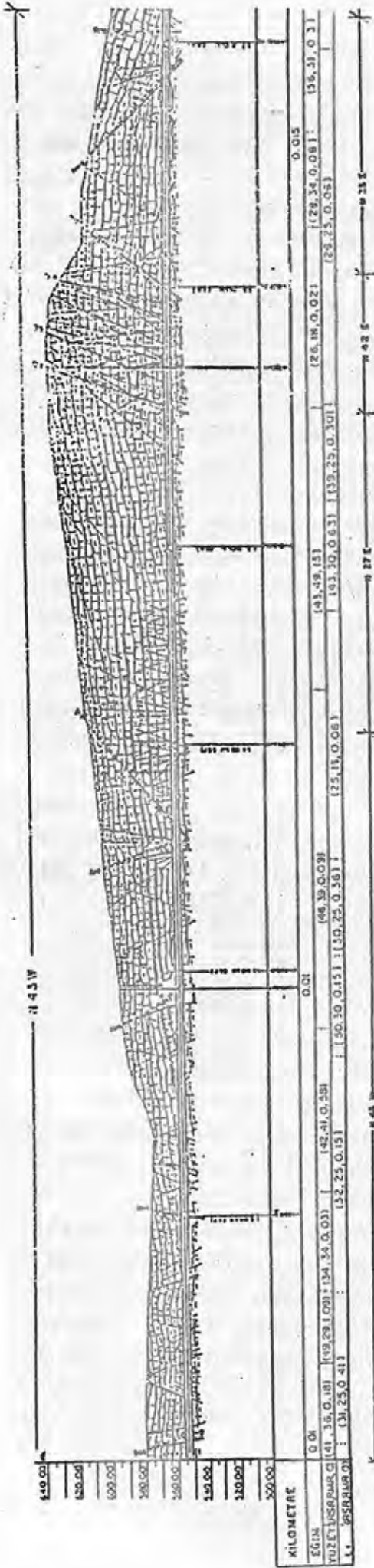
Şekil 3 - Bozova fayı etkisiyle gelişmiş kırıklar ve karstik boşlukların taslak görünümü

Bozova fayına paralel olarak gelişmiş ikinci önemli fay ise Çeviktepe fayıdır. Bozova fayı ile aynı karaktere sahip bu fay, galeri güzergâhlarını kesmemektedir. Ancak bu iki fay arasında oldukça kırıklı tektonik bir zon gelişmiştir. L1 galerisinin bir bölümü ile L3A galerisinin tümünün bu tektonik zonda açılması nedeniyle buralarda özel stabilite önlemlerinin alınması gereği doğmuştur.

Bozova fayı ile birlikte çoğun buna bağımlı olarak gelişmiş paralel olarak sıralanan ve ezik zon içeren ikincil faylar gelişmiştir. Yüzeyde kesin olarak belirlenememelerine rağmen, yeraltında tüm özellikleri açıkça görülen bu fayların konumları ve kayada oluşturdıkları deformasyon özellikleri çoğun biribirinin aynıdır. Bunların yanında farklı evrelerde, farklı mekanizmalar ile gelişmiş faylarda mevcuttur. Bu faylar boyunca genelde bir açıklık gelişmiş olup, bu açıklık çoğun kil, kalsit v.b. ile doldurulmuştur.

Sıkışma rejiminin etkin olduğu alanda, katman düzlemleri boyunca birtakım hareketler gözlenmiştir. Bu hareketler ile kaya dilinimleri gelişmiştir. Bunları kesen bir çok eklem gözlenmiştir. Galeri güzergâhlarını kesen büyük ve küçük boyuttaki birincil eklem takımları yanında çoğun fay düzlemlerine yaklaştıkça sayısal artış gösteren, farklı karakterlere sahip sistemli veya sistemsiz gelişmiş ikincil eklem takımları da mevcuttur.

Killi kireçtaşları bileşimlerinin yanısıra tektonizma etkileri altında kazanmış oldukları değişen yoğunlukta makro veya mikro ölçekteki süreksizliklerden dolayı güzergâh boyunca yayılım gös-



Şekil 4 - Sol sahil L1 ve L3A Enjeksiyon galerilerinin boyuna kesitleri ve kaya kütle niteliği sınıflamaları

teren bünye özellikleri birbirinden farklı kaya topluluklarını oluşturmaktadır. Dolayısıyla özellikle Bozova ve Çeviktepe fayları arasında kalan tektonik zon içerisinde karbonat oranının arttığı kesimlerde kireçtaşı ilksel bünye özelliklerini yer yer korumalarına rağmen, kil oranının arttığı kesimlerde çoğun birincil bünye özelliğini yitirerek parçalanmış kaya görünümünü almıştır.

Yüzeyde gözlemlenen birçok fay, eklem ve kırık yeraltında da devam eder ve galerileri değişik açılarla keser (Şekil 4). Yüzeydeki kaya özelliklerinin yeraltına doğru değişimlerinin kantitatif olarak belirlenmesi ve bunun yanında gerekli destekleme sistemlerinin önerilmesi amacıyla yüzey ve yeraltında RSR, RMR ve Q sınıflama sistemleri uygulanmış olup bunların neticesinde yüzeydeki sınıflama değerlerinin yeraltına doğru büyük değişim göstermediği görülmüştür (Gürpınar ve Uğurlu, 1992).

Yüzeyde ~~gözlenen~~ gözlenen kırıkların bazıları sadece yüzeyeldir. Bunlar söz konusu güzergâhtaki killi kireçtaşlarının atmosferik etkilerden etkilenmeleri ile oluşmuş eklemlerdir. Bu tür eklemlerin birkaç metre, yer yer birkaç santimetreden derine inmedikleri gözlenmiştir. Bu tür eklemler herhangi bir takım oluşturmamalarından dolayı diğerlerinden kolaylıkla ayırt edilebilirler. Ayrıca derinde patlatma etkisi ile gelişen eklemlerde mevcuttur. Bu tür eklemlerin ayırtma özellikleri, takım oluşturmamaları, işinsal geometri sunmaları ve yüzeylerinin herhangi bir alterasyona uğramamalarıdır.

L1 ve L3A galeri güzergâhlarında yer alan kayalar Deere (1963)'e göre çok sık, sık ve orta eklemlidir. Eklem yüzeylerinin pürüzlülükleri ise Piteau (1970)'e göre çoğun hafif ve orta pürüzlüdür. Kayaların ayrışma dereceleri ise Little (1969)'a göre hafif ve orta dereceli ayrışmalıdır.

4 - L1 VE L3A GALERİLERİ GÜZERGAHINDAKİ YÜZEY VE YERALTI SUYU DURUMU

L1 ve L3A galerileri yeraltı su seviyesinin üzerinde açılmışlardır. Bu yüzden bu güzergâhlar boyunca önemli derecede su sorunlarına rastlanılmamıştır. Ancak L3A galerisinin dönüş kısmı civarında oldukça fazla su gelişimleri sebebiyle galeri açımı yoğun destekleme ile sürdürülmüştür. Ayrıca bu suyun galeri dışına aktarılması birtakım güçlükler doğurmuştur. Ancak bir süre sonra bu zondaki büyük su gelişimleri durmuştur. Bu sebeple bu zon üzerinde askılı su tablasının varlığı kanaatine varılmıştır.

Güzergâhın tümünü oluşturan killi kireçtaşlarının alt seviyelerinde karstlaşma yoğun olup kil oranının arttığı üst seviyelerde ise oldukça zayıftır. Fay zonları ve diğer süreksizlik dök-

lemleri yüzey suyunu doyum zonuna ulaştırmada yoğun bir yeraltı drenajı oluşturmuştur. L1 galerisinde süreksizlik düzlemleri boyunca debileri 0,2-0,5 lt/sn arasında değişen kaynaklara rastlanılmıştır.

5 - LİTOLOJİK VE YAPISAL ÖĞELERİN L1 VE L3A GALERİ KAZILARINA ETKİSİ

Galeri güzergâhlarında, litoloji ve süreksizliklerden kaynaklanan stabilite sorunları şöyle sıralanabilir.

Galeri güzergâhları boyunca katman eğimlerinin 10-30° olması yer yer galeri tavanında her an düşmesi muhtemel kütleler oluşturmuştur. Bu kesimlerde dengesiz bir durum sergileyen kayaların bulonlar ve diğer destekleme önlemleri ile sabitleştirilmeleri gerekmiştir. Ayrıca katman yüzeylerinin su v.b. etkiler ile ayrılmış, oksitlenmiş olmasının yanı sıra yer yer kil sıvanmalı oluşu bu yüzeylere kaygan bir özellik kazandırmıştır.

Galerileri kateden Bozova fayı ve çoğun buna bağlı olarak gelişmiş faylar galerilerin stabilitesini önemli derecede etkilemektedir. L1 galerisinin ayna kazısı sırasında NW-SE doğrultulu, NE'ye eğimli bir fayın etkisi ile killi kireçtaşları alterasyona uğramış ve yer yer toprağımsı bir nitelik kazanmıştır. Bu zonda kazma-kürek yardımı ile ilerleme gerçekleştirilmiştir. L3A galerisinin girişinde ise aynaya doğru kesişen iki fayın kayma düzlemi üzerinde bulunması özellikle bu galerinin başlangıç kazısında patlatma sonrası kaya yapısında büyük boşalmalara neden olmuştur. Bunların yanında Bozova fayı boyunca gelişen ezik zonun geçirimli olması yeraltı suyunun dolaşımını kolaylaştırmış ve dolayısıyla içsel sürtünmeyi azaltmasının yanı sıra bu fay zonu boyunca büyük erime boşluklarının oluşumuna neden olmuştur.

Galeri güzergâhları boyunca kayalarda gözlemlenen sistemli eklemler ile gelişigüzel dağılmış eklemler bu güzergâhların değişik kilometrelerinde farklılıklar kazanmıştır. Fay düzlemlerine yaklaştıkça sayısal artış gösteren eklemler; sıklık, açıklık, pürüzlülük v.b. gibi jeoteknik özelliklerine bağımlı olarak farklı önemde stabilite sorunları doğurmuşlardır.

Eklemler boyunca sızan sular eklem yüzeylerini ayrıştırmasının yanı sıra özellikle karbonat yüzdesinin arttığı kesimlerde erime boşluklarını geliştirmiştir. Ayrılmış yüzeyler çoğu kez tayan olan veya yan duvarlardan kaya düşmelerine sebep olmuştur. Bunların yanında eklem sistemlerinin kesişmesi patlatma sonrası zaman zaman galeri çapının istenilen değerin üzerine çıkmasını doğurmuştur.

6 - SONUÇ VE ÖNERİLER

Güzergâh boyunca görülen kireçtaşlarında, daha sonra geçirmiş oldukları tektonik evrimde etkin kuvvet rejimi ile belirli bir açı oluşturan ve lokasyonlara farklı yoğunlukta eklemler, kırıklar, faylanmalar gelişmiştir.

Killi kireçtaşlarının fiziko-mekanik özellikleri yanında birtakım yapısal faktörlerden ve buna bağımlı olarak karstlaşmadan etkilenme dereceleri, içerdikleri karbonat, kil ve kırıntı yüzdeleri ile doğrudan ilişkilidir.

L1 ve L3A galerilerinin içinde açıldığı kaya ortamında yüzeydeki kaya özelliklerinin yeraltına doğru büyük değişim göstermediği, dolayısıyla yüzeyde detay araştırmalarının yapılması durumunda yeraltında galeri kazıları sırasında büyük kolaylık sağlanacağı sonucuna varılmıştır.

7 - TEŞEKKÜR

Yazarlar , sağladıkları imkânlardan dolayı DSİ XVI. Bölge Müdürlüğü elemanlarına sonsuz teşekkürlerini sunarlar.

8 - YARARLANILAN KAYNAKLAR

BARTON, R., LIEN, R. and LUNDE, J. (1974) Engineering Classification of Rock Masses For the Design of Tunnel Support; Rock Mechanics, v.6, n.4, pp.183-236.

BIENIAWSKI, Z. T. (1973) Engineering Classification of Jointed Rock Masses; Transactions of the South Arican Institution of Civil Engineers, v.15, n.12, pp.335-344.

BIENIAWSKI, Z. T. (1976) Rock Mass Classification in Rock Engineering; Proceeding Symposium on Exploration for Rock Engineering, pp.97-106.

BURNETT, A. D. (1975) The Engineering Geological Description of Carbonate Suite Rocks and Soils, Ground Engineering, pp.41-48.

E.G.W.P. (1975) The Description of Rock Masses for Engineering Purposes; Eng. Geology, v.10, pp.355-388.

GÜRPINAR, O., UĞURLU, A. (1992) Kaya Kütleleri Sınıflamalarının Karşılaştırılması Üzerine Atatürk Barajından Bir Örnek, Mühendislik Jeolojisi Türk Milli Komitesi Bülteni, sayı 13, s.1-13.

SAFA, M. T. (1989) Atatürk Barajının Mühendislik Jeolojisi İncelemesi; İst. Üniv. Fen Bilimleri Enstitüsü (Yüksek Lisans Tezi).

UĞURLU, A. (1990) Atatürk Barajı Enjeksiyon Galerilerindeki Kaya Niteliğinin Mukayeseli Sınıflaması; İ.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü (Yüksek Lisans Tezi).

İSTANBUL METROSU ARASTIRMA GALERİSİ ÖRNEĞİNDE
İN-SITU DAYANIM İLE İTU MJKM SINIFLAMASI

Mahir VARDAR (*)
Haluk BAYRAKTAR (**)

ÖZ

İstanbul Metrosu Taksim -Mecidiyeköy Hattı, İstanbul Metrosu'nun ilk aşamada gerçekleştirilmesi öngörülmüş olan kesimidir. Yeraltı istasyonları, metro tüpleri ve farklı derinliklerde kazıların yer aldığı güzergah boyunca, ilk araştırmaları tamamlayan ve karşılaşılabilecek olan ortam koşullarının yerinde saptanmasını öngören bir kazı, sondaj ve deney programı İstanbul Büyükşehir Belediyesi tarafından yaptırılmıştır. Bu program çerçevesinde; Taksim Metro İstasyonunun inşaa edileceği kısımda 22m. derinliğinde bir saft kazılarak bu kotta 2x2.5 m. açıklığında trapez kesitli, 42m. uzunluğunda bir araştırma galerisi sürülmüş, yine bu kısımda ve güzergah üzerinde ayrıca araştırma sondajları açılmıştır. Galeride ayrıntılı Mühendislik Jeolojisi haritalamalarının yanı sıra, 9 adet özel programlı hidrolik kriko deneyleri yapılmış ve galeri üzerindeki sondaj deliklerinde de değişik seviyelerde pressiometre deneyleri gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmalar arazi deneylerinin yapılmış olduğu kesimlerden alınan kayaç örnekleri üzerindeki laboratuvar deneyleri ile desteklenmiş ve sonuçta güzergahta geçilecek olan kayaçların in-situ dayanım parametreleri ve davranışları ortaya çıkarılmıştır.

Bu bildiride; ~~bu~~ elde edilen sonuçlar, İstanbul Kanalizasyon Tünelleri Projesi kapsamında daha önce belirlenmiş olan dayanım değerleriyle karşılaştırılmakta ve bu kapsamda tarafımızdan geliştirilmiş ve İSKİ - Kanalizasyon Tünellerinde başarıyla denenmiş olan yeni bir tünelcilik sınıflaması tanıtılmaktadır.

(*) Prof.Dr.
(**) Ar.Gör.Yük.Müh.

İTU MADEN FAKULTESİ - Uygulamalı Jeoloji A.B.D. Maslak / İST.

IN-SITU STRENGTH AND ITU-MJKM ROCK CLASSIFICATION OF THE
ISTANBUL METRO (Subway) PROJECT INVESTIGATION GALLERY

ABSTRACT

Taksim - Mecidiyeköy alignment is the first stage of the Istanbul Metro (subway) project.

Along the alignment where the subway station, subway tubes and other excavation will take place, the first studies related with the in-situ rock conditions, drilling and experimental programmes were made by the municipality of Istanbul metropolitan.

According to the this programme, 22 m depth shaft were sink and 42 m. long, 2*2.5 m trapezoidal sectioned investigation gallery were driven where the Taksim subway station will be constructed. An exploration drilling programme is also carried out in the same area. Besides the detailed engineering geological mapping studies, nine in-situ hydraulic jack tests and pressiometer tests at different levels within the drilling holes were made in the these gallery. Rock samples obtained from the investigation gallery site were tested in the laboratory for correlation and interpretation of the in-situ parameters and strength of the rocks. In this article, the result were compared with the strength parameters obtained from the previous investigations in Istanbul sewaga tunnel project.

As a result, a new tunnel classification developed by our department and used in ISKI - sewage tunnels for along period of time is also introduced.

1- GİRİŞ

Istanbul Metrosu I. aşama metro güzergahı, Taksim'den başlayan Osmanbey - Şişli - 4. Levent'e kadar devam eden kesimi kapsamaktadır. Bu aşama içinde metro istasyonlarının ve bakım alanlarının yapımı, yaklaşık 6.8 m açıklıklı çift tünel açımı planlanmaktadır. Makas yerleri ve istasyon yaklaşımlarında bu açıklıklar 11 m ' yi aşmaktadır.

*Yeraltı istasyonları, metro tüpleri ve farklı derinliklerde kazıların yer aldığı güzergah boyunca, ilk araştırmaları tamamlayan ve karşılaşılabilecek ortam koşullarını yerinde saptanmasını öngören bir kazı, sondaj ve deney programı İstanbul Belediyesi tarafından yaptırılmıştır. Bu program çerçevesinde Taksim metro istasyonunun inşa edileceği kısımda 22 metre derinliğinde bir shaft kazılarak bu kotta 2*2.5 m açıklığında trapez kesitli 42 m uzunluğunda bir araştırma galerisi sürülmüş, yine bu kısımda ve güzergah üzerinde araştırma sondajları açılmıştır. Galerinin ayrıntılı mühendislik jeolojisi haritalarının yanısıra, 9 adet özel programlı hidrolik krik o deneyleri yapılmış ve galeri üzerindeki sondaj deliklerinde de değişik seviyelerde pressiometre deneyleri gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmalar arazi deneylerinin yapılmış olduğu kesimlerden alınan kayaç örnekleri üzerindeki laboratuvar deneyleri ile desteklenmiş ve sonuçta güzergahta geçilecek olan kayaçların in-situ dayanım parametreleri ve davranışları ortaya çıkmıştır.*

2- MUHENDİSLİK JEOLojisi

Istanbul Metrosu'nun Taksim istasyonu içinde yer alan inceleme alanı, İstanbul Paleozoyik arazisinin üst birimini oluşturan Karbonifer yaşlı "Trakya Formasyonu" içinde bulunmaktadır.

Formasyon genel olarak silttaşı, kiltası, çamurtaşı ve mikalı kumtaşı (Grovak) ardalanmasından oluşmaktadır. İstif içersinde seyrek olarak mercerler şeklinde kireçtaşı ve çökelme sırasında kanal dolguları şeklinde gelişen silisçe zengin iri taneli kumtaşı ve konglomera seviyelerine de rastlanmaktadır. Formasyon içersinde kalınlıkları 2-3 m dolayında olan nadiren 50-60 m kalınlığa erişen andezit ve diyabaz dayk ve silleri de bulunmaktadır. Çoğunlukla ileri derecede ayrılmış durumda olan bu magmatik sokulumlar , kazı sırasında fazla güçlük çıkarmamaktadır. Ancak ayrılmamış ve diyabaz bileşimli olanlar önemli kazı güçlüğü yaratmaktadır.

Taksim Metro İstasyonu inşaat sahasında açılan shaft ve araştırma galerisindeki genel jeolojik durum Trakya formasyonunun genel niteliklerini göstermektedir. Araştırma galerisi, inceden kaba taneye değişim gösteren şiddetli deformasyona uğramış çoğunlukla kumtaşlarından oluşan tortul bir istif içinde bulunmaktadır.

Araştırma programı kapsamında öngörülen 3.5x3.5 m boyutlu 22 m derinliğindeki shaftın açımı ve bunun devamında 2x2.5 m boyutlu trapez kesitli 42 m uzunluğundaki galerisini sürümü sırasında ayrıntılı olarak litolojik değişimler belirlenmiş, galerinin 1/100 ölçekli mühendislik jeolojisi açılım haritası hazırlanmıştır.

Shaft boyunca düşeyde ve galeri boyunca yatayda gözlenen jeolojinin değişimi, galeri güzergahı boyunca açılan araştırma sondajları (S10 - S13) yardımı ile elde edilen verilerle korele edilerek, değerlendirilmiş ve böylece litolojik farklılıklar ve ortamın yapısal durumu belirlenmeye çalışılmıştır.

Buna göre İstanbul Metrosu'nun araştırılan Taksim İstasyonu kesiminde 1 - 1.5 m kalınlığındaki bir dolgunun altında, genellikle kumtaşı, yer yer silttaşı ve ince kiltası arabantlı, diyabaz dayk - sil ve apofizleri ile kesilmiş yer yer aşırı derecede kırıklı, faylı, ezik zonlar içeren bir birim yer almaktadır (Şekil 1). Bu kesimde gözlenen istifin yüzeyden 3 - 5 m'ye kadar olan kesimi aşırı derecede ayrılmış ve elde ufalanabilir nitelik kazanmıştır.

Kumtaşları genelde çok ince veya ince tabakalı (5-25 cm.) olup çatlak sıklıkları geniş bir band içinde değişim göstermektedir ($k=5-60$ çatlak/m.). Çatlaklar genelde kapalı olup, açık olanlar yer yer (max 4mm) yüksek plastisiteli kil ve demiroksit dolgu içermektedir.

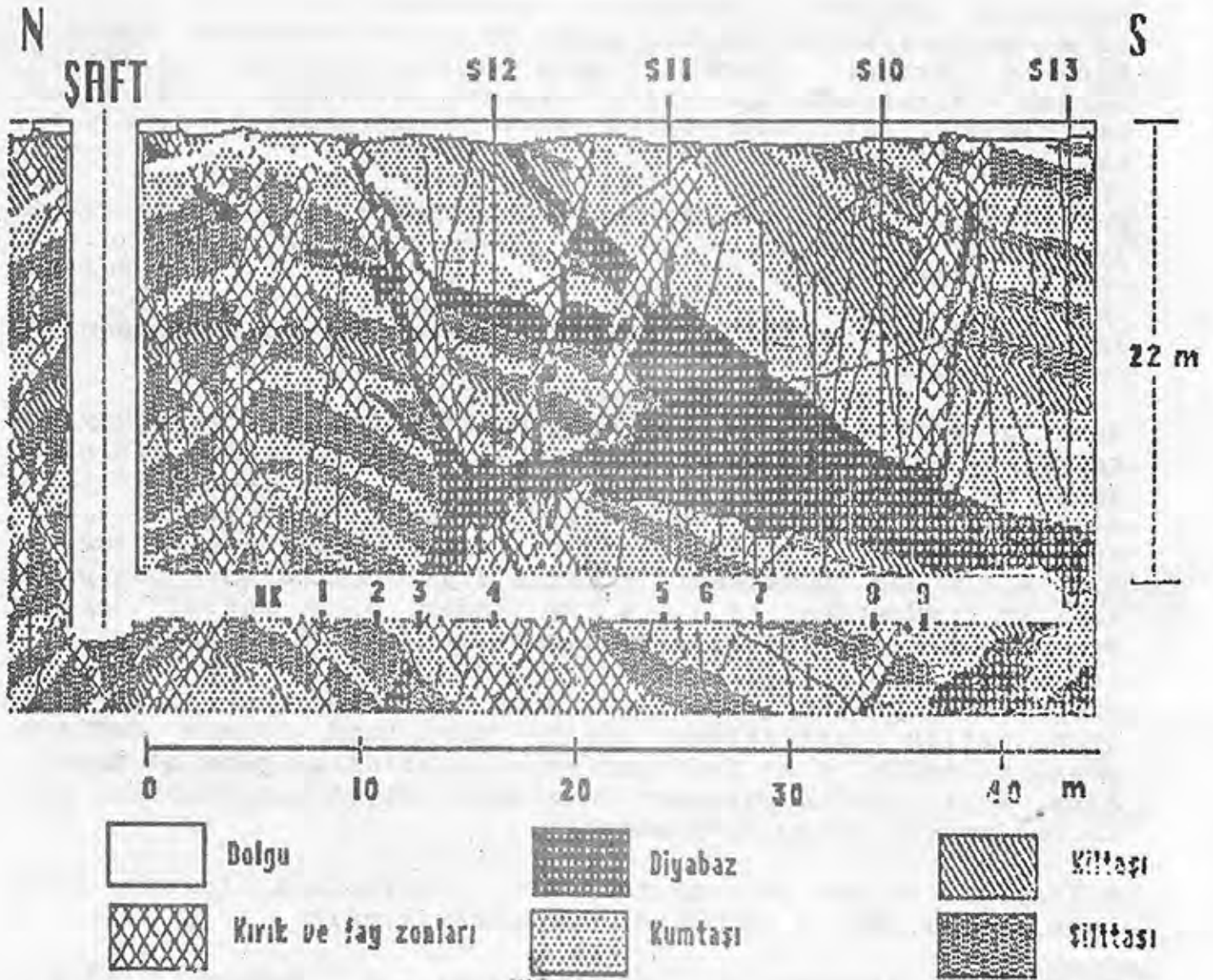
Kiltaları ve yer yer silttaşları, kumtaşları içinde ince bantlar halinde (5-200 mm.) ardalanmaktadır.

Bu birim, galerinin 14. metre^Slerinde ve sonunda (39.m) diyabaz daykı tarafından kesilmiştir (Şekil 1).

42 m 'lik kısa bir araştırma galerisi içinde bile 2 adet önemli ezik - fay zonu ile karşılaşmıştır. Bunlardan yaklaşık 3 m genişliğindeki ilk zona tavanda ve yanlarda 1. metrede girilmiştir.

18. metrede belirlenen ikinci ezik zon ise tavanda 3 m, galerinin batı yan duvarında ise 11 m genişliğindedir.

Mühendislik jeolojisi çalışmaları kapsamında shaft ve galerinin açımı sırasında aynada ve yan duvarlarda tabaka, çatlak, doğrultu ve eğimleri ile hakim çatlak takımları ve sıklığının belirlenmesi amacı ile ölçümler yapılmıştır.



Şekil 1. İstanbul Metrosu Taksim Araştırma Galerisi Programı Çerçevesinde Şaft, Galeri ve Sondajların Korelasyonu ile Çıkarılan Jeolojik Yapı.

Buna göre, galerinin 7. metresine kadar tabakalar N-S, 70W (270/ 70), 7-41. metreler arasında ise N30-50E, 40-70 SE (120-140/ 40-70) konumlu olup küçük bir antiklinal oluşturmaktadır. Genelde düzenli çatlak takımları belirlenememektedir.

Bu kesimde Trakya Formasyonu içinde gözlenebilen çatlaklar genellikle kapalıdır. Bazıları (max 4 mm.) - yüksek plastisiteli bir kil dolgu içermektedir. Çatlakların genel olarak N50-70W, 40-60NE (20-40/40-60), N40-50E, 60-70NW (310 -320/60-70) ve N70E, 40-50SE (160/40-50) konumlu olduğu belirlenmiştir. Mühendislik jeolojisi çalışmaları sonucunda araştırılan ortamın ayrıntılı jeolojik yapısı çıkarılmıştır (Şekil 1).

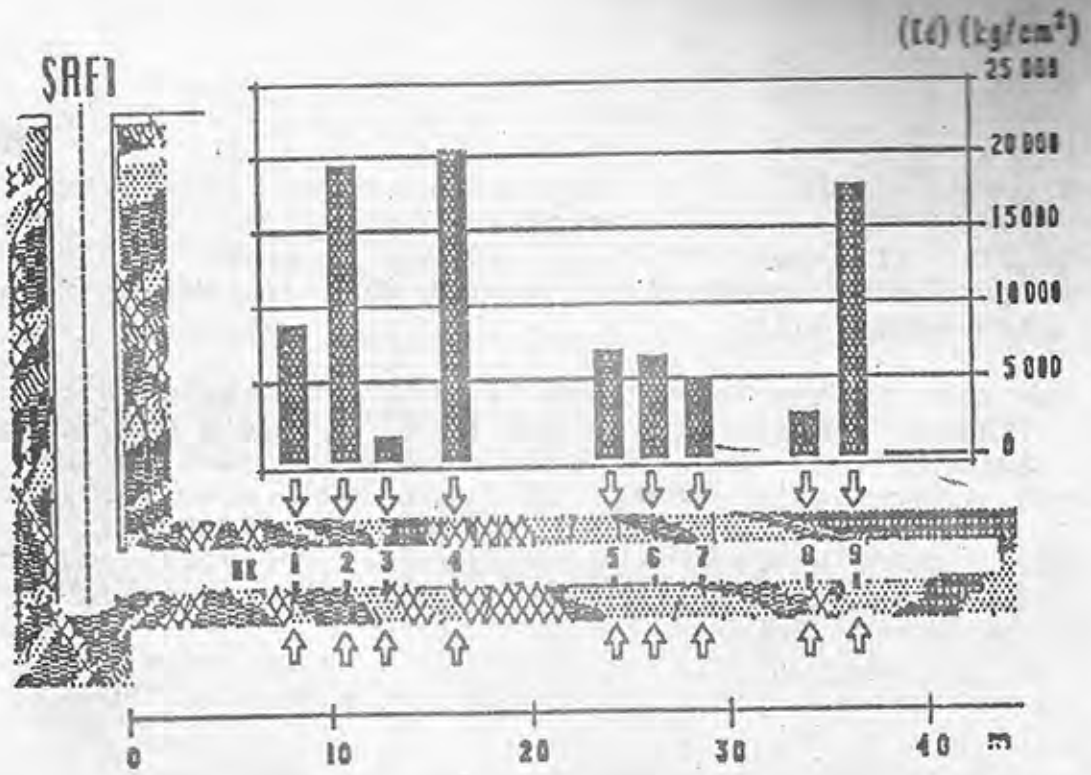
3- ARAZI VE LABORATUVAR ÇALIŞMALARI

Araştırma programı kapsamında galeri içersinde belirli aralıklarla " 9 " ayrı hidrolik kriko deneyi yapılmış, yüzeyden açılan dört adet mekanik sondaj deliği içinde farklı

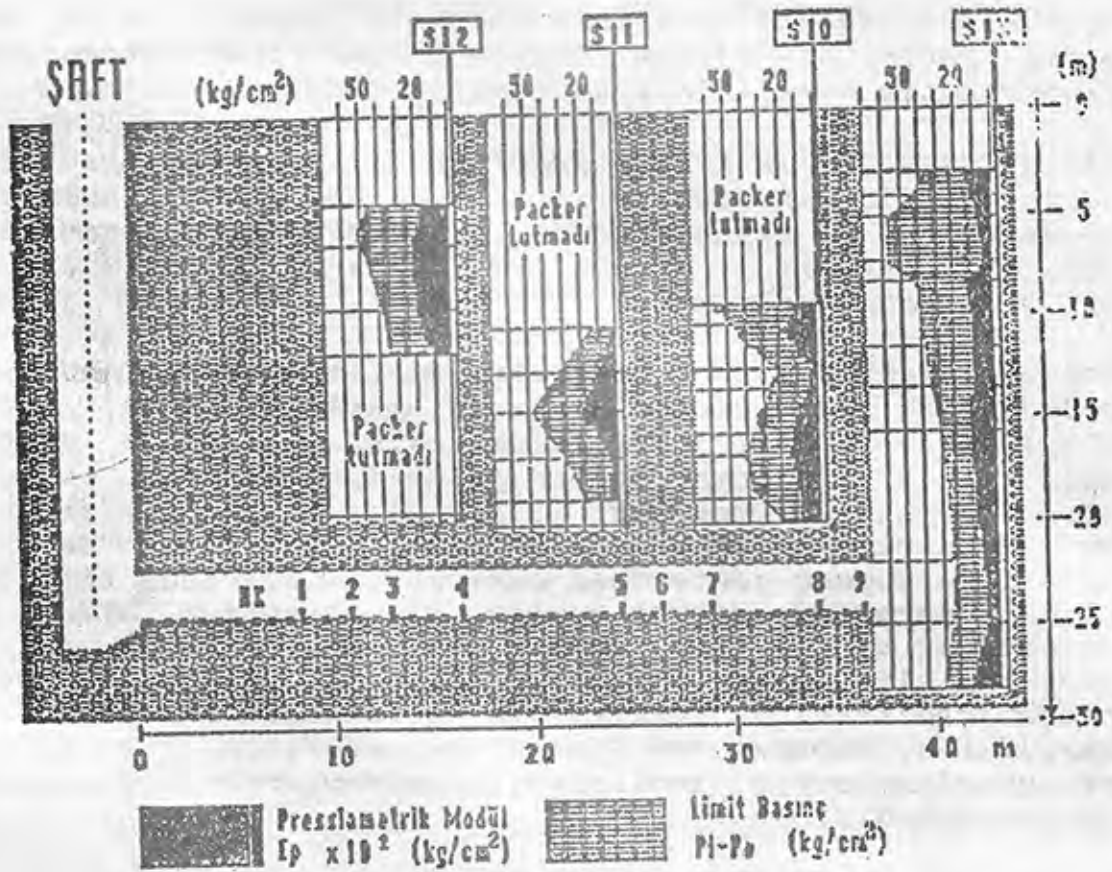
derinliklerde Menard Pressiometre testi uygulanmıştır. Deney yapılan yerlerden alınan kayaç örneklerinin laboratuvarda fiziko-mekanik özellikleri saptanmıştır.

Şekil 2a'da hidrolik kriko, şekil 2b'de pressiometre deneyi sonuçlarına ilişkin değerler grafikler halinde sunulmuştur. Laboratuvar deney sonuçlarından yararlanılarak bulunan taşın (monolitik ortamın) direnç ve dayanım değişimleri ise şekil 3'de gösterilmiştir.

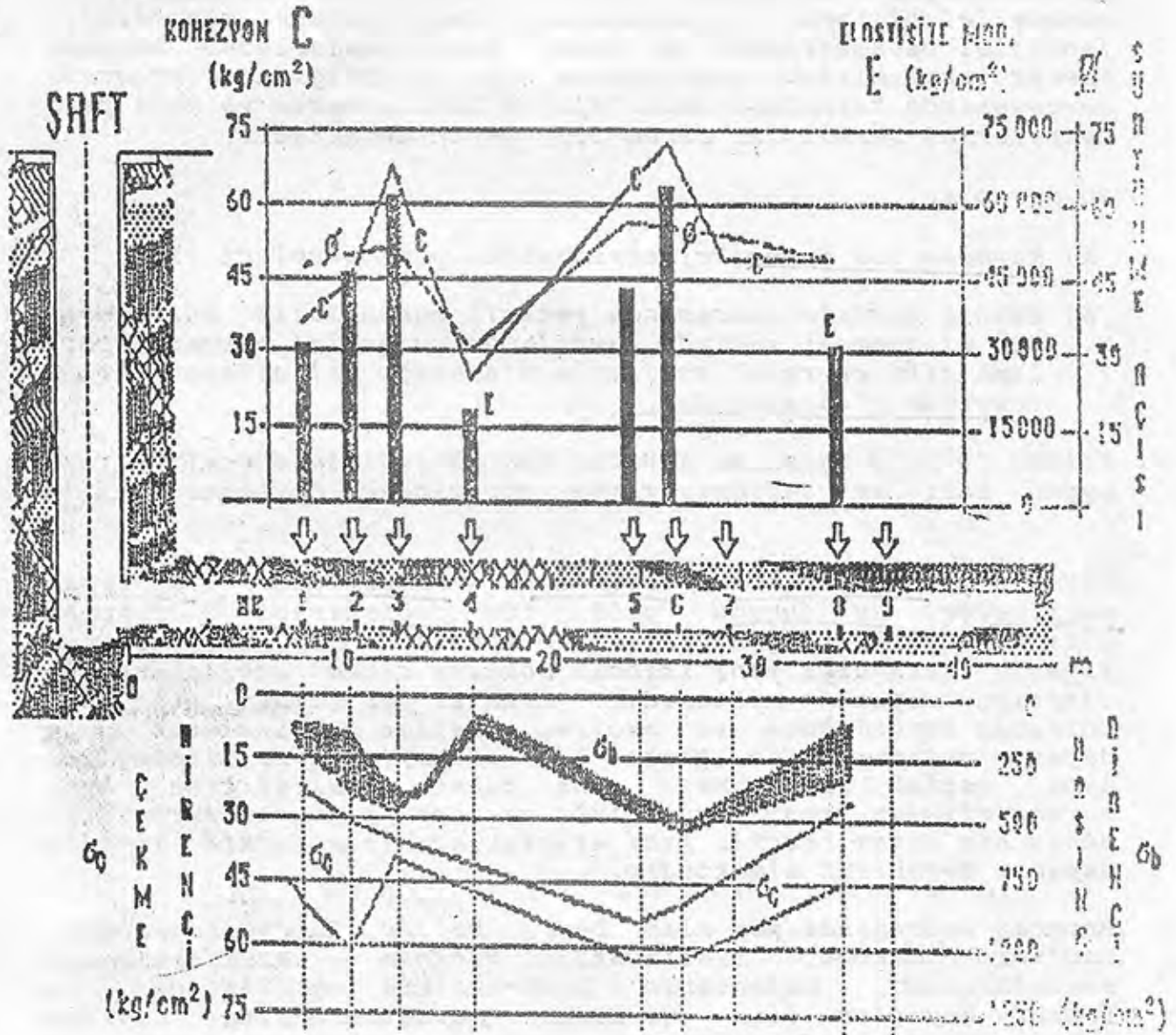
Arazi ve laboratuvar bulguları birlikte yorumlandığında, incelenen galeri boyunca mekanik parametrelerde, ortamın mühendislik jeolojisi özellikleri ile paralellik gösteren önemli farklılaşmaların bulunduğu anlaşılmaktadır. Bu durum İstanbul Trakya Formasyonu içinde genelme yapılmasının ve " homojen ortam " varsayımına dayalı yaklaşımların ne kadar yanıltıcı olduğunu göstermesi bakımından üzerinde titizlikle durulması gereken, dikkat çekici bir husustur. Yine; taş (laboratuvar örneği) ile kaya (yerindeki kırıklı, çatlaklı kayaç - in situ deney ortamı) arasında ne denli önemli, merteye değiştirici farklılığın bulunduğu bu sonuçlardan anlaşılmakta, laboratuvar deneyi sonuçlarının doğrudan ara-ziye uyarlanması yanlışı somut olarak, bir kez daha sergilenmektedir.



Şekil 2a. İstanbul Metrosu Taksim Araştırma Galerisinde Yapılan Hidrolik Kriko Deney Yerleri ve Sonuçları.



Şekil 2b. İstanbul Metrosu Taksim Araştırma Galerisi Güzergahında Açılan Sondajlarda Yapılan Pressiometre Deneyleri.



Sekil 3. Örnek Alınan Yerlerdeki Taşların Dayanım ve Direnç Değişimlerine ilişkin Grafik Dağılımlar.

3- IN-SITU DAYANIM İLE İLGİLİ YORUMLAR

In-situ kayaç davranışını, mevcut laboratuvar sonuçlarından hareketle, bilinen ve uluslararası kabul görmüş mühendislik jeolojisi parametreleri ve kayaç sınıflamalarından hareket ederek tarafımızdan hazırlanmış özel bir bilgisayar programı çerçevesinde karşılaştırmalı olarak irdelenmekte ve kaya parametrelerini farklı iki durum için hesaplanmaktadır.

Bu durumlar:

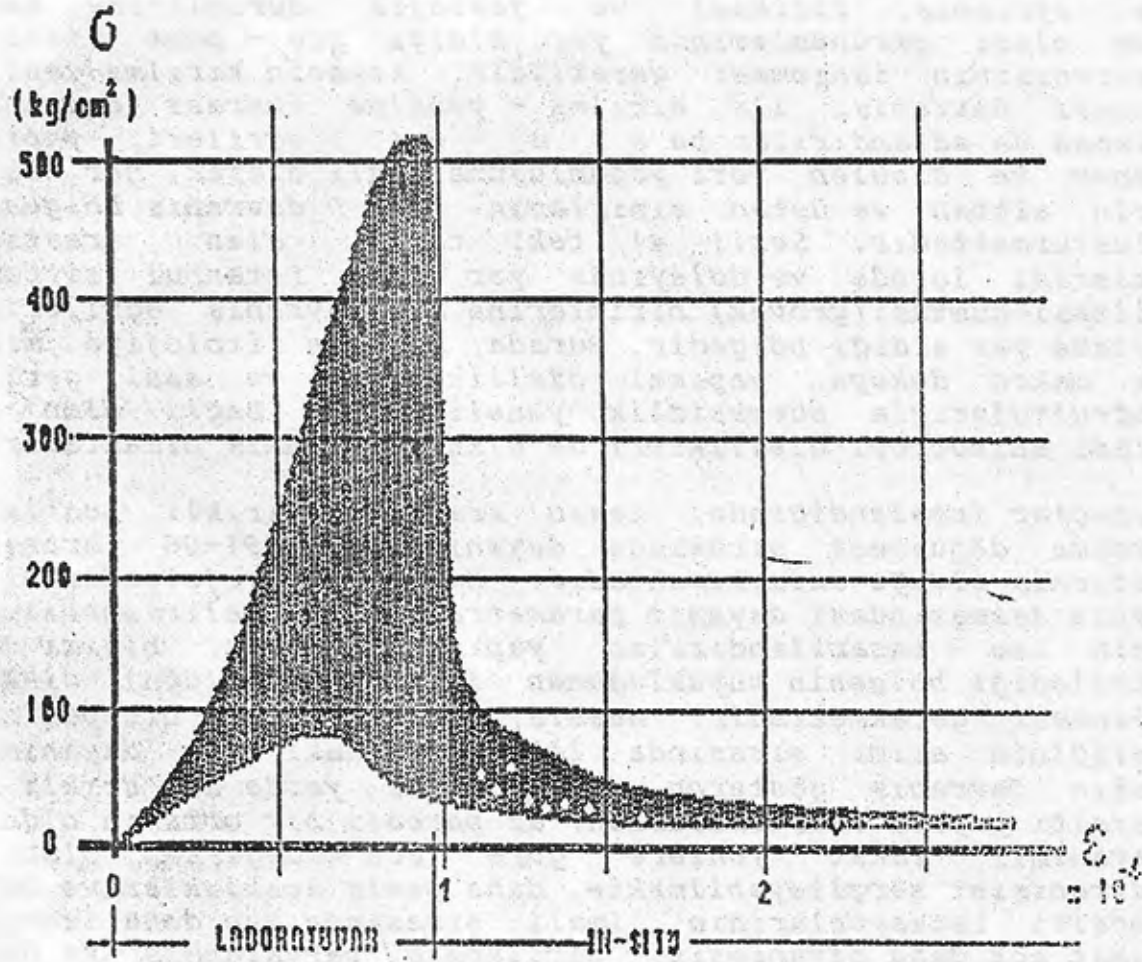
- a) Kayacın ilk durum(Primer-in-situ) parametreleri ile
- b) Teknik girişim sonrasında yeterli mühendislik önlemlerinin alınmaması halinde zamanla ve su etkisi,tekrarlı zorlama gibi çevresel etkilerle ulaşacağı kalıcı son duru. (reziduel) dayanımıdır.

Primer in-situ Dayanım, Kayacın teknik girişim öncesinde veya uygun kazı ve sağlamlaştırma sürecindeki dayanımıdır.

Kayacın , kırıklanma, örselenme, kıvrımlanma, ayrışma, gerilmeler, su durumu gibi tüm değiştirici etmenler altında, laboratuvara getirilen monolit— tek taş cismine kıyasla kazandığı yeni ikincil doku ve ortam özellikleriyle ulaştığı dayanım miktarıdır. Teknik girişimden etkilenen bölgenin büyüklüğüne ve seçilen yönetime bağlı olarak da bu dayanım değişmektedir. Başka bir ifadeyle, aynı litolojiye, aynı çatlak sıklığına, aynı tabaka kalınlığına, aynı süreksizlikler arası pürüzlülük ve içsel parametrelere (C,φ) sahip bir ortam, farklı kazı açıklıkları için farklı in-situ dayanım değerleri almaktadır.

Program içeriğinde yer alan Deer, Müller, Rabcewicz-Pacher, Lauffer, Barton, Bianiawski, Wickham karşılaştırmalı sonuçlarından, kayaçların post-failure eğrilerinden ve benzer kayaçlar için ölçülmüş mevcut in-situ dayanım değerleriyle irdelemelerden ayrıca yararlanılarak bu değerlerde gerekli düzeltmeler yapılmaktadır.

Bu sonuçlara göre; beklenen doku dayanımları ve reziduel-kalıcı (psödoplastikleşme sonrası) dayanımlarla ilgili değerlendirmelerin yeraltı açıklığının boyutu, biçimi ve "sistem büyüklüğü" içinde yorumlanması İTÜ - MJKM sınıflamasının ana ilkesini oluşturmaktadır. Şekil 4, araştırma galerisi içinden alınmış olan örneklerin laboratuvarı elde edilen taş dirençlerini ve kayacın arazi verileri ile belirlenen in - situ dirençlerini karşılaştırmalı olarak göstermektedir.



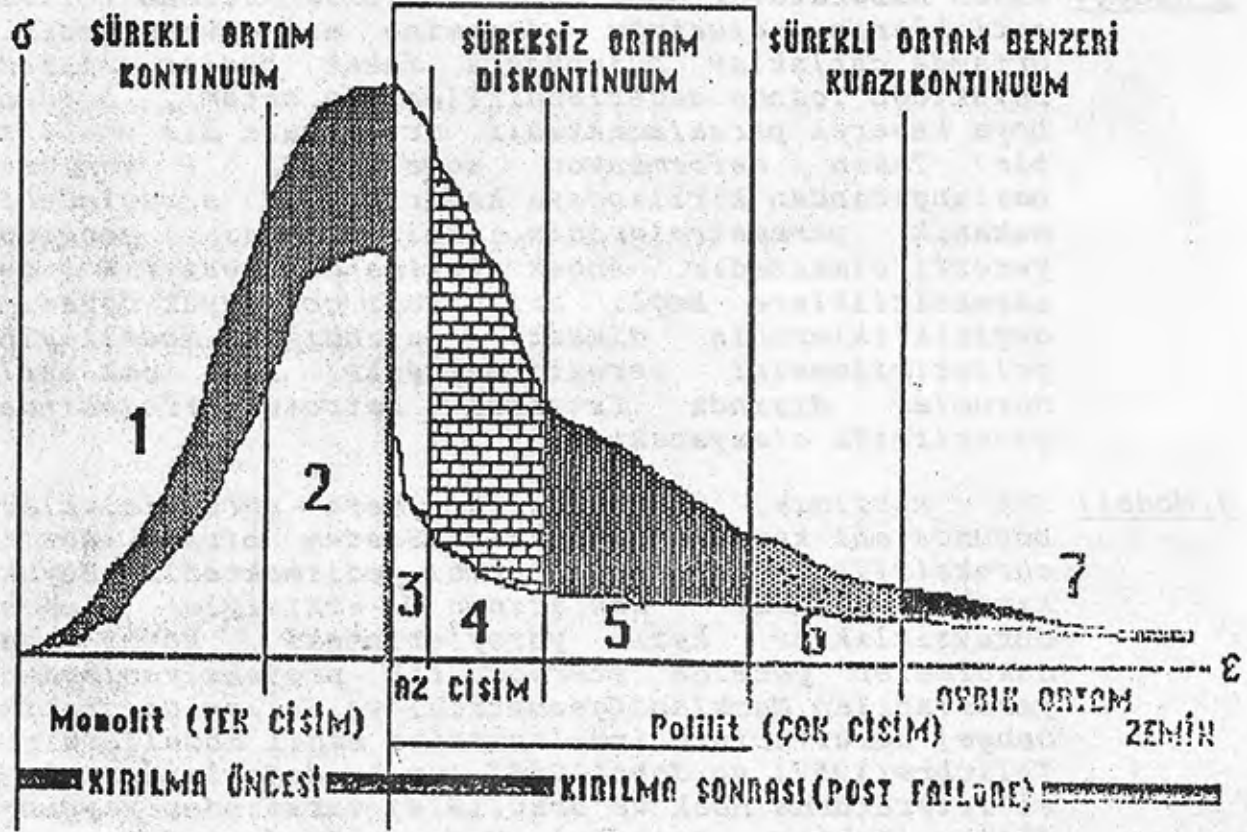
Şekil 4. Kayaçları Laboratuvar ve Arazi Deneyleri Sonuçlarına Göre Pre-Post Failure Bölgesi içindeki Direnç - Yenilme Değerlerinin Dağılımı.

Bilindiği gibi; tüneller, yeraltı istasyonları, derin temel kazıları ve saftlar gibi yeraltı kaya yapılarının planlanması ve projelendirilmesi sırasında, içinde çalışılacak olan ortamın davranışının modellenmesi, bir başka ifadeyle kayaların kaya mekaniği açısından sınıflanması metro mühendisliğinin ana hedeflerinden biridir.

Bu amaca uygun değerlendirme ve yorumda bulunabilmek için, kayacın örselenmemiş durumundan, kırıklı, çatlaklı, ezilmiş ve ayrılmış, fiziksel ve jeolojik durumlarına kadar tüm olası görünüşlerinin yer aldığı pre - post failure davranışının tanınması gereklidir. Kayacın kırılma-yenilme öncesi davranışı ile kırılma - yenilme sonrası davranışı olarak da adlandırılan bu σ (σ) - ϵ (ϵ) eğrileri, yapılan deney ve ölçülen veri yoğunluğuna bağlı olarak, her kayaç için alttan ve üstten sınırlanan bir " davranış bölgesi " oluşturmaktadır. Şekil 4' teki taralı alan araştırma galerisi içinde ve dolayında yer alan İstanbul sittaşı, kilitaşı-kumtaşı(grovak) birimlerine ait davranış eğrilerinin içinde yer aldığı bölgedir. Burada; kayacın litolojiye mikro ve makro dokuya, yapısal özelliklerine ve asal gerilme doğrultularıyla süreksizlik yönelimlerine bağlı olan tüm olası anizotropi özellikleri de dikkate alınmış olmaktadır.

Sonuçlar incelendiğinde; taşın arazideki kırıklı, çatlaklı ortama dönüşmesi sırasında dayanımının %91-96 arasında yitirmiş olduğu anlaşılmaktadır. Kayanın, projelendirme ve yapım aşamasındaki dayanım parametrelerinin belirlenebilmesi için ise tasarılan yapıya boyutu, biçimi ve etkilediği bölgenin büyüklüğünün (sistem büyüklüğü) dikkate alınması gerekmektedir. Mesela; küçük çaplı bir patlatma deliğinin açımı sırasında laboratuvardaki taş dayanımına yakın davranış gösteren ortam, aynı yerde dar açıklı bir yeraltı yapısı oluşturulurken, az parçalı bir ortamın oldukça dayanımlı fakat yönler göre çok -değişken olabilen davranışını sergileyebilmekte, daha geniş açıklıklar ve büyük yeraltı istasyonlarının imali sırasında ise daha izotrop, fakat çok daha dayanımsız, paralanmış, parçalanmış ve hatta zemin özellikleri kazanmış bir ortam davranışına geçebilmektedir.

Şekil 5' de İTÜ-MJKM sınıflamasındaki geometrik açıdan 7 farklı hesaplama ve değerlendirme tekniğinin kullanılması zorunlu kılan bölgeler ve bu bölgeler için kullanılması gereken ortam tanımları gösterilmiştir. İşte laboratuvar ve arazi deneylerinin, gözlem ve ölçümlerinin projelendirme öncesindeki bir araştırma programı çerçevesinde ele alınmasının gerekçesi de budur. Aynı ortamdaki farklı sistem büyüklükleri için kullanılabilecek geomekanik hesaplama modellerinin başlıcaları şunlardır.



Sekil 5. Pre ve Post Failure Davranış Bölgelerinin sistem Büyüklüğüne ve Arazi Dalgularına Göre Değerlendirilmesine Bağlı Geomekanik Modelleme Türleri.

1.Model: Taşın, laboratuvar deneyleri sırasında deformasyon sertleşmesi sınırına ulaşınca kadar gösterdiği davranış modelleridir. Monolitik (tek cisim) ortamın Kontinium (sürekli ortam) mekaniği ilkeleriyle genelde doğrudan, litolojiye bağlı anizotropinin bulunması durumunda ise indirgenmiş olarak modellenmesidir. Burada laboratuvar sonuçlarına ait parametreler doğrudan kullanılmaktadır. İstanbul metrosu statığı açısından geçerliliği yoktur.

2.Model: Taşın Laboratuvar deneyleri sırasında içinde mikro çatlakların olduğu dönemine ait davranışdır. Ortamda çatlaklar bulunmakta, fakat bunlar sistem büyüklüğü içinde değerlendirilebilen ortamı, boydan boya keserek parçalamaktadır. Ortam hala bir monolit tir. Taşın deformasyon sertleşmesi (yenilme başlangıcından kırılınca kadar geçen) sürecindeki mekanik parametrelerinin kullanılması genelde yeterli olmaktadır. Ancak ayrılma derecesi (X) ve süreksizliklere bağlı anizotropi çok büyük dayanım değişikliklerinin dikkate alındığı modellerin geliştirilmesini gerektirmektedir. Bazı çok özel durumlar dışında İstanbul Metrosu Projesinde geçerliliği olmayacaktır.

3.Model: Taş kırılmış, süreksizlik veya süreksizlikler boyunca ani kayma başlamıştır. Sistem birkaç önemli süreksizlik tarafından kontrol edilmektedir. Büyük kırık ve fay zonlarının etkisiyle oluşan duraysızlıklar, kazı yüzeylerindeki, kopma ve dökülmeler genelde stereografik projeksiyonlardan yararlanılan Markland(geometrik) ve Fellenius(statik denge) koşullarının irdelenmesine bağlı modellerdir. Tallobre(1957) ve John(1966) 'un bu değerlendirmeleri literatürde Hook ve Bray(1974) tarafından yaygınlaştırılmıştır. İstanbul Metrosu Projesinde yerine göre, derin kazı duvarlarının stabilitesi ve fay zonlarının etkilerinin araştırılması sırasında kullanılabilecektir. Ancak mevcut araştırma programında süreksizliklerin mekanik parametrelerini belirleyici deneyler yeralmamıştır. Süreksiz ortam ve diskontinium mekaniğinin bu özel şeklinin kullanılabileceği yer ve uygulamaların ağırlığı tahminen proje genelinde % 7 nin altında kalacaktır.

4.Model: Az cisim ortamının özel bir durumu, düzenli az sayıdaki süreksizlik takımı tarafından kısmen ($X<1$) veya tamamen ($X=1$) parçalara ayrılmış olan ortamlardır. Süreksizliklere ve asal gerilme oranı ile kaya dokusunun yönelim parametrelerine çok yakından bağımlı olan bu gibi ortamlarda anizotropi sonucu 10 - 15 kez farklılaşabilen davranışlar görülebilmektedir. Bu tür modellemeler kavşaklar istasyon - shaft birleşimleri gibi, önemli bazı

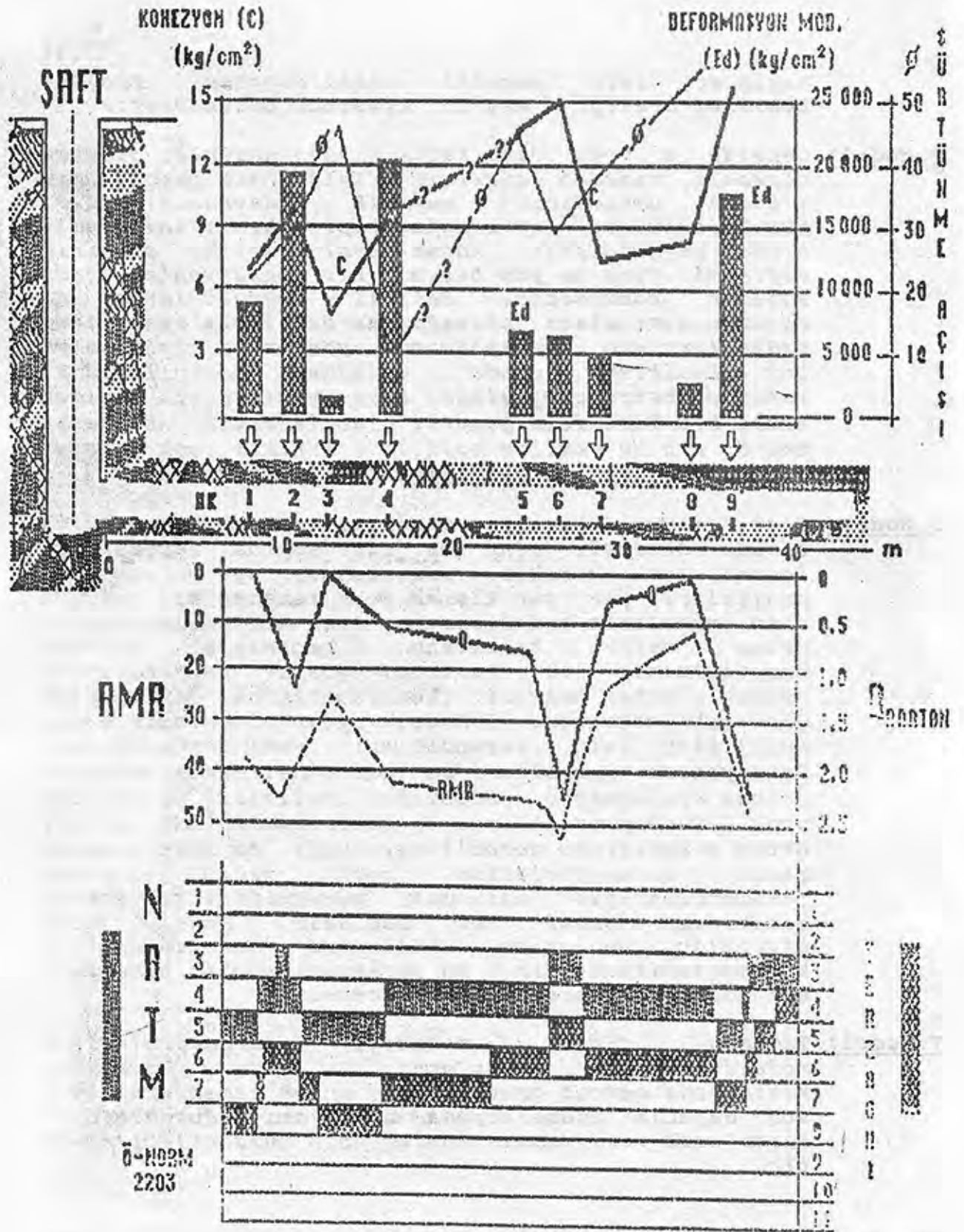
kesimler için gerekli olabilecektir. Projede beklenen aralığı %12-15 arasında bulunacaktır.

5.Model: Genelde 3 veya daha fazla kısmen düzenli, oldukça düzensiz, tamamen ayrılmış ($X=1$), sık parçalanmış ($k>5$) ortamların mekanik davranışlarıdır. Süreksizliklere bağlı anizotropi etkinliğini önemli ölçüde kaybetmiştir. Ancak asal gerilme oranının değişimi, yine de yön bağımlı bir fonksiyonla ifade edilmek zorundadır. Belirli doğrultularda ani dayanım azalmaları olacağından özellikle stabilite-sağlamlaştırma hesaplarında, yönlendirilmiş tipik en ve boy kesitler içinde çalışmak kaçınılmazdır. İstanbul metro projesinde, kaya yapılarının hemen hemen her türü için geçerli olabilecektir. Bölgenin %40-55 nin bu şekilde polilit (kırıklı çok cisim) ortamından meydana geldiği anlaşılmaktadır.

6.Model: Post Failure (kırılma sonrası) davranışının büyük ölçüde düzensiz olan ve çok sayıda süreksizlik içeren, çok kırıklı, parçalanmış ve süreksizlik aralıkları yer yer kısmen veya tamamen kil dolgulu olan ortamların modellenmesi için kullanılmaktadır. Ortam aşırı kırıklanma nedeniyle oldukça homojenleşmiş ve izotroplaşmıştır. Bu bakımdan "sürekli ortam benzeri" (Kuazikontinuum) davranışlar gösterebilmektedir. 5.Modele uygun ortamların geniş açıklıklar için kazandıkları yeni durumlarıdır. İstasyonlar genelde bu tür modellenmiş ortamlar içinde açılacaktır. Stabilite analizleri ve gevşeme zonu (Psödoplastikleşme) belirlemelerinde sürekli ortam mekaniğinin geçerli sayıldığı bu modellemenin zemin parametrelerine çok yakın dayanım parametreleriyle çalışması gerektiğini göstermesi bakımından önemi çok fazladır. Model yüzey oturmaları ve göçme analizleri bakımından da kullanılabilir. Bu varsayım proje genelinde %25 dolayında geçerli olabilecektir.

7.Model: Tamamen zemin mekaniği parametreleriyle modellenebilen kesimlerdir. Aşırı ayrılmış kesimlerde mevcut grovakların su ve zaman etkisiyle son dayanım aşamalarında aldıkları durumlarıdır. Aşırı ezik ve ayrılmış zonlar için kullanılabilir.

Buradan hareketle belirlenen ve/veya beklenen kaya sınıfları (RMR, Q Barton, NATM / Ö-Norm, Terzaghi) ve dayanım parametreleri (ϕ, C) şekil 6'da biraraya getirilmiştir.



Sekil 6. Kayanın Dayanım Parametreleri (ϕ , C, E) ile Değişik Kaya Sınıflarının Belirlenen ve/veya Beklenen Dağılımı.

4- SONUÇLAR VE TEŞEKKÜR

Bu çalışma; İstanbul ana kayaçlarının en yaygını olan Trakya Formasyonu içinde açılacak olan yeraltı yapılarının boyutlandırılması ve hesaplanması sırasında kullanılması önerilen kaya parametrelerinin belirlenmesi için gerçekleştirilmiş olan mühendislik jeolojisi ve kaya mekaniği araştırmalarına bir örnek teşkil etmektedir.

Laboratuvar deneyleri ile arazi gözlem ve deneylerinden elde edilen bulguların kayaçların "pre" ve "post failure" davranışları içindeki yeri gösterilerek direnç değerlerinde % 91-96 'lık bir farklılığın bulunabileceği anlaşılmıştır. Buna bağlı olarak "sistem büyüklüğü" dikkate alındığında yeni bir kaya sınıflaması yaklaşımı önerilmektedir. Bu yaklaşım jeoteknik hesaplama yöntemlerini, başlıca 7 farklı grup içinde ve proje amacına yönelik olarak derlemektedir.

Çalışmalarımız sırasında sürekli destek, ilgi ve güvenlerini esirgemeyen IBB Başkanlığı yetkililerine ve arazi deneyleri ile shaft, galeri ve sondaj açımalarında emeği geçen ve sürekli yardımlarını gördüğümüz Temel Araştırma Ltd. elemanlarına içten teşekkürlerimizi sunarız.

5- YARALANILAN KAYNAKLAR

VARDAR, M., (1988), The Effect of Engineering Geological and Rock Mechanical Conditions on Planning and Realisation of İstanbul Sewage Tunnels. Geologie Felsmechanik Felsbau, Festkolloquium L.Müller Salzburg, Univ. Karlsruhe.

EUROCODE EC7, (1987), Geotechnics Design Report., European Geotechnical Societies., Roma.

İSTANBUL VE DOLAYININ YAPAY AGREGA POTANSİYELİ

Mustafa ERDOĞAN*

ÖZET

Yoğun yerleşim nedeniyle giderek yetersiz kalan merkezi şehrin alt yapısını rahatlatmak düşüncesiyle bir yandan uydu kentlerin yapımı özendirilirken, diğer yandan oluşturulan yeni alt yapının sağladığı kolaylıklar sonucu denetimsiz yapılaşma bölgeleri kendiliğinden gelişmekte ve İstanbul hızla yatayda büyümektedir. Bu olgunun bir sonucu olarak, şehrin yaşamsal gereksinimleri arasında yer alan yapay agrega rezervleri yerleşim alanları içinde kalmaktadır.

İstanbul'un yıllık yapay agrega tüketiminin yaklaşık 7.000.000 m³ dolayında olduğu tahmin edilmektedir. Bu boyuttaki malzemenin şehrin çok uzağındaki kaynaklardan sağlanması durumunda, yapı maliyetlerinin artacağı bir gerçektir.

Bu bildiride İstanbul çevresindeki yapay agrega kaynaklarının dağılımları, litolojik, kimyasal, fiziksel, mekanik ve teknolojik özelliklerine yer verilmiştir.

ABSTRACT

It is estimated that approximately 15.000.000 cubic meters aggregate have been used in one year in Istanbul and surrounding area. In this amount, the ratio of artificial aggregate necessary for qualified concrete production is nearly 7.000.000 cubic meters. Majority of this amount of materials are exploited from open pit quarries in the Devonian, Carboniferous, Triassic and Eosen age limestones that are located in the vicinity of Istanbul. As a result of uncontrolled and unplanned constructions in the city, a big amount of these reserves, either under exploitation or unuseful potential, have been out of benefit. As a result these developments, new quarries have been shifted outside the city limits, and these cause significant increase in transportation.

In this paper, the potential aggregate areas in the surrounding area of Istanbul have been revaluated and test results obtained from the laboratory experiments are discussed.

* Yrd.Doç.Dr., İTÖ Maden Fak., Jeoloji Müh. Bölümü

I- GİRİŞ

Altmışlı yıllardan sonra başlayan hızlı ve denetimsiz kentleşme sonucu İstanbul'un konut ~~alan~~ gereksinimi ~~sürekli~~ artış göstermiş ve buna paralel ~~olarak~~ şehrin alt yapı sorunu ~~giderek~~ büyümüştür. Bu büyüme hızının denetlenememesi, alt yapı yatırımlarının ve sağlıklı konutları yenileme yönündeki eğilimlerin devamı durumunda, şehrin agrega gereksiniminin ~~hızla~~ artacağı bir gerçektir.

Gerek jeolojik yapısı ve gerekse coğrafik konumu nedeniyle, İstanbul'un çok geniş bir agrega potansiyeli bulunmaktadır. Şehrin tarihsel gelişimi boyunca agrega ihtiyacı Marmara Denizi ile Kara Denizden sağlanmıştır. Halen söz konusu bu iki denizden de agrega alınmasına devam edilmektedir. Özellikle çok katlı binalarda, yüksek taşıma direnci gerektiren sanat yapılarında ve asfalt kaplamalarda, yüzey pürüzlülüğü düşük, tane formu yuvarlak olan doğal agregalar yerine, kırma taş (Mıcır= Yapay Agrega) kullanılmaktadır. Diğer yandan denizel kökenli agrega potansiyelinin aynı hızla kendisini yenileyemediği için tükenmekte olduğu bilinmektedir. Ayrıca, bu kaynaklardan agrega alım faaliyetlerinin devamı durumunda su ürünlerinin tamamen yok olacağı yönündeki baskılar, konuya duyarlı bir kamuoyu oluşturmuştur.

Sağlıklı veriler olmamasına karşın, alt yapı yatırımlarının yoğun olduğu 1987 ve 1988 yıllarında İstanbul'da kullanılan agrega miktarının 15 milyon m³/yıl dolayında olduğu bu dönemlere ait çimento tüketim verilerinden hareketle tahmin edilmektedir. Mıcır ya da yapay agrega olarak bilinen kırma taşın bu toplam içindeki payı, 7 milyon m³/yıl dolayındadır. Diğer bir ifade ile şehrin gelecekteki agrega kaynaklarını, şehir çevresindeki taş rezervleri oluşturmaktadır.

Bu yazıda, uzun yıllardır üzerinde çalıştığımız Kocaeli ve Çatalca yarımadasındaki agrega üretimine uygun potansiyel alanlar üzerinde durulmuş ve laboratuvar sonuçlarına yer verilmiştir. Ayrıca, inşaat sektörünün canlı olduğu dönemlerde (1976-1977) Sakarya, Orhangazi, Silivri ve Çorlu gibi uzak mesafelerdeki ocaklardan İstanbul'a agrega taşınmak zorunda ka-

lindiğı belirlendiğinden. mevcut rezervlerin korunması ve şehrin hizmetinde tutulması konusundaki önerilere yer verilmiştir.

2- İSTANBUL VE DOLAYININ YAPAY AGREGA POTANSİYELİ

İstanbul ve dolayının kırmataş potansiyeli, iki ayrı bölümde ele alınmıştır. Anadolu yakasının gereksinimini karşılamak amacıyla, varolan jeolojik rezervlerin Kocaeli yarımada-ındaki dağılımı açıklanmış ve potansiyel rezerv alanları harita üzerinde gösterilmiştir. Rumeli yakası için mevcut olanaklar, İstanbul Boğazı ile Çatalca arasındaki bölgede irdelenmiştir. Tarafımızdan uzun süredir yapılan araştırmalar bu alanda yoğunlaştırılmıştır.

2. 1- Kocaeli Yarımadası:

2. 1. 1- Bölgenin özet jeolojisi:

Kocaeli yarımadasının Gebze'ye kadar olan kesiminde Ordo-visiyen yaşlı arkoz, kuvarsit, şeyl, kumtaşı serisi yüzeylenmektedir. Bu birimlerin üzerinde Silüriyen, Devoniyen ve Karbonifer yaşlı kayalar yer almaktadır.

Bölgede Siluriyen, şeyl, silttaşı, arkoz, Kumlu yoğun kireçtaşı ve mercanlı yoğun kireçtaşları tarafından simgelenmektedir. Devoniyen boyunca, fosilli şeyl-kireçtaşı ardalanması, kumlu kireçtaşı, şeyl ve yumrulu kireçtaşı oluşmuştur. Karbonifer döneminde, fosfat yumrulu radiolarit, kumtaşı, grovak ve şeyl ardalanması ile rekristalize biyoklastik kireçtaşı oluşmuştur. Paleozoyik yaşlı birimler üzerine, Triyas ve Kre-tase çökelleri uyumsuz olarak gelmektedir. Triyas birimlerinden dolomitik kireçtaşları ve yumrulu kireçtaşları önemli bir potansiyele sahiptir (Şekil: 1).

2. 1. 2- Yarımada'nın kırmataş (agrega) potansiyeli

İstanbul Boğazı ile Gebze arasındaki kesimde Siluriyen-Devoniyen yaşlı mercanlı kireçtaşları (Sd1), Devoniyen yaşlı

Radiometrik yaş-dates millions of years ago	Stratigrafik Birimler Stratigraphic units	Simgeler Symbols	Litolojisi Lithological	Açıklamalar Explanations
0	KUVATERNER QUATERNARY	al	Alüvyon, güncel tortular: Çakıl, kum, silt, kil.	Alluvium, recent deposits: Gravel, sand, clay.
0.01		Ke	Eski Alüvyon, Teraslar ve Kumullar	Old alluvium, terraces and dunes
1.6		Kd	Denizel Kuvaterner, katılaşmış kil, kum, çamur	Marine Quaternary, consolidated clay, sand, mud
5.3		Plk	Pliyo-Kuvaterner, karasal tortular: Çakıl, kum, kil, silt.	Plio-Quaternary, continental deposits: Gravel, sand, clay, silt.
		Pl	Karasal tortular: Çakıl, kum, kil, turba, kömür.	Continental deposits: Gravel, sand, clay, peat, coal.
		ms ₃	Kavkazi Kireçtaşı	Sarmasiyen (Pliosen dahil)
		ms ₂	Kilitaşı - marl	Sarmatian
		ms ₁	Çakıl, kum, silt	(including Pliocene)
		mk	Karasal tortular: Kumtaşı, kilitaşı, silttaşı, konglomera	Continental deposits: Sandstone, claystone, conglomer.
		md	Denizel tortular: Kumtaşı, kilitaşı, kireçtaşı	Marine sediments: Sandstone, claystone, limestone
23.7	TERTİYER TERTIARY	ol	Karasal çökeller: Konglomera, kumtaşı, kilitaşı, silttaşı	Continental deposit: Conglomer., sandstone, clayst.
		old	Denizel tortular: Kumtaşı, kilitaşı, kireçtaşı	Marine sediments: Sandstone, claystone, limestone
36.6		el	Resit - Kireçtaşı	Lutesiyen - Lutetian
		e	Kumtaşı, marl, kireçtaşı	Eosen - Eocene
57.8		krp	Kumlu kireçtaşı	Maastrichtiyen - Daniyen
66.4		krv	Kumtaşı-kireçtaşı aralıklı lav, tuf, volkanik bres	Lava, tuff, volcanic breccia interbedded with limestone
		krf	Kumtaşı, kilitaşı, kireçtaşı ardalanması: Flis	Alternating sandstone, mudstone, limestone: Flisch
		krü	Kireçtaşı ve seyl	Üst Kretase
		kra	Konglomera, seyl, kireçtaşı: Alt Kretase, Çerkezli Form.	Conglomer., shale, limestone: Lower Cretaceous, Ç.F.
144		k ₄	Halobla'lı seyl, silttaşı, kumtaşı: Karniyen	Shale and siltstone containing Halobla: Carnian
	KRETASE CRETACEOUS	k ₃	Kırmızı-gri ve yumurtlu kireçtaşı: Ladiniyen	Reddish-gray nodular limestone: Ladinian
		k ₂	Dolomitlik kireçtaşı: Anisiyen	Dolomitized limestone: Anisian
		k ₁	Kırmızı taban konglomerası ve kumtaşı: Skitiyen	Red beds, basal conglomer. and sandstone: Scythian
245		k ₃	Rekristalle, biyoklastik kireçtaşı: Cebeci Köyü kireçtaşı	Recrystall., bioclastic limestone: Cebeci Köyü limestone
		k ₂	Kumtaşı, kilitaşı, grovak ve seyl ardalanması: Irakya	Alternating sandstone, shale, graywacke } Irakya
		k ₁	Fosfat yumurtlu radiolarit - çört	Phosphate nodular radiolarite - chert
360		d ₄	Yumurtlu-bademil kireçtaşı, seyl: Üst Devoniyen	Nodular limestone and shale: Upper Devonian
		d ₃	Kumlu kireçtaşı, seyl ve kumtaşı: Orta Devoniyen	Sandy limestone, shale, sandstone: Middle Devonian
		d ₂	Fosilifer seyl-kireçtaşı ardalanması: Alt Devoniyen	Fossiliferous shale and limestone: Lower Devonian
408		Sd ₁	Mercanlı, kumlu, yoğun kireçtaşı: Sil/Dev. geçişi	Coral-bearing sandy limestone: Sil/Dev. transition
	TRİYAS TRIASSIC	S ₃	Krinoidli kumlu kireçtaşı ve marl: Üst Silüriyen	Crinoidal sandy limestone and marl: Upper Silurian
		S ₂	Alacalı seyl, silttaşı, arkozik kumtaşı: Alt Silüriyen	Colored shale, siltstone, arkosic sandst.: Low Silurian
430		OS ₁	Seyl, kumtaşı, grovak: Ordovisiyen/Silüriyen geçişi	Shale, sandstone, graywacke: Ordov./Sil. transition
		O ₂	Alt kuvarsit - kuvarsarenit: Üst Ordovisiyen	Lower Quartzite - Quartzarenite: Upper Ordovician
505		O ₁	Arkoz serisi: konglomera, kumtaşı, seyl: Alt Ordovisiyen	Arkose serie: conglomer., sandstone, shale: Low Ordov.
	PALEOZOİK PALEOZOIC			
	MESOZOİK MESOZOIC			
	SENZOYİK CENOZOIC			

Tuzla F.

Kartal F.

Dolayoba F.

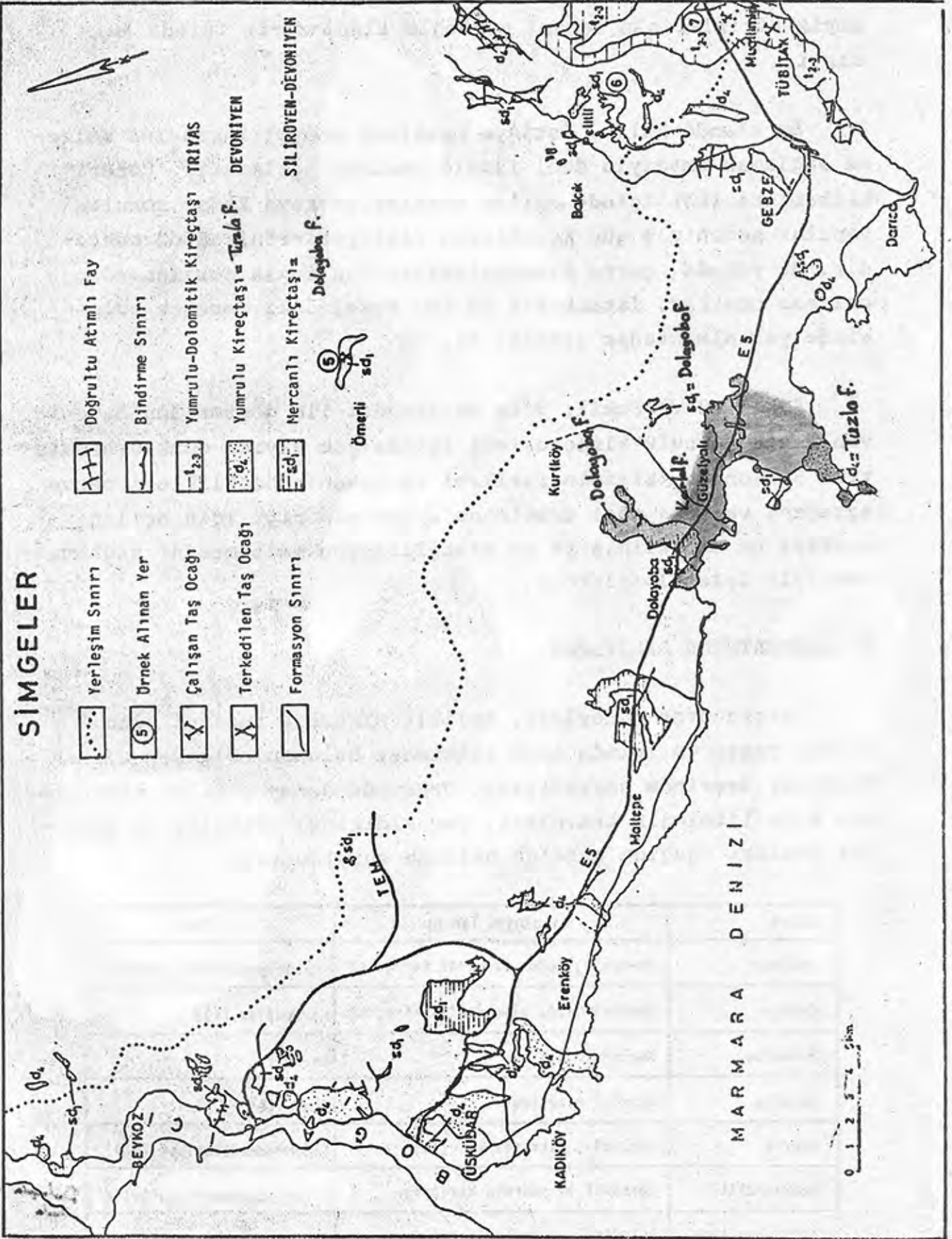
Şekil: 1- İstanbul ve Çourosinin Genelleştirilmiş Stratigrafik Kesiti (KERTİN, 1901).

SİMGELER

	Yerleşim Sınırı		Doğrultu Atımlı Fay
	Örnek Alınan Yer		Bindirme Sınırı
	Çalışan Taş Ocağı		Yumru-Dolomitik Kireçtaşı TRIYAS
	Terkedilen Taş Ocağı		Yumru Kireçtaşı = Tuzla f. DEVONİYEN
	Formasyon Sınırı		Mercanlı Kireçtaşı = Deliyoba f. SİLİROYEN-DEVONİYEN



Ömerli
sd₁



Şekil: 2- Kocaeli Yarımadasının Agrega Üretimine Uygun Kireçtaşı Dağılım Haritası

zoyik birimlerinin tamamı yerleşim alanlarının içinde kalmıştır.

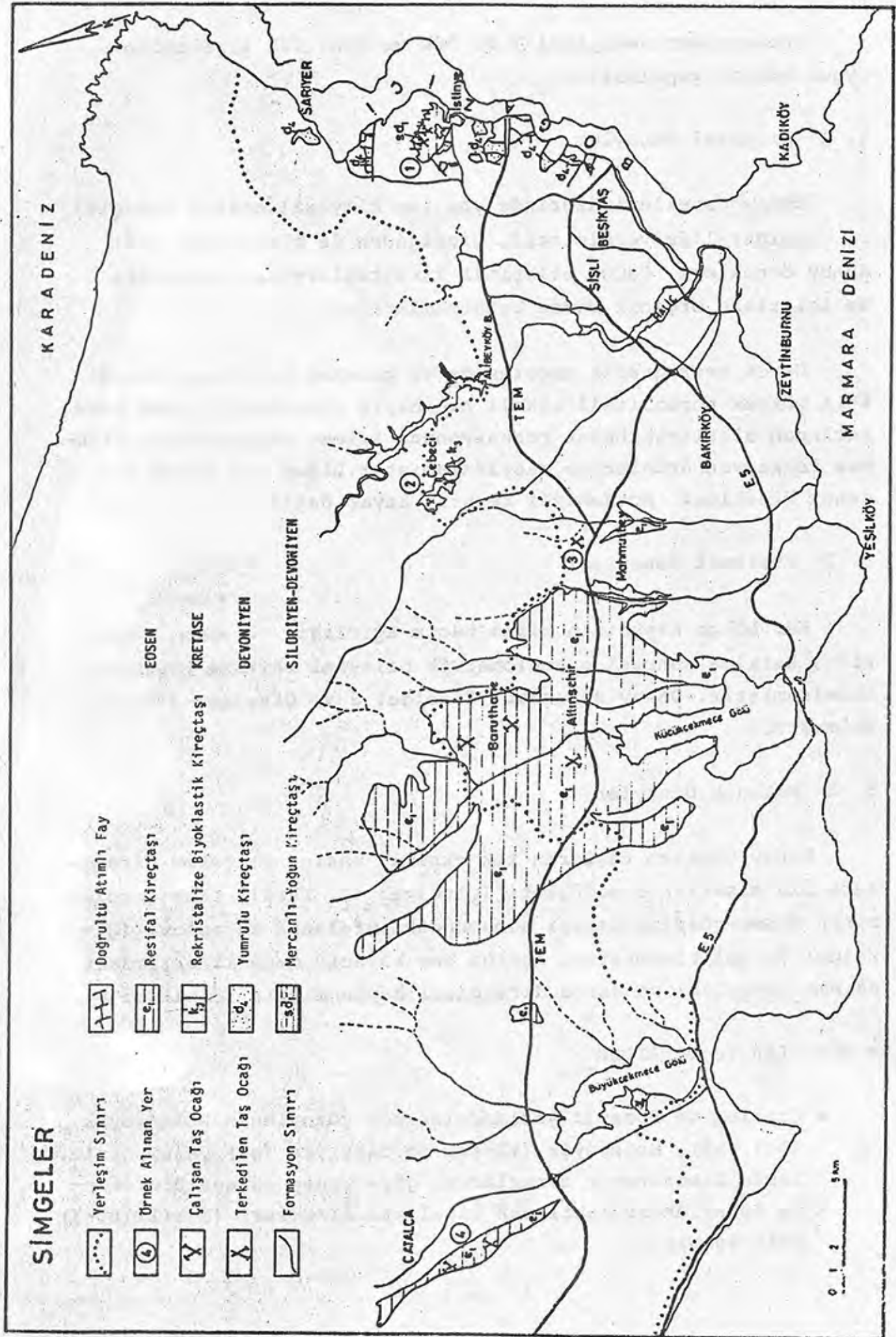
Bu alanda kalan, İstinye ocakları otoyol inşaatına malzeme sağlamak amacıyla özel izinle yeniden açılmıştır. Cebeci kalkerleri (k3) içinde açılan ocaklar, çevreye kadar sokulan yapılar nedeniyle güç koşullarda faaliyetlerini sürdürmektedir. Bu yakada, çevre olumsuzluklarından fazla etkilenmeden çalışan ocaklar, İstanbul'a 50 km. mesafedeki Çatalca bölgesinde yer almaktadır (Şekil: 3).

Şekil: 2 ve Şekil: 3'te d4 simgesi ile gösterilen Devonien'e ait yumrulu kireçtaşları içinde çok sayıda ocak denenmiştir. Söz konusu birimin fiziksel ve mekanik özellikleri beton agregası ve yapı taşı üretimine uygun olmadığı için, açılan ocaklar ya kapatılmış ya da stabilizasyon malzemesini sağlama amacıyla işletilmişlerdir.

3- LABORATUVAR DENEYLERİ

Laboratuvar deneyleri, belirli miktarda rezervi olan, farklı yaşta ve içinde ocak işletmesi bulunan bölgeden alınan örnekler üzerinde yapılmıştır. Üzerinde deney yapılan kayaların kısa litolojik tanımları, yer aldıkları bölgeler ve jeolojik yaşları aşağıda çizelge halinde sunulmuştur.

Bölge	Litolojik Tanımı	Yaşı
İstinye	Mercanlı, yoğun mikritik kireçtaşı	Devoniyen-Siluriyen(Sd1)
Cebeci	Rekristalize, biyoklastik kireçtaşı	Karbonifer (k3)
Mahmutbey	Kumtaşı, şeyl	Karbonifer (k2)
Çatalca	Resifal kireçtaşı	Eosen (e1)
Ümerli	Mercanlı, mikritik kireçtaşı	Siluriyen-Devoniyen (Sd1)
Gebze-Pelitli	Mercanlı ve yumrulu kireçtaşı	Siluriyen-Devoniyen(Sd1-d4)
Gebze-Muallımköy	Dolomitik, yumrulu kireçtaşı	Triyas (t2-t3)



Şekil: 3- Çatalca Yarımadasının Agregat Üretimine Uygun Kireçtaşı Dağılım Haritası

Laboratuvar deneyleri T.S. 706 ve T.S. 707 ilkelerine uygun olarak yapılmıştır.

3. 1- Kimyasal Deneyler

Deney örnekleri üzerinde yapılan kimyasal analiz sonuçları Çizelge: 1'de verilmiştir. Çizelgeden de görüleceği gibi deney örnekleri, CaCO_3 bileşimli kireçtaşlarından oluşmakta ve içlerinde organik madde bulunmamaktadır.

Gerek petrografik incelemede ve gerekse her kayaç örneği için yüksek normaliteli alkali hidroksit çözeltisi içinde tekrarlanan alkali-karbonat reaksiyonunu izleme deneylerinde, olumsuz reaksiyon ürünlerine rastlanmamıştır. Diğer bir ifade ile deney örnekleri potansiyel reaktif kayaç değildir.

3. 2- Fiziksel Deneyler:

Her bölge kayacının birim hacim ağırlığı, su emme, porozite, kırılma sonrası granülometrik bileşimi ve tane biçimleri incelenmiştir. Deney sonuçları Çizelge: 2 ve Çizelge: 3'te sunulmuştur.

3. 3- Mekanik Deneyler

Deney yapılan taşların tek eksenli basınç ve çekme dirençleri ile elastisite modülleri (Çizelge: 4), farklı tane gruplarının donma-çözülme deneyi sonucundaki ufalanma kayıpları (Çizelge: 5) belirlenmiştir. Ayrıca her kayacın darbeli ortamdaki aşınma kayıpları ve darbe dirençleri saptanmıştır (Çizelge: 6).

4- SONUÇLAR ve ÖNERİLER

- Çatalca ve Kocaeli yarımadaalarında yüzeylenen Paleozoyik (Sd1, k3), Mesezoyik (t2-t3) ve Tersiyer (el) yaşlı birimlerin laboratuvar sonuçlarına göre yapay agrega üretiminde değerlendirilebilecek nitelikte oldukları (Şekil: 2, 3) belirlenmiştir.

BÖLGE	Kimyasal Bileşenler (%)				
	CaO	MgO	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃
İstinye	52.97	1.14	3.69	0.65	0.3
Mahmutbey	-	-	-	-	-
Cebeci	51.27	1.23	4.38	0.89	0.08
Çatalca	52.67	0.76	2.48	0.91	0.49
Ömerli	50.29	1.79	2.30	0.49	1.23
Gebze-Pelitli	53.57	1.66	1.09	0.22	0.15
Gebze-Muallimköy	55.07	0.84	0.59	0.26	0.08

Çizelge: 1- Kireçtaşlarının Kimyasal Analiz Sonuçları

BÖLGE	Birim Hacim Ağırlığı (gr/cm ³)	Su Emme (%)		Porozite (%)
		Ağırlıkça	Hacimce	
İstinye	2.67	0.12	0.34	0.34
Mahmutbey	2.70	0.51	1.37	1.16
Cebeci	2.69	0.14	0.38	0.38
Çatalca	2.56	1.37	3.43	3.38
Ömerli	2.69	0.41	1.09	1.09
Gebze-Pelitli	2.67	0.11	0.30	0.30
Gebze-Muallimköy	2.68	0.07	0.19	0.19

Çizelge: 2- Kireçtaşlarının Birim Hacim Ağırlığı, Su Emme ve Porozite Değerleri

BÖLGE	KUSURLU TANE ORANI (%)		
	ELEK AÇIKLIĞI (mm)		
	35.00 - 30.00	30.00 - 19.00	19.00 - 9.00
İstinye	13	29	45
Mahmutbey	27	54	93
Cebeci	18	40	46
Çatalca	50	65	68
Ömerli	23	36	41
Gebze-Pelitli	17	52	82
Gebze-Muallimköy	18	43	62

Çizelge: 3- Kireçtaşlarından Üretilen Agregaların Elek Açıklığına Bağlı Kusurlu Tane Oranları

BÖLGE	Tek Eksenli Basınç Direnci (kg/cm ²)	Elastisite Modülü (kg/cm ²)	Çekme Direnci (kg/cm ²)
Istinye	940	215.000	90
Mahmutbey	970	220.000	120
Cebeci	800	130.000	68
Çatalca	230-600	89.200	47
Ümerli	780	337.500	87
Gebze-Pelitli	880	122.000	50
Gebze-Muallimköy	1070	176.000	55

Çizelge: 4- Kireçtaşlarının Tek Eksenli Basınç, Çekme ve Elastisite Modülü Deney Sonuçları

BÖLGE	ELEK AÇIKLIĞINA (mm) GÖRE DON KAYIPLARI (%)					
	50-55	35-25	25-19	19-13	13- 09	9-4.06
Istinye	3.11	7.50	8.00	10.00	7.00	15.00
Mahmutbey	6.43	16.60	14.20	12.60	11.40	13.40
Cebeci	4.24	4.66	4.66	8.60	8.00	17.33
Çatalca	5.10	11.30	11.30	6.60	6.90	27.00
Ümerli	5.31	17.00	8.40	14.40	8.40	13.30
Gebze-Pelitli	5.70	3.90	3.90	10.40	12.80	15.60
Gebze-Muallimköy	3.28	4.85	4.85	6.80	10.40	23.90

Çizelge: 5- Kireçtaşlarından Üretilen Agregaların Tane Boyutuna Bağlı Don Kayıpları

BÖLGE	Darbeli Aşınma Kayıpları (%)	
	100 Devirde	500 Devirde
Istinye	4.96	30.20
Mahmutbey	4.60	23.20
Cebeci	6.45	29.60
Çatalca	7.36	37.95
Ümerli	5.30	24.55
Gebze- Pelitli	5.49	26.90
Gebze-Muallimköy	5.60	26.55

Çizelge: 6- Kireçtaşlarından Üretilen Agreların Darbeli Aşınma Kaybı Sonuçları

- Karbonifer içinde yer alan kumtaşı ve şeyl merceklerinin (k2) konkasörde kırılmaları durumunda küçük tanelerde yassılık endeksi (kusurlu tane oranı) yüksek agrega kümesi elde edilmiştir.
- Rumeli yakası için yegane potansiyeli oluşturan Çatalca dolayındaki eosen resifal kireçtaşları (el), yer yer marnlarla yanal geçşlidir. Resif çekirdeği ve çevresindeki taş özellikleri agrega üretimine çok uygundur. Ancak bu bölgede selektif işletme yapılmayan kesimlerde marn kireçtaşlarına karıştığı için üretilen agreganın fiziksel ve mekanik özelliklerini önemli ölçüde düşürmektedir.
- Anadolu yakasının agrega gereksinimi Gebze'nin doğusundaki Triyas yaşlı (t2-t3) kireçtaşlarından sağlanabilir. Gebze ile Hereke arasında geniş yayılım gösteren Triyas kireçtaşlarının büyük rezervi bulunmaktadır (Şekil: 2).
- Taş özellikleri yönünden nitelikli agrega üretimine uygun ve şehre yakın olan kireçtaşı alanlarının önemli bir kısmı, kontrolsüz gelişen yerleşme bölgesinin içinde kalmıştır (Şekil: 2, 3). Bu nedenle, şehre malzeme sağlayan en yakın ocak merkeze yaklaşık 50 km. ile 60 km. uzaklıktadır. Bu durum agrega malzemelerini arttırmaktadır.
- Şehre günümüzde malzeme sağlayan ve geleceğin yegane potansiyel alanlarını oluşturan Çatalca bölgesi ile Gebze ve dolaylı, mahalli idarelerce özenle, planlı bir şekilde korunmalıdır.
- Agrega üretiminin çeneli kırıcılarla yapılması durumunda, çevredeki kalkerlerin tane yassılık endeksleri yüksek çıkmaktadır. Bunu önlemek amacıyla ocaklarda konik kırıcı kullanımı özendirilmelidir.

5- YARARLANILAN KAYNAKLAR:

- ERDOĞAN, M. (1976), "İstinye Kalker Ocaklarının Mühendislik Jeolojisi ve Ocakların Ekonomik Analizi". MMLS Tezi İTÜ Maden Fakültesi, İstanbul.
- ÇEVİK, E. (1986), "İstanbul Batısındaki Karbonifer Kumtaşı ve Çamurtaşlarının Mühendislik Özellikleri ve Yapı Malzemesi Açısından Değerlendirilmesi". Bitirme Tezi, İTÜ Maden Fakültesi, İstanbul.
- KARAGÖZ, D. (1989), "Çatalca Dolayı Eosen Kireçtaşlarının Agregası Olabilme Yönünden Araştırılması". Bitirme Tezi, İTÜ Maden Fakültesi, İstanbul.
- KILIÇKAN, Ö. (1989), "Ömerli Güneyindeki Kireçtaşlarının Mühendislik Özellikleri ve Yapı Malzemesi Yönünden Değerlendirilmesi". Bitirme Tezi, İTÜ Maden Fakültesi, İstanbul.
- AYDIN, A. (1990), "Gebze Muallimköy Dolayının Mühendislik Jeolojisi, Üst Triyas Kireçtaşlarının Mühendislik Özellikleri ve Yapı Malzemesi Açısından Değerlendirilmesi". Bitirme Tezi, İTÜ Maden Fakültesi, İstanbul.
- FATTAHİ, R., S. (1990), "Gebze-Pelitli Köyü Dolayının Jeolojisi, Devoniyen Kireçtaşlarının Mühendislik Özellikleri ve Agregası Olma Açısından Değerlendirilmesi". Bitirme Tezi, İTÜ Maden Fakültesi, İstanbul.
- GÜVEN, E. (1991), "Cebeciköy Dolayının Jeolojisi, Karbonifer Kireçtaşlarının Mühendislik Özellikleri ve Agregası Olma Açısından Değerlendirilmesi". Bitirme Tezi, İTÜ Maden Fakültesi, İstanbul.

YARMA YAMAÇ TASARIMI VE KİNEMATİK İNCELEME
CUT SLOPE DESIGN AND KINEMATIC ANALYSIS

Dr.İlyas YILMAZER^{*}
Prof.Dr.Aziz ERTUNÇ^{**}
Şükrü KAYA^{***}

ÖZ : Yarma yamaç tasarımı otoyol geçkisinin belirlenmesi aşamasında başlar, yol yapımı tamamlanıncaya kadar sürer. Yirmibirinci yüzyıla girerken ulaşılan teknolojinin yenemeyeceği sorun hemen hemen yoktur. Ancak mühendisliğin ana ilkesi olan "mühendis herhangi birisinin 2 liraya yaptığını 1 liraya yapan kişidir" gerçeği gözönünde bulundurulmalıdır. Yüksek yarmalar yerine zemin koşulları elverdiğinde tünel seçeneği gündeme gelebilir. Ancak, maliyet açısından, duraylı yüksek yarmalar tünele tercih edilmektedir.

Büyük ölçekli eski kayma alanlarında, aktif fay zonlarında, topuğu kesilecek olan güncel çökel ve düşen fay blok alanlarında ve yamaçdışı eğimli katmanlı istiflerde yarma yapmaktan çok zorunlu kalınmadıkça kaçınılmalıdır. Bu tür alanlarda yapılan yarmalarda, 27 derece (2Y:1D)'den daha düşük eğimlerde dahi arkası kesilmez kaymalar Türkiye Otoyollarında gözlenmiş ve halen gözlenebilmektedir.

Kaya dayanımları, kaya zeminlerde yapılan saha ve laboratuvar deney sonuçlarına göre sınıflandırılabilir. Ağırlı zayıftan çok dayanımlıya kadar bir aralıkta yer alırlar. Yazarlar, bu sınıflamaya göre yamaç eğimi önermenin yeterli olmadığını düşünmektedir. 90°'ni dayanımlı kayaların oluşturduğu katmanlı ve eğimli bir istifde açılmış yüksek bir yarmanın duraylılığı, yamaçdışı eğimli ince bir zayıf zonun etkisi altında olabilir. Benzer özellikli bir birimde açılmış sandık yarmada yamaç içeri eğimli tabakaları içeren taraf daha duraylıyken karşı yamaçta duraysızlık sorunları yaşanmaktadır. Bu nedenle, deney sonuçları, saha gözlemleriyle hazırlanan mühendislik veri tablolarıyla birlikte ele alınmalıdır. Yapısal, tektonik, mağmatik ve katmansal dokanaklar ayrıntılı olarak araştırılıp değerlendirilmelidir.

Elde edilen bilgilerin ışığı altında mühendislik jeolojisi haritası ve enkesitler hazırlandıktan sonra uygun yamaç eğiminin bulunmasına geçilir. Sonlu elemanlar ve/veya sonlu farklılıklar yöntemine dayalı sayısal çözümlemenin yanısıra, kinematik inceleme gerçekleştirilmelidir. Kinematik incelemeler yapılarak olası düzlemsel kaymalar, kama tipi kaymalar ve devrilme sorunları araştırılır. Sürtünme açısı ve kinematik yöntem, konu içersinde verildiği gibi, birlikte ele alınarak, uygun yamaç eğimi stereografik olarak bulunur. Yarma kazısı, jeoloji mühendisleri tarafından sürekli gözlenmelidir. Yarma yamaç duraylılığını olumsuz yönde etkileyecek beklenmedik yeraltı jeolojisi özellikleri anında değerlendirmeye alınmalıdır. Uygun mühendislik çözümlerinin uygulanmasında geç kalmak, sorunun büyümesine neden olup daha pahalı çözümleri gerektirebilmektedir.

* Dar Müh.Müş. A.Ş.

** Ç.Ü. Müh. Fak.

*** Çukurova Elektrik A.Ş.

ABSTRACT : Cut slope design strats at the route location phase and continues during construction. Uncertainties in subsurface geological condition increase with depth. The technology of the 21st century should be able to solve every geotechnical problem. But the principle of engineering, which states "engineer is a person who can for one dollar what any fool can do for two" should be remembered by the engineers. If ground condition allows tunnel option might be used instead of a very high cut. However, high stable cuts are used to be preferred costwise.

It is better to locate motorway away from the potential and active slide areas, stratified thick recent deposits, downthrown blocks of normal faults, and upthrown blocks of reverse faults. Numerous cut slope failures have been and are being experienced in the Turkish Motorway Project in such ground conditions.

Rock strength classification can be done according to test results and can be identified with an adjective from the scale of extremely weak to very strong. Cut slope recommendation according to this classification is valid only for homogeneous and isotropic geological condition. It is insufficient for stratified and tilted geological unit. An outsloping thin to medium thick and extremely weak layer may control slope stability of a high cut in spite of that 90% of stratification consists of strong rock. It is common to see failures on a slope which has outsloping case whereas stable conditions on which has inslope condition in a trunk type cut. Therefore, test results and engineering geological data based upon field observation, should be interpreted together. Structural, tectonic, igneous, and stratigraphic contacts are major features which can control cut slope stability. Hence, they should be investigated in detail and taken into consideration for the design of cut.

Engineering geological map, profile, and cross sections enable the engineers to understand subsurface geological condition in three dimension. In addition to numerical solutions based upon finite element and/or finite difference, kinematik analysis should be performed to find proper slope. Plane failure, wedge failure, and toppling can be analysed kinematically. Stereographic projection and friction angle obtained from test results and detailed field observation, can be used together for the determination of cut slope. A motorway excavation should be observed by geological engineers continuously. Subsurface geological features have to be logged and designer must be informed as soon as possible if some unexpected unfavore ground condition is detected. Consequently, appropriate engineering measures can be implemented in the right time.

GİRİŞ : Otoyol bileşenleri içerisinde en çok sorun çıkaran yüksek yarmalardır. Yarmaların yapıldığı zeminler genellikle şunlardır;

- a. Bağlaşık (homojen) zeminler (Mermer ve granit gibi kütleli kayaçlar ve katmansız veya yatay katmanlı toprak zeminler),
- b. Katmanlı ve eğimli toprak zemin (yamaç molozu, kolüvyon, yapay zemin,
- c. Kayma yüzeyli toprak zemin (etken ve edilgen kayma alanları),
- d. Belirgin süreksizlikler içeren kaya ^{ortamlar} ~~zeminler~~ (kilitaşı - kumtaşı ardalanması, çatlaklı ve çatlakları boyunca serpantinleşmiş peridotit vb.) ve
- e. Çeşitli jeolojik nedenlerle toprak özelliği taşıyan seviyelerle kaya özelliği taşıyan tortul istif (Çamurtaşı - kumtaşı - kireçtaşı ardalanması).

Ekonomik bir yarma yamaç eğimi araştırması saha koşullarının ayrıntılı bir şekilde ortaya konması ve jeolojik modelin hazırlanmasından geçer. Yer yer, eğim miktarı ve alınabilecek mühendislik önlem ve iyileştirme yöntemleri, birlikte ele alınıp uygun çözümün bulunması kolaylaştırılır. Yamaç duraylılığını, eğimi düşürerek sağlamak büyük ölçekli kazıyı gerektirebilir. Oysa yamaç eteğine yapılabilecek 5 - 10 m yüksekliğindeki dayanım duvarı ile düşük eğimli yamaç birlikte daha ekonomik çözüm olabilir.

Gerek kinematik inceleme gerekse sayısal yöntemle uygun yamaç eğimi ve/veya iyileştirme yöntemleri belirlenirken aşağıdaki bilgiler, yüzey - yeraltı jeolojisi çalışmaları ve saha - laboratuvar deneyleri sonuçları olarak tasarımcının önünde olmalıdır.

- Değişik ölçeklerde (bölgesel (1/25 000), saha (>1/5 000) ve alan (>1/1 000)) mühendislik jeolojisi haritaları (Yılmaz ve diğerleri, 1992),
- Jeolojik boykesit ve enkesitlerin hazırlanması,
- Sondaj kuyusu ve araştırma çukuru bilgi kütükleri,
- Mühendislik jeolojisi veri tutanakları (Tab. 1, bu tabloya ait açıklamalar tablo 2'de sunulmuştur.),
- Süreksizliklerin stereografik izdüşümleri,
- Çalışma alanının jeolojik modelinin ilgililerce kolay anlaşılır şekilde hazırlanması vb.

Tablo 1. Mühendislik jeolojisi veri formu.
Table 1. Engineering geology data form.

YARMA / DOLGU NUMARASI CUT / FILL NUMBER İSTASYON STATION												TARİH / / DATE SAYFA OF PAGE HAZIRLAYAN İLYAS YILMAZER PREPARED BY KONTROL EDEN CHECKED BY				
SÜREKSİZLİK TANIMLAMASI DISCONTINUITY DESCRIPTION												KAYAC / EKLEM DOLGU TANIMLAMASI ROCK / JOINT INFILL DESCRIPTION				
LOKASYON NO LOCATION NO	İSTASYON STATION	TÜRÜ TYPE	EĞİM DIP	EĞİM YÖNÜ DIP DIRECTION	ARALIK (CM.) SPACING	AÇIKLIK (CM.) APERTURE	PÜRÜZLÜK ROUGHNESS	ŞEKİL SHAPE	DAYANIMLIK STRENGTH	SU DURUMU WATER	DOLGU INFILLING	TÜRÜ TYPE	DAYANIMLIK STRENGTH	AYRISMA WEATHERING	CÖZÜNME SLAKING	JN.
6		S	59	310	10	0	2.5	3.5	9	0	0	CHLOR. SCH.	9	4	0	4
7	Ç	B	25	135	20	0	2	4	9	0	0	METAQUARTZ.	9.5	4	0	3
8	U	B	23	140	40	0	2.5	4	9	0	0	"	9.5	4	0	4
9	R	B	20	140	20	0	2.5	4	8	0	0	METAGREYWAC.	9	4	0	4
10	Ç	B	16	150	15	0	2	4	8	0	0	"	8.5	4	0	3
11	E	J	75	46	30	0	2	2	8	0	0	Dhm	8	3	0	4
12	K	J	74	70	200	0	2.5	2	7.5	0	0	"	8	3.5	0	4

- Konu olan yarmanın, yukardaki bilgiler de kullanılarak, en tehlikeli noktasından (genellikle en yüksek yerinden) geçen jeolojik enkesiti hazırlanarak duraylılık incelemelerine geçilir. Kesitte en zayıf seviyeler ve su durumu kesinlikle belirtilmelidir.

Yukarıda a'dan e'ye kadar genelleştirilerek verilen zemin koşullarında yalnız a'da kinematik inceleme yapılmaz. Diğer zemin koşullarında ise kesinlikle kullanılmalıdır. Sayısal çözümleme ile daha çok dönel ve düzlemsel kaymalar araştırılırken kinematik incelemede düzlemsel ve kama tipi kaymalar ve kaya devrilme olasılıkları araştırılır.

Sayısal çözümleme için çok sayıda kaynakça Ulusoy (1982)'de bulunabilir. Hoek (1987) yamaç duraylılığı konusunda uygulamada kolaylık sağlayacak yararlı bilgiler sunmuştur. Ayrıca sonlu elemanlar ve/veya sonlu farklılıklar yöntemi kullanarak hazırlanmış çok sayıda bilgisayar programları piyasada bulunmaktadır. Bu genel sunuştan sonra kinematik inceleme yöntemi konu içerisinde ayrıntılı olarak verilmeye çalışılacaktır.

Tablo 2. Kaya Kütle Tanımlama Anahtarı

SÜREKSİZLİK TANIMLAMASI		KAYAC/EKLEM DOLGU TANIMLAMASI	
TİPİ	SU	DAYANIM (devamı)	GÜMLEME (AYRISMA)
B Tabakalanma	0 kuru	3 Kaya: Basparmakla ezilebilir	1 Tamamen Gümlenmiş
C Dokanak	1 ısıak	Yoğun; çekiş darbeleri 150 gömülür	2 Oldukça Gümlenmiş
D Dilinim	2 sızıntı	4 Çok Kati: Çatlama dan tırnak ile ezilebilir	3 Orta Derecede Gümlenmiş
F Fay	3 akış	Çok yoğun: Çekiş darbeleri 125 -150	4 Az Gümlenmiş
G Küçük Çatlak	4 yoğun akış	5 Çok zayıf: Basparmak tırnağı ile zorlukla ezilir ve bazı çatlaklar olur. Bıçakla kolayca oyulur, çekişle kolayca kazılabilir.	5 Taze
H Akma Tabakalanması		6 Zayıf: Basparmak tırnağı ile çizilebilir, çakı ile derin oyulur, çekişle orta zorlukla kazılabilir.	ÇÖZÜNME
I Poliyasyon		7 Orta Zayıf: Basparmak tırnağı ile çizilemez, karot büyük- lüğündeki parçalar do- kular boyunca zorlukla kırılır, çekiş ile 3 m'den büyük çizikler yapılabilir.	0 Temiz yüzey ısıtılıp parmakla sürüldüğünde emme ve tozlanma görülmez.
J Eklem			1 Bazı belirgin emilme var fakat kırıntı vermez.
K Kayma Ezikli			3 Emilme ve bazı küçük parçalar
S Şiştozite			6 Emilme ve çok miktarda parça
T Gerilim Çatlağı			9 Yavaş tamamen çözünme (2-5 dk.)
Önem Sırası 1-5 arasında belirlenmiştir.			12 Ani tamamen çözünme (<2 dk.)
"R" kayaç tanımlamasını belirler.			JH NGI Eklem Sayısı Sıralaması (tabakalanma 1 takım kabul edilir)
PÜRÜZLÜLÜK			0.5 - 1 Hiç veya birkaç eklem
1 Kayaç çizikli/parlak			2 Bir eklem tanımı
2 düzgün			3 Bir takım + gelişigüzel
2 dolgu>Pürüzlülük			4 İki eklem takımı
3 Pürüzlü			6 İki takım + gelişigüzel
4 Çok pürüzlü			9 Üç eklem takımı
TABAKA YÜZEY ŞEKLİ			12 Üç takım + gelişigüzel
1 Düzgün			15 Dört veya daha fazla takım, gelişigüzel yoğun eklenmiş, "Şeker Kübu"
1 Dolgu>Dalgalanma			20 Ufalanmış kayaç, toprak gibi
2 Dalgalanmalı			YÜZLEKİ
3 Düzensiz			Kalınlaşma tarafından oluşturulmuş yüzle- ğin yapısal kalınlık yüzdesi
4 Süreksiz			S küçük 20-ST
DAYANIM			H orta 20-ST<60
Sürekliliğinin nihai kesme dayanımını kontrol eden malzeme dayanımı.			L geniş 60-ST
Diğer Ayrıntılar Uygun Olan Yerlerde "Uyarı" Kısmında Verilmiştir.			

DÜZLEMSEL VE KAMA TİPİ KAYMALARIN KİNEMATİK OLARAK İNCELENMESİ

Karayolları Genel Müdürlüğü'nce (1989) bir yamaç tasarım kılavuzu hazırlanmıştır. Burada kinematik incelemeye yer verilmemiştir. 9 Ekim 1963'de İtalya'nın Vaiont barajında ~3000 kişinin ölümüne yol açan dünyanın en büyük kaymasını önceden gören yerbilimci mühendisler, yamaç dışı eğimli zeminlerde killi bir seviyenin duraylılığı nasıl kontrol edeceğini ve suyun çekim sürtünmesini nasıl azalttığını bilen kişilerdi. Yılmaz (1991) kayma yüzey şeklini andıran ve kayma olduğu sanılan bir alanın kayma olmadığını kinematik olarak ta kanıtlamıştır. Bu anlamda, yarma yamaç duraylılığının araştırılmasında, kinematik incelemenin geniş bir uygulama alanı bulduğu bilinerek bu yazıda verilmeye çalışılmıştır.

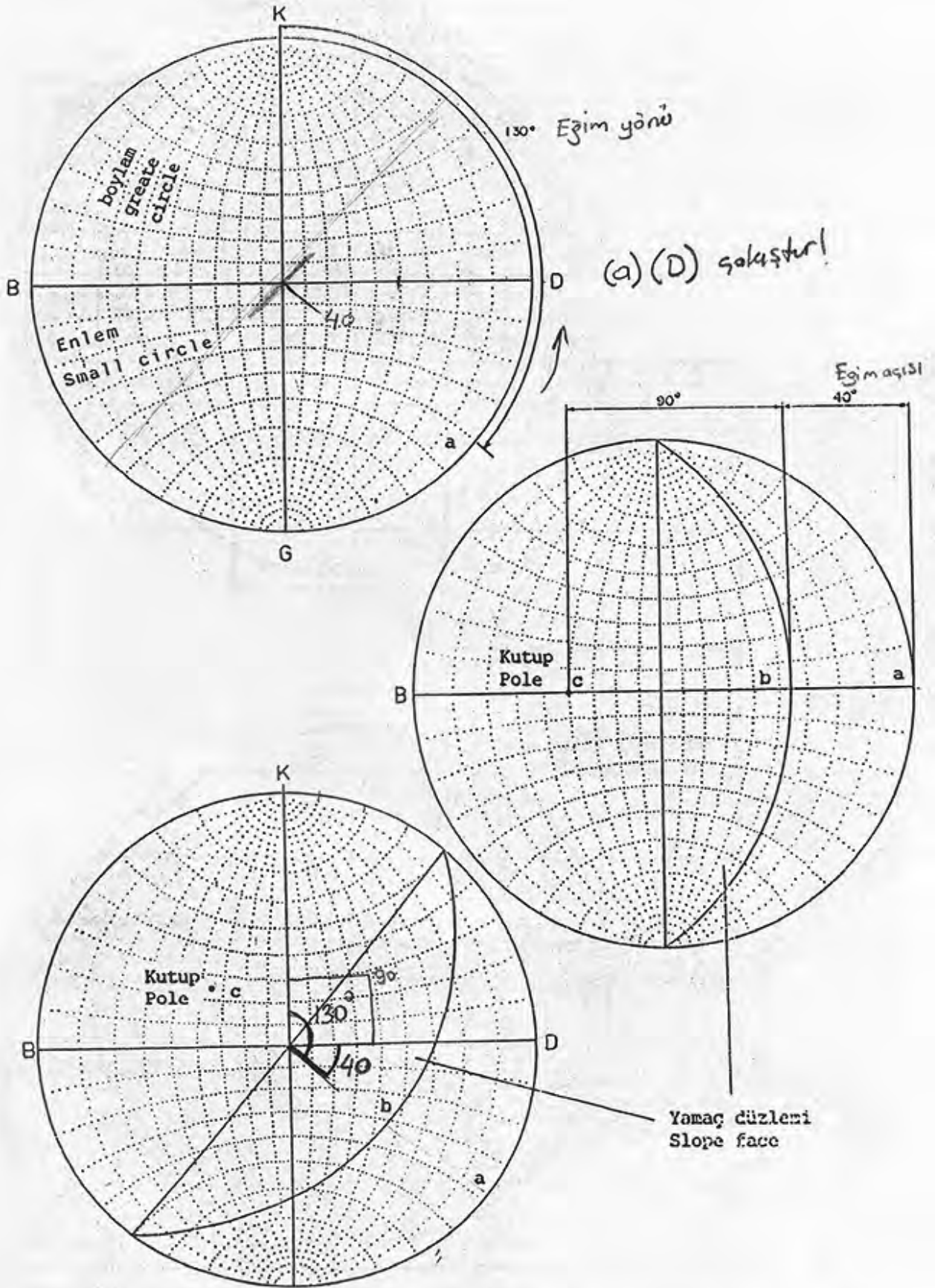
Jeoloji mühendisi, öncelikle mühendislik jeolojisi veri tutanaklarını büyük bir özenle hazırlar. Süreksizlik sistemlerini stereografik izdüşümü yöntemiyle belirler. Belirgin süreksizlik guruplarının arakesitlerini çizer ve kutup noktalarını bulur. Saha ve laboratuvar deney sonuçlarını elde eder. Daha sonra, gözlem ve deney sonuçlarını birlikte değerlendirir. Mühendislik girişiminide (insiyatif) kullanarak tasarımda gerekli deştiirgeleri belirler ve yarma yamaç tasarımına geçer.

Düzlemsel Kaymaların Araştırılması

Aşağıda verilen örnekleme sırası izlenerek sonuca ulaşılabilir.

1. 40/130 (eğim açısı/eğim yönü) olarak verilen yarma yamaç düzlemini şekil 1'de gösterildiği gibi çiziniz. Enlem-boylam çizgilerini içeren yarıküre düzleminin üzerine saydam veya yarısaydam sayfayı yerleştir ve 130 'yi işaretle (a). Saydamı saat tersi yönde çevirerek (a) noktasını D'ye çakıştır. D'den 40 içerdeki boylamı çiz (b). (b)'den 90 devam et ve kutup noktasını (c) bul.
2. Şekil 2'te görüldüğü gibi sürtünme açısının 0 olması durumundaki tehlikeli bölge dairesini çiziniz.

Yamaç düzlemi doğrultusunu KG eksenine çakıştır. Yamaç düzleminin konumunu saat yönünde yaklaşık 20 derece deştiirerek düzlem-küre kesitini oluşturan boylam çizgisinin, DB eksenini üzerindeki noktalardan (di; i=1....10) B'ye doğru 90 say ve (ei) noktalarını bul. Bu işlemi 4 defa 20 artırarak, yani toplam 80 çevirerek işlemi tamamla. Saydamı başlangıç (KG) konumuna getir. Saat tersi yönde çevirerek aynı işlemleri yap ve ei'leri birleştir. Bu yaklaşım O=0 durumunda geçerli olup ilk



Şekil 1. Eğim / eğim yönü ($40^\circ / 130^\circ$) verilen bir düzlemin alt yarıküre ekvator düzlemine stereografik izdüşümü.
 Figure 1. Stereographic projection of a plane ($40^\circ / 130^\circ$) on lower hemisphere equatorial plane.

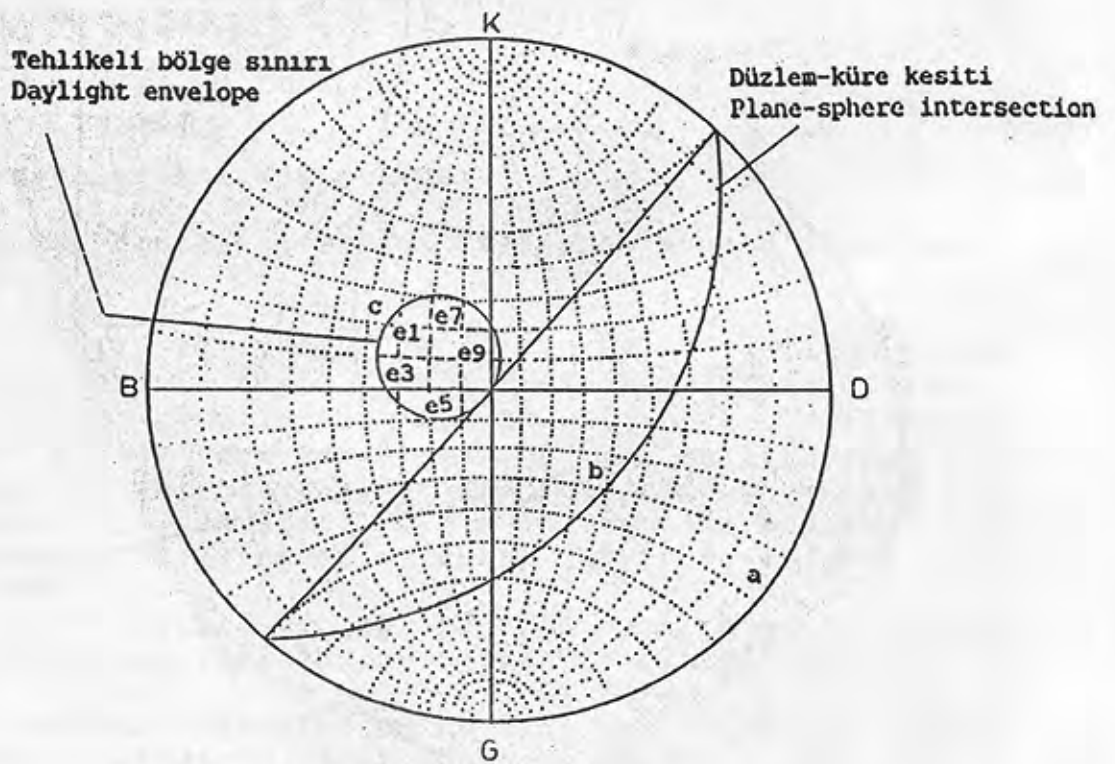


Figure 2. Construction of daylight envelope for a cut slope face with a given attitude $40^\circ / 130^\circ$.

defa Markland (1972) tarafından ileri sürülmüştür. Sonuç olarak, daire içerisine kutupları düşen süreksizlikler düzlemsel kayma, süreksizlik arakesitleri ise kama tipi kayma sorunu yaratacaktır.

3. Şekil 3'te yamaçdibi (duraylı) ve yamaçdışarı (duraysız) eğim durumu aşağıda incelenmiştir.

Birinci maddede anlatılan yöntemle süreksizlik düzlemlerinin (70 /090 ve (20 /090) kutup noktalarını (f ve g) sırasıyla bul. f'nin duraylı g'nin ise duraysız olduğu görülecektir.

$$\alpha > \beta > \phi \text{ ise duraylı} \quad \beta > \alpha > \phi \text{ ise duraysız}$$

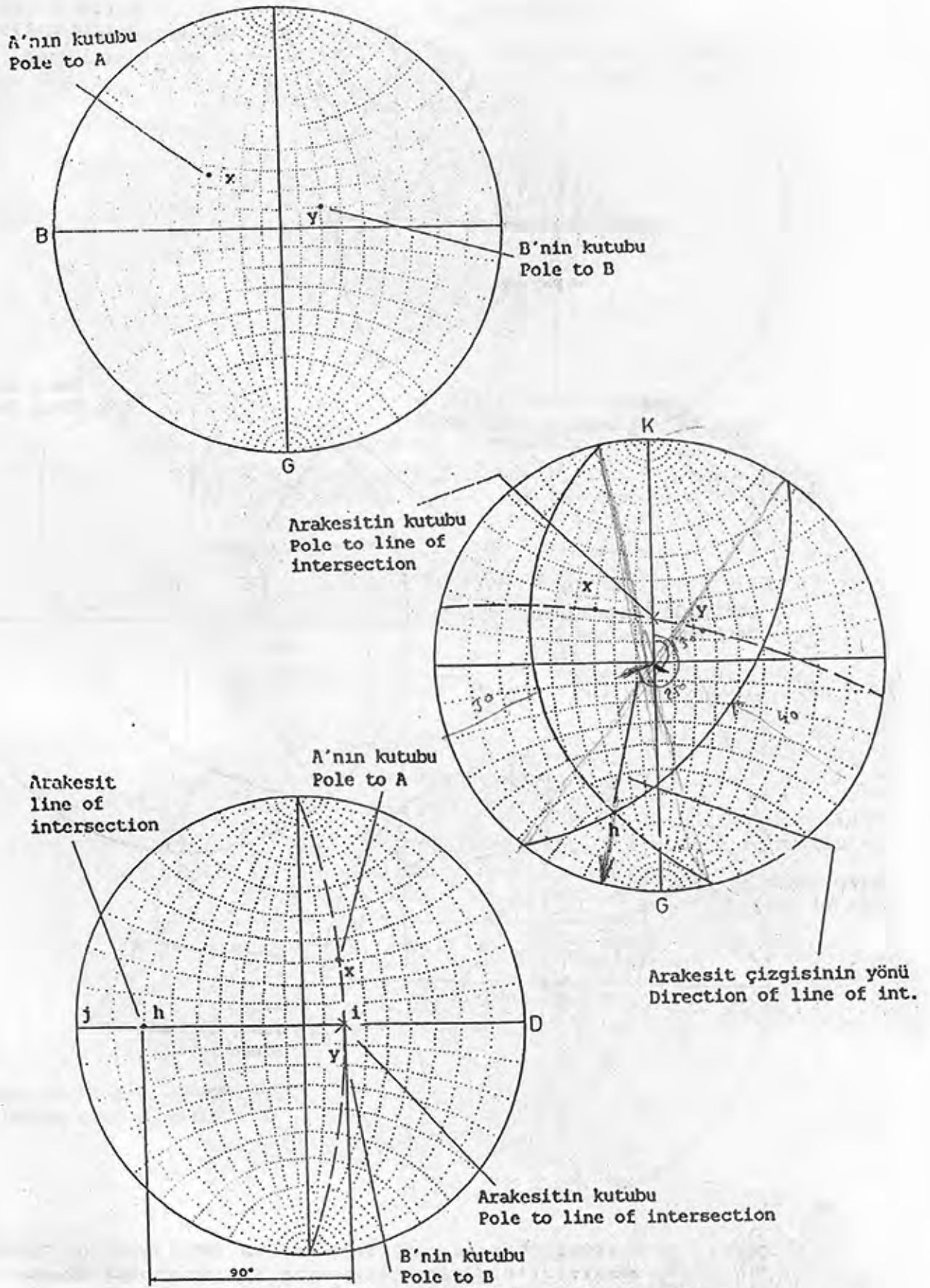
Kama Tipi Kaymaların Araştırılması

Kama tipi kayma olasılığı, şekil 4'te gösterilen 40 /130 ve 30 /250 konumlu A ve B düzlemlerini 1. maddede anlatıldığı gibi çiz ve (h) noktasını bul. Saydamı çevirerek h'yi DE eksenine taşı. Bu noktadan içeri doğru 90 say ve arakesitin kutup noktasını (i) işaretle. h'dan dışa doğru sayarak arakesitin dalımını (19) belirle ve j noktasını işaretle. Saydamı ilk konumuna getir. Kuzeyden j'ye olan açıyı yarıkürenin dışından enlemleri sayarak oku ve arakesitin konumunu (19 /196) belirle. Bu şekli, şekil 3'te hazırlanan saydamın üzerine çakıştır. Kutup noktası tehlikeli bölge dışında kaldığından kama tipi kayma beklenmemektedir.

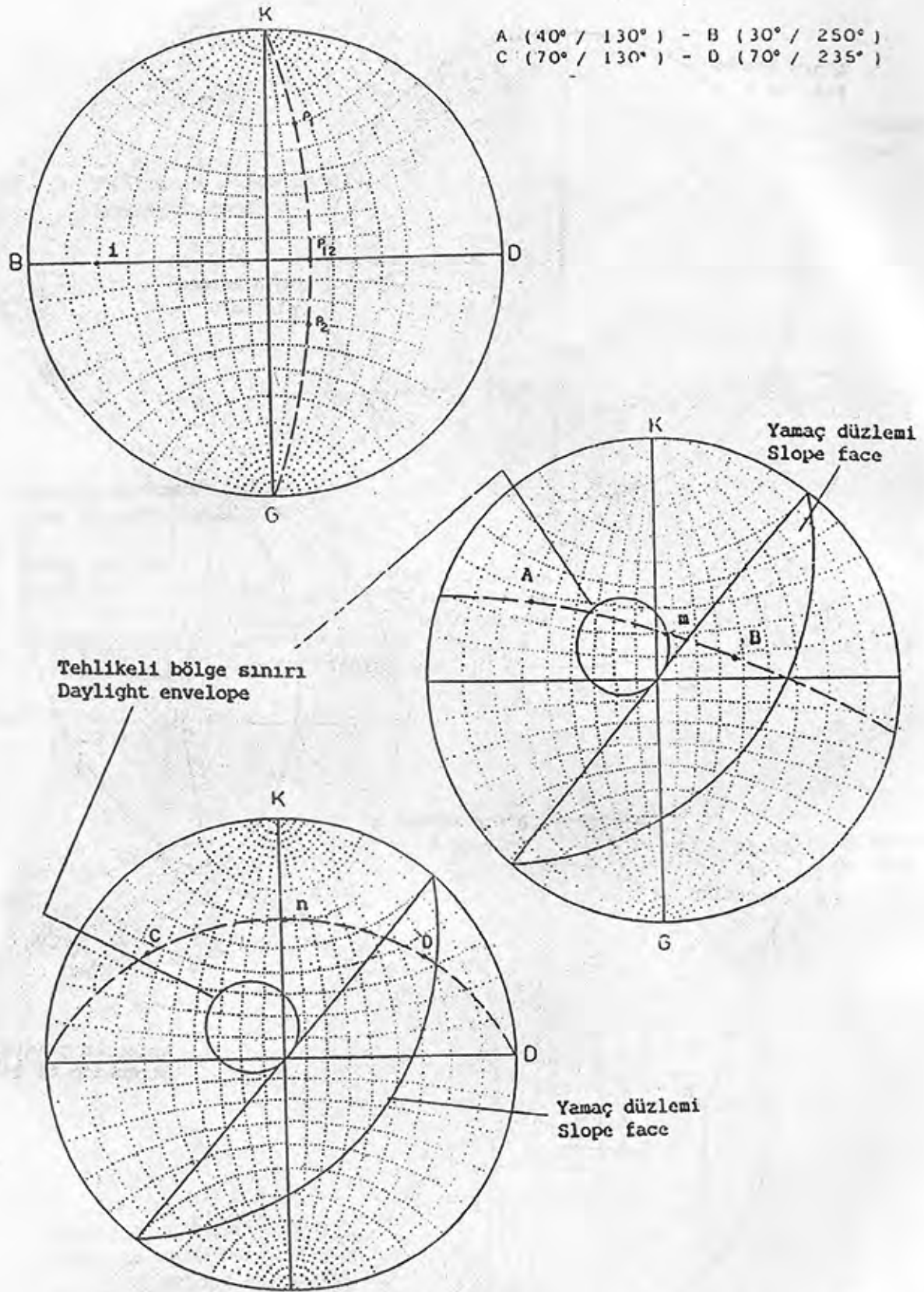
Arakesitin kutubu (i) A ve B düzlemleri kutuplarının (P1 ve P2) yardımıyla bulunabilir. Bunun için P1 ve P2'yi aynı boylam üzerine yerleştirtinceye kadar saydamı çevir (Şek. 5). DB eksenini üzerindeki kesim noktasını (P12) işaretle. P12'den B'ye doğru 90 say ve i noktasını bul. i'nin h'ya ve P12'nin i'ye karşı geldiğini göreceksiniz. Bu şekilde de arakesitin konumu 19 /196 olarak okunabilir. Şekil 5'de ayrıca duraysız (m) ve duraylı (n) iki arakesit durumu gösterilmiştir.

SÜRTÜNME KONİSİ OLGUSU

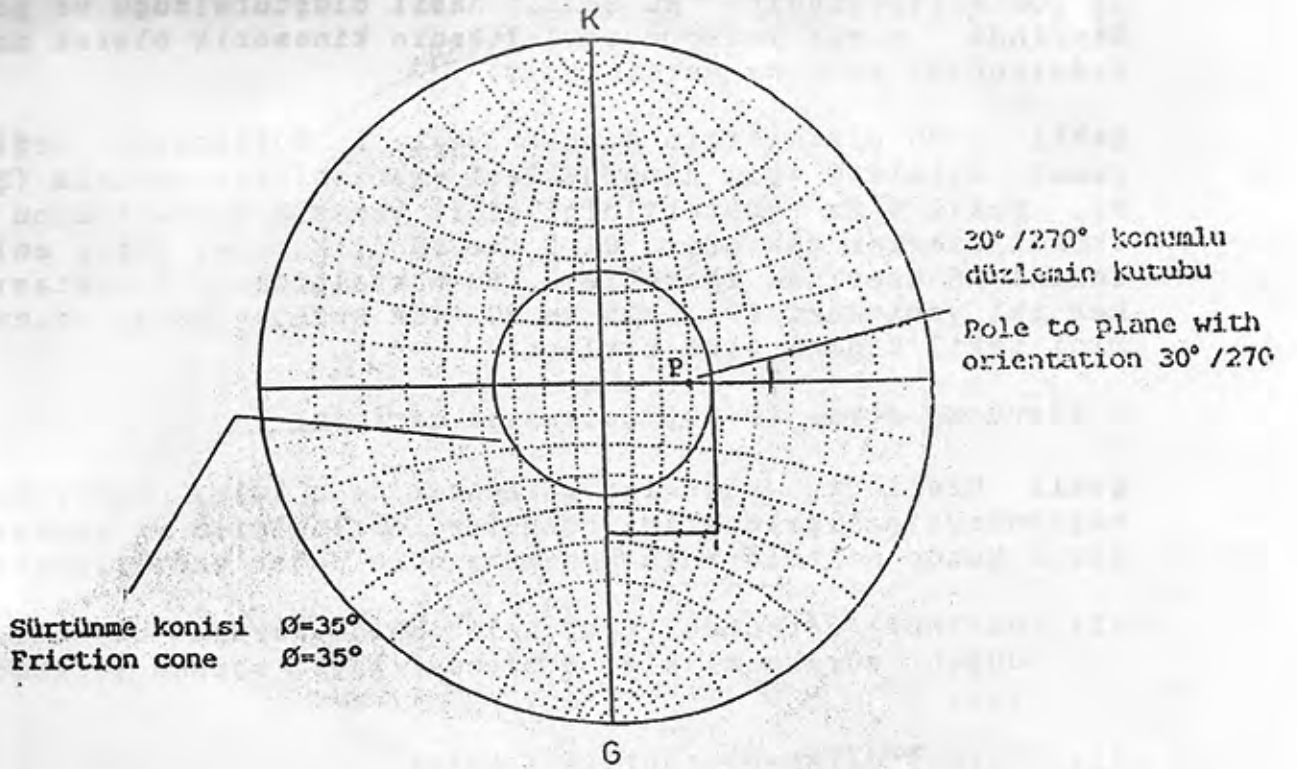
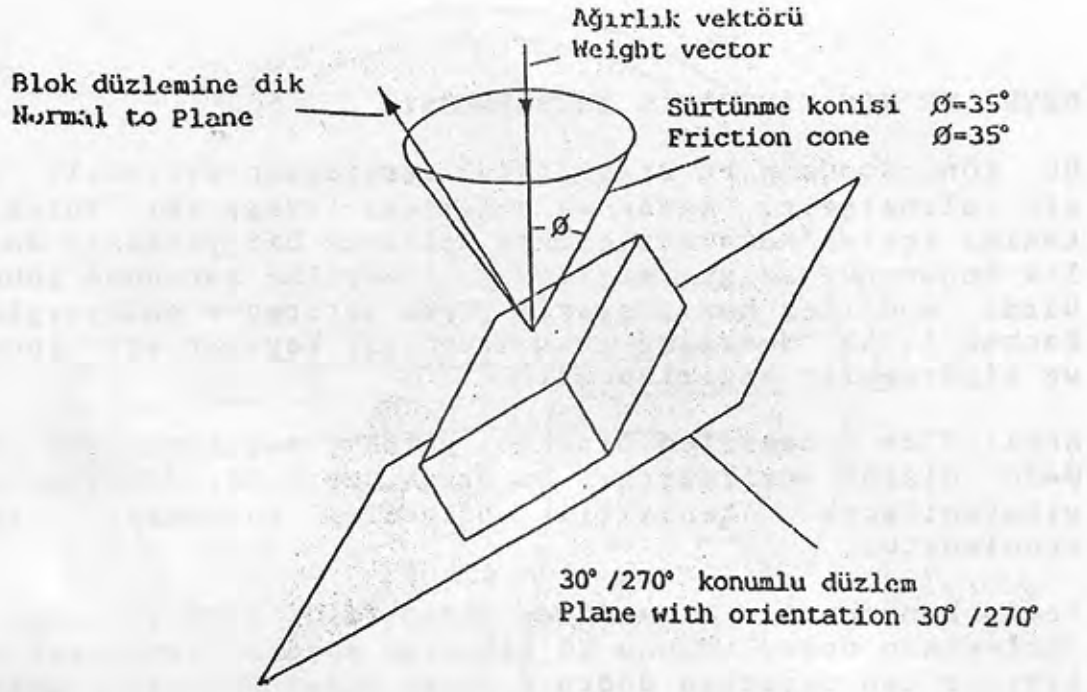
Buraya kadar $O=0$ koşulunda kinematik inceleme yapıldı. Sürtünme açısının artması yamaç duraylılığını olumlu yönde etkileyecektir. Şekil 6'de gösterildiği gibi, düzlem, dokanağın O'sinden daha fazla bir açıya eğimlendirilinceye kadar düzlem üzerindeki blok, dinginliğini (hareketsizliğini) korur. Sürtünme konisinin yarıküre düzlemine izdüşümü bir daire oluşturacağından $O=35$ olan daireyi merkezden eksenler üzerinde 35 olacak şekilde çizin. Blok dokanak düzleminin konumunu (30 /270) işaretle ve kutup noktasını (p) bul. Bu daire içerisine düşen kutup noktalarının düzlemleri ve arakesitleri kayma sorunu çıkarmayacaktır. p sürtünme konisi içerisine düştüğünden blok durağandır.



Şekil 4. A ($40^\circ / 130^\circ$) ve B ($30^\circ / 250^\circ$) düzlemlerinin arakesit çizgisinin bulunması.
 Figure 4. Construction of intersection line formed by planes A ($40^\circ / 130^\circ$) and B ($30^\circ / 250^\circ$).



Şekil 5. A (40°/130°) - B (30°/250°) ve C (70°/130°) - D (70°/235°) süreksizlik düzlem çiftlerine ait kama tipi kayma.
Figure 5. Wedge failure analysis of discontinuity plane couples A (40°/130°) - B (30°/250°) ve C (70°/130°) - D (70°/235°).



Şekil 6. Sürtünme konisinin stereografik gösterimi.
Figure 6. Stereographic presentation of friction cone concept.

DEVRİLME'NİN KİNEMATİK İNCELENMESİ

Bu konu Goodman ve Bray (1976) tarafından ayrıntılı olarak ele alınmıştır. Aydan ve diğerleri (1989) iki süreksizlik takımı içeren kaya kütlelerinde açılacak bir yarma'nın duraylılık konusunu araştırmışlardır. Devrilme sorununa laboratuvarla modeller hazırlayarak yorum getirmeye çalışmışlardır. Zambak (1983) devrilme sorununu değişik kayalar için incelemiş ve kipörnekler hazırlamıştır.

Şekil 7'de gösterilen örnekte, yarma yamaç konumu 70 /130 ve $\phi=30$ olarak verilmiştir. Bu örnek üzerinde, devrilme sorunu çıkarabilecek tehlikeli bölgenin bulunması aşağıda sunulmuştur.

Yamaç konumunu, 1. maddede anlatıldığı gibi çiziniz. Yamaç düzleminin doğrultusunu KG eksenine saydamı çevirerek çakıştır. r'den dışarıya doğru ϕ açısı kadar say ve s noktasını bul. s'den geçen boylamı çiz. Saydamın konumunu değiştirmeden 10'lık kuzey ve güney enlemlerini çiziniz. Elde edilen taralı alana düşen kutup noktalarının süreksizlikleri devrilme sorunu çıkaracaktır.

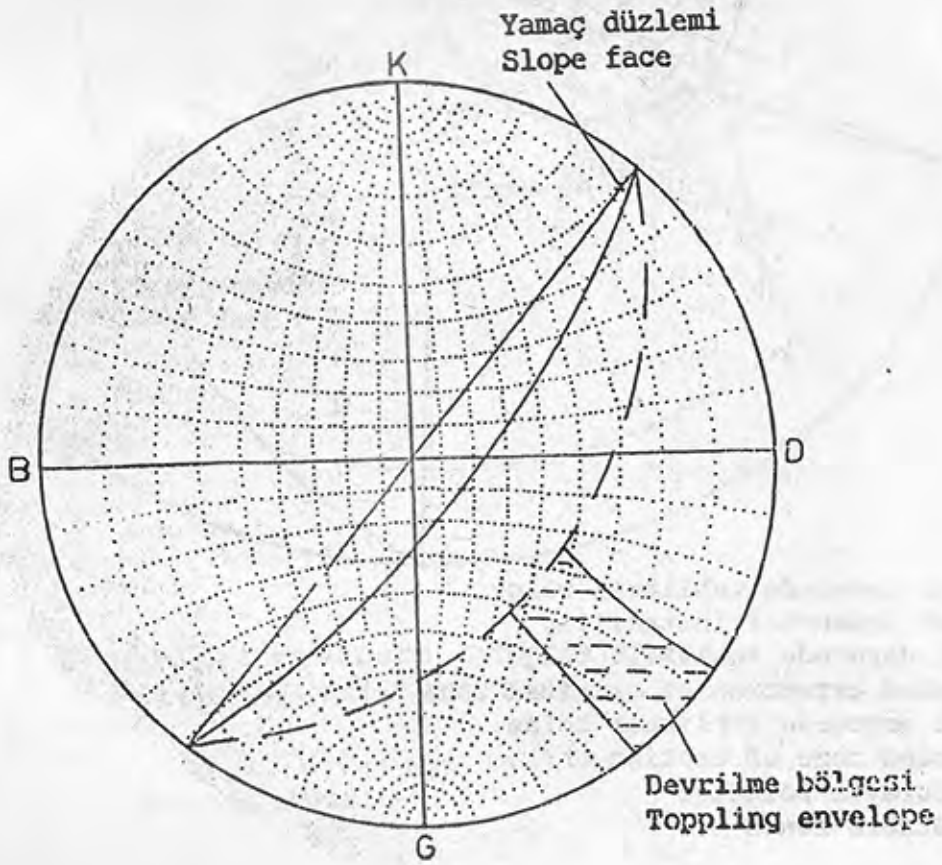
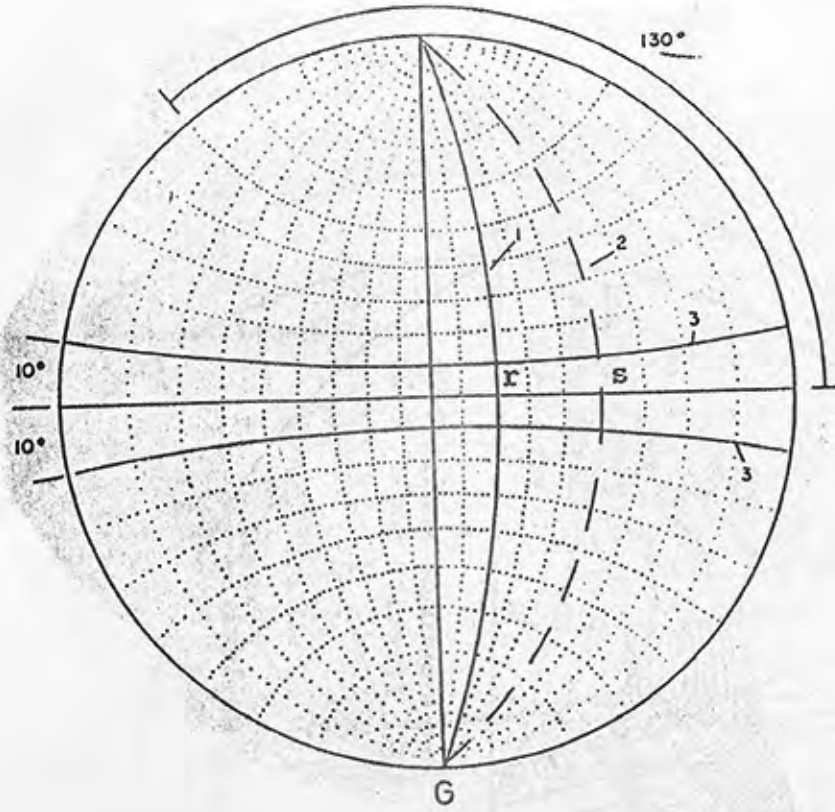
Şekil 8'de, sürtünmenin varlığında tehlikeli bölge incelemesi gösterilmektedir. Bu şeklin nasıl oluşturulduğu ve şekil üzerinde yarma yamaç duraylılığının kinematik olarak nasıl irdelendiği aşağıda verilmiştir.

Şekil 2'ün çizimi için sunulan yöntemi kullanarak değişik yamaç eğimleri için kipörnekleri (şablonları) hazırla (Şek. 9). Şekil 9'da gösterildiği gibi yamacın doğrultusunu NS eksenine üzerine çakıştır. 0, 5 ve 10'lık kuzey güney enlemlerini NS üzerinde işaretleyin. Bu noktalardan, B noktasının her iki yanındaki 20, 25 ve 30'lık kuzey - güney enlemlerini şekil 8'deki gibi birleştirin.

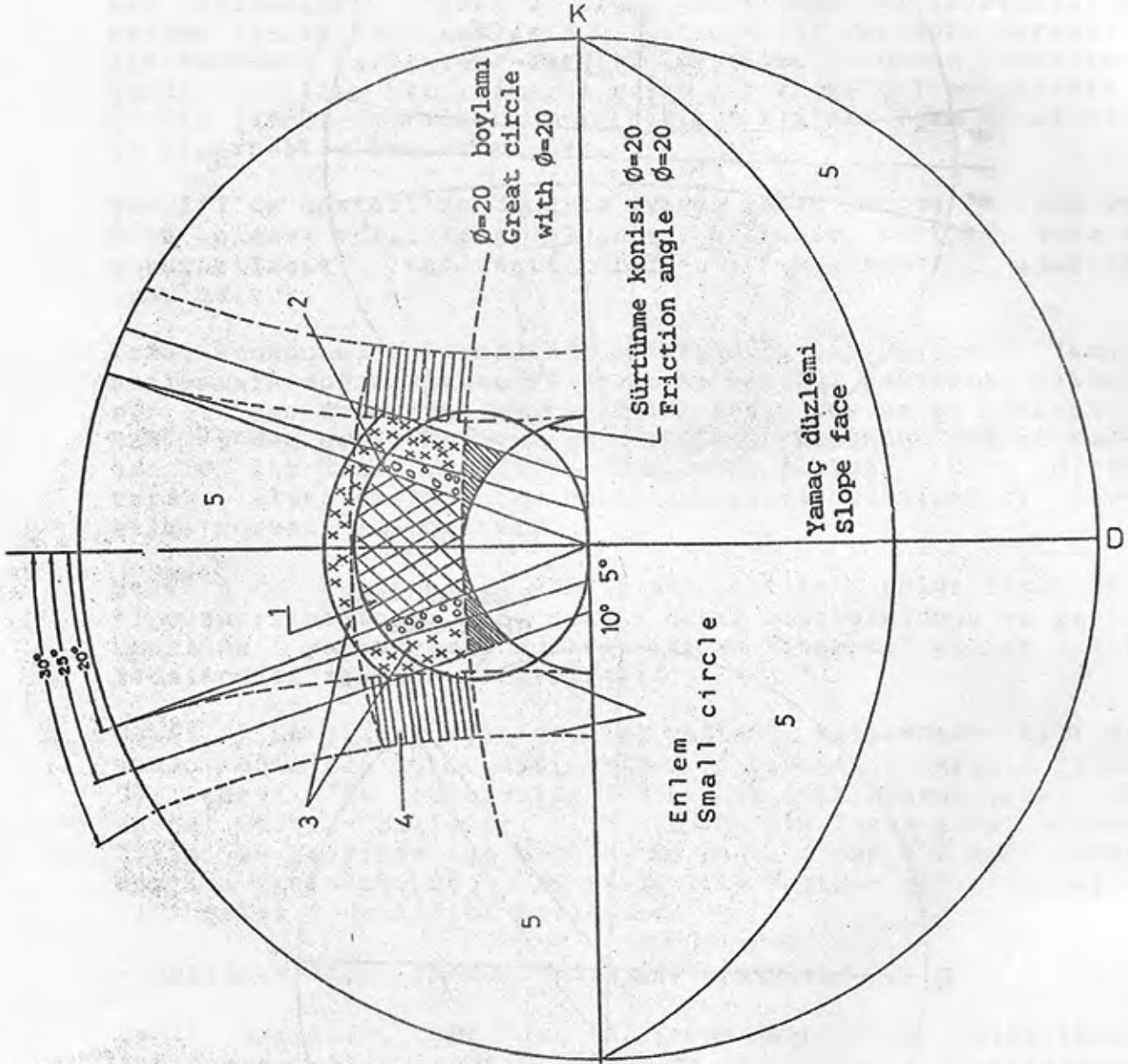
- Sürtünme açısı ($\phi=20$) dairesini çiziniz.

Şekil üzerinde, bölgeler taranarak daha kolay anlaşılması sağlanmaya çalışılmıştır. Bölgeler, düzlemlerin ve arakesitlerin kutup noktalarının konumuna göre değerlendirilmiştir.

- (1) Birinci derecede tehlikeli bölge: Kutubu bu bölgeye düşen süreksizlikler düzlemsel kayma sorunu yaratacaktır.
- (2) İkinci derecede tehlikeli bölge:
- (3) Üçüncü derecede tehlikeli bölge:
- (4) Dördüncü bölge bir önceki bölgelerin devamı olarak çizilmiştir. Bazı araştırmacılar tarafından sürtünme konisi (daresi) yerine ϕ 'ye karşı gelen enlem çizilerek tehlikeli bölge alt sınırı bulunmaktadır. Ancak

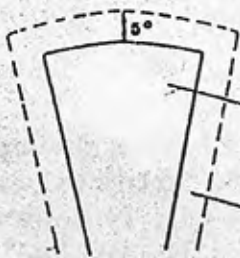
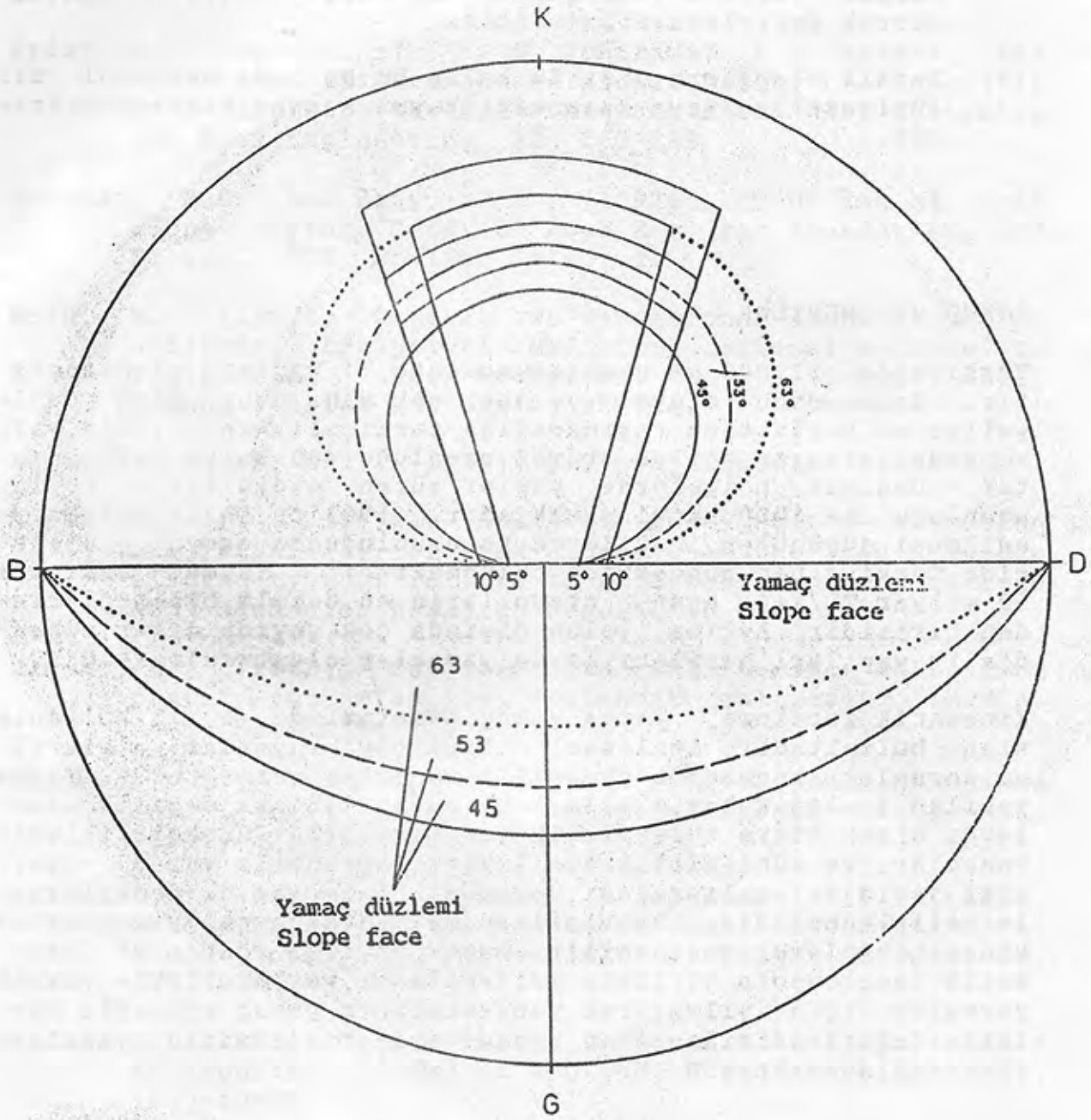


Şekil 7. Devrilme bölgesinin stereografik olarak oluşturulması.
Figure 7. Construction of toppling envelope.



1. Birinci derecede tehlikeli bölge
Zone of potential instability
2. İkinci derecede tehlikeli bölge
Suggested extension of critical zone
3. Üçüncü derecede tehlikeli bölge
Suggested zone of caution
- 4 ve 5. Duraylı bölgeler
Stable zones

Şekil 8. Bir yamaç düzlemine (30°/090°) ait tehlikeli bölgelerin stereografik olarak gösterilişi.
Figure 8. Stereographic presentation of critical zones for a cut slope face (30°/090°).



Birinci derecede tehlikeli bölge
Potential critical zone

2. ve 3. derecede tehlikeli bölge
Caution zone

Figure 9. Stereografik olarak düzlemsel kaymayı araştırmak üzere hazırlanmış 45° , 53° ve 63° 'lik yarma yamaçlarına ait tehlikeli bölge kipörneği.

Figure 9. Plane failure template including 45° , 53° , and 63° cut slope cases for stereographic analysis.

burada verilen yaklaşımda, bu bölge tehlikeli bölge olarak değerlendirilmemiştir.

- '5) Taralı alanların dışında kalan bu bölgede herhangi bir düzlemsel ve/veya kama tipi kayma sorunu beklenmemektedir.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Türkiye'de 11.000 km uzunluğunda otoyol yapımı planlanmıştır. Kamuoyunda otoyol yerine çok daha ucuz olan duble yollar ve hızlı tren taşımacılığı tartışılırken, 1991 yılı sonunda ulaşım açılan otoyol uzunluğu 400 km'ye yaklaşmıştır. Değişik bölgelerde yapımı süren otoyolların toplam uzunluğu ise 1000 km'yi aşmaktadır. 1991'de ihale edilen ve edilmesi düşünülen 1000'lerce km uzunluğunda otoyol projeleride Türkiye'nin gündeminde bulunmaktadır. Yarma, maliyeti 50 milyar TL/km'i aşan, otoyolların en önemli bileşenlerinden birisidir. Ayrıca, yolun dışında çok sayıda diğer mühendislik yapıları kazılarıyla da yamaçlar oluşturulmaktadır.

Kinematik inceleme, yarma yamaç tasarımıyla yaygın kullanım alanı bulmaktadır. Düzlemsel - kama tipi kaymalar ve devrilme sorunları konusunda güvenilir sonuçlar vermektedir. Yarma yapılan jeolojik birimlerin % 90'ından fazlası değişik oranlarda olmak üzere süreksizlik içermektedir. Süreksizliklerin konumları ve mühendislik özellikleri ayrıntılı yüzey - yeraltı jeolojisi çalışmaları ve saha - laboratuvar deneyleriyle belirlenmelidir. Bu verilere dayanarak uygun yamaç eğimi kinematik olarak bulunabilir. Ancak sayısal yöntem ve kinematik incelemenin birlikte kullanılması ve özellikle yüksek yarmalar için iyileştirme yöntemlerinin yamaç eğimiyle birlikte değerlendirilmesi en uygun yamaç tasarımının yapılmasını sağlayacaktır.

KATKI BELİRTME

Yazarlar, değişik mühendislik projelerinde birlikte çalıştıkları ve deneyimleriyle katkı sağlayan değişik uluslardan meslekdaşlarına teşekkür ederler. Özellikle Martin Borahan, John Tattersal ve Andy Parnall'ın katkıları özellikle anılmaktadır.

KAYNAKÇA

- Aydan, Ö., Shimizu, Y., and Ichikawa, Y., (1989), The effective failure modes and stability of slopes in rock mass with two discontinuity sets. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 22, 163-188.
- Goodman, R.E. and Bray, J.W., (1976), Toppling of rock slopes. *Proc. Conf. on Rock Eng. for foundations and Slopes*, ASCE, Boulder Colo., 2.
- Hoek, E., (1987), General two-dimensional slope stability analysis. *Analytical and Computational Methods in Engineering - Rock Mechanics*. E. T. Brown (ed.), London : Allen and Unwin, 95-114.
- Karayolları Gen. MÜd., (1989), Şev projelendirme rehberi.
- Markland, J.T., (1972), A useful technique for estimating the stability of rock slopes when the rigid wedge sliding type of failure is expected. *Imperial College Rock Mechanics Research Report*, 19, 10.
- Ulusay, R., (1982), Şev stabilite analizlerinde kullanılan pratik yöntemler ve jeoteknik çalışmalar. M.T.A. Enst. Eğitim Ser. No. 25.
- Yılmaz, İ., (1991), Bir tortul istifteki farklı aşınma özelliğinin jeoteknik araştırmalardaki önemi. 44. Türkiye Jeoloji Kurultayı.
- Yılmaz, İ., Erhan, F., Aytakin, E. ve Duman, T.Y., (1992), Mühendislik çalışmalarında süreksizlik araştırmalarının önemi. 3. Mühendislik Jeolojisi Sempozyumu. Ç.U. Müh.Fak.
- Zanbak, C., (1983), Design charts for rock slopes susceptible to toppling. *Jour. of Geotech. Engng. ASCE*, 109 (8), 1039-1062.

MÜHENDİSLİK ÇALIŞMALARINDA SÜREKSİZLİK ARAŞTIRMALARININ ÖNEMİ
SIGNIFICANCE OF DISCONTINUITY SURVEY IN ENGINEERING WORKS

İlyas YILMAZER
Ferudun ERHAN
Tameryiğit DUMAN
Erdal AYTEKİN

SPEKTRA JEOTEK A.Ş.
DAR MÜH. MÜŞ. A.Ş.
M.T.A. ADANA BÖLGE MÜDÜRLÜĞÜ
TEKELİ MÜH. MÜŞ. LTD. Ş.

ÖZ : En gelişmiş süreksizlik olan faydan en az gelişmiş çatlağa kadar her süreksizlik bir jeolojik olay sonucu oluşmuştur. Bu jeolojik gerçekten hareketle, bir bölgenin yapısal jeolojisi süreksizlik sistemlerinin ortaya çıkarılmasıyla açıklanabilir. Ayrıca, süreksizliklerin mühendislik özelliklerinin ayrıntılı çalışılması, mühendislik yapısı tasarımına yadsınılmayacak katkı sağlamaktadır. Özellikle otoyol projelerinde olası jeoteknik sorunların önceden anlaşılmasına olanak sağlamaktadır. Böylece gerekli önlemlerin zamanında alınmasıyla da zaman ve parasal açıdan kayıplar önlenebilmektedir. Ayrıntılı yüzey jeolojisi araştırmasıyla anlaşılabilen bir fay zonunun ve bu fayla ilgili edilgen kaymaların üzerine dolgu ve/veya yarma ile yerleştirilen bir otoyolun tamamlanmasından sonra yerinin yerinden değiştirilmesi, ekonomik mühendislik çözümü olarak gündeme gelebilmektedir. Bu sunudaki güncel örnekler, elde edilen bilgi ve deneyimler ilgili birimlere ulaştırılırken, yalnızca konunun daha iyi anlaşılmasını sağlamak için verilmiştir.

Süreksizlik araştırmalarının belirli bir düzen içerisinde yapılması ve rakamlarla anlatımı, ortak çalışan gruplar arasındaki iletişimi ve mühendislik değişirgelerinin elde edilmesini kolaylaştırmaktadır. Ayrıca, jeolojik olarak ilişkili çalışma alanlarının birbirleriyle denetirilmesine olanak sağlamaktadır. Bu amaçla hazırlanan süreksizlik veri formları ve ilgili tabloların araştırmacıya yardımcı olacağı düşünülmektedir.

Yüzen bloklar görünümündeki yüzleklerin, sondaja gerek duyulmadan, sistemli bir süreksizlik çalışmasıyla anakaya oldukları anlaşılabilir. Bir günlük saha çalışması verileriyle varılabilen bir sonuç, aylarca süren ve milyarlarca TL'nin harcanmasından sonra yapılan iki sondajla da doğrulanmıştır. Yerli yabancı değerli uzman gruplarını bile yanılgıya düşürebilen böyle durumlar bazen projenin kaderini değiştirebilmektedir. Fay, tabaka, eklem (sıkışma, gerilme ve eşlenik), dilinim ve şişosite sistemleri harita ve kesitler üzerine işlenmiştir. Stereografik izdüşümü çalışmaları da tamamlanarak yüzen blok görünümündeki her yüzlek ayrı ayrı çalışılıp denetirilmiştir. Kayma sanısına karşı koyan bir başka kanıtta dere kenarındaki güncel çökelin yüzleğinde gözlenmiştir. Kayma olduğu sanılan büyük (~5 milyon m³) bir kütlenin epeğinde, ~2.5 m yüksekliğinde ve 150 m uzunluğunda bir dik yarma dere tarafından oluşturulmuştur. Bu yarmada, güncel çökel içerisinde düzenli ve yataya yakın katmanlanmalar açıkça gözlenmektedir. Bu tür bir özellik, etken kayma topuklarında beklenmemektedir.

ABSTRACT : Every discontinuity, from a simple crack to a well developed fault has been formed by a geological process. In this respect, structural geology of an area can be revealed by a detailed discontinuity survey. Furthermore, the study of engineering geological properties of discontinuities can provide data which may form essential basis for design. Such investigation has significant role, particularly for motorway design, to predict possible ground instability problems and to implement effective management practices at the right time. Some current case studies are discussed only to give clear idea about the significance of the subject and to assist at information spreading.

Well sistematzed discontinuity survey records expressed in figures, can provide easy communication between different disciplines working together and enable engineers to derive engineering parameters easily. Engineering data forms and tables which have been compiled from various sources, are also given. They may be reassessed based on further available information.

Several outcrops in a slide area, have been misinterpreted as floating blocks. However, the discontinuity survey has indicated that they are insitu outcrops and the subsequent drilling program proved this fact. The misinterpretation has caused money and time to be spent for nothing. Fault, bedding, joint (compressional, tensional, and conjugate), cleavage, and schistosity systems have been mapped first. Then, stereographic projection study at each suspected floating block site has been performed and correlated with each other. This study has shown that they have all undergone the same orogenic movements and never been disturbed or rotated by the overridden and slide masses. Another easily understood evidence is the adjacent river side cut (2.5 m - 150 m) which exhibits well stratification. It is unusual to find an undisturbed mass in and along the toe of an active landslide. If they were floating blocks the sliding mass would exceed 5 million cub. m. which means you can not touch such a huge unstable ground.

GİRİŞ

Bir mühendislik yapısının yerleştirileceği alanın jeoteknik özelliklerinin belirlenmesi ayrıntılı yüzey jeolojisi çalışmaları ile başlar. Bu çalışmalar genellikle litolojik birimlerin ayırtılmasını, mühendislik veri formlarının hazırlanmasını ve elde edilen bilgilerin kullanılmasıyla oluşturulacak jeolojik kesit ve üç boyutlu çizimleri (blok diyagram) içerir.

Terzaghi (1946) tarafından çelik donatılı tünellerde kullanılmak üzere öne sürülen kaya yükü sınıflandırmasından, Bieniawski'nin (1979) tünel, maden, yamaç ve temel işlerinde kullanılmak üzere geliştirdiği jeomekanik sınıflandırmaya (Rock Mass Rating) kadar çok sayıda kaya kütle sınıflandırması öne sürülmüştür. Doğanın değişkenliğine ek olarak mühendislik yapılarında zamanla değişim

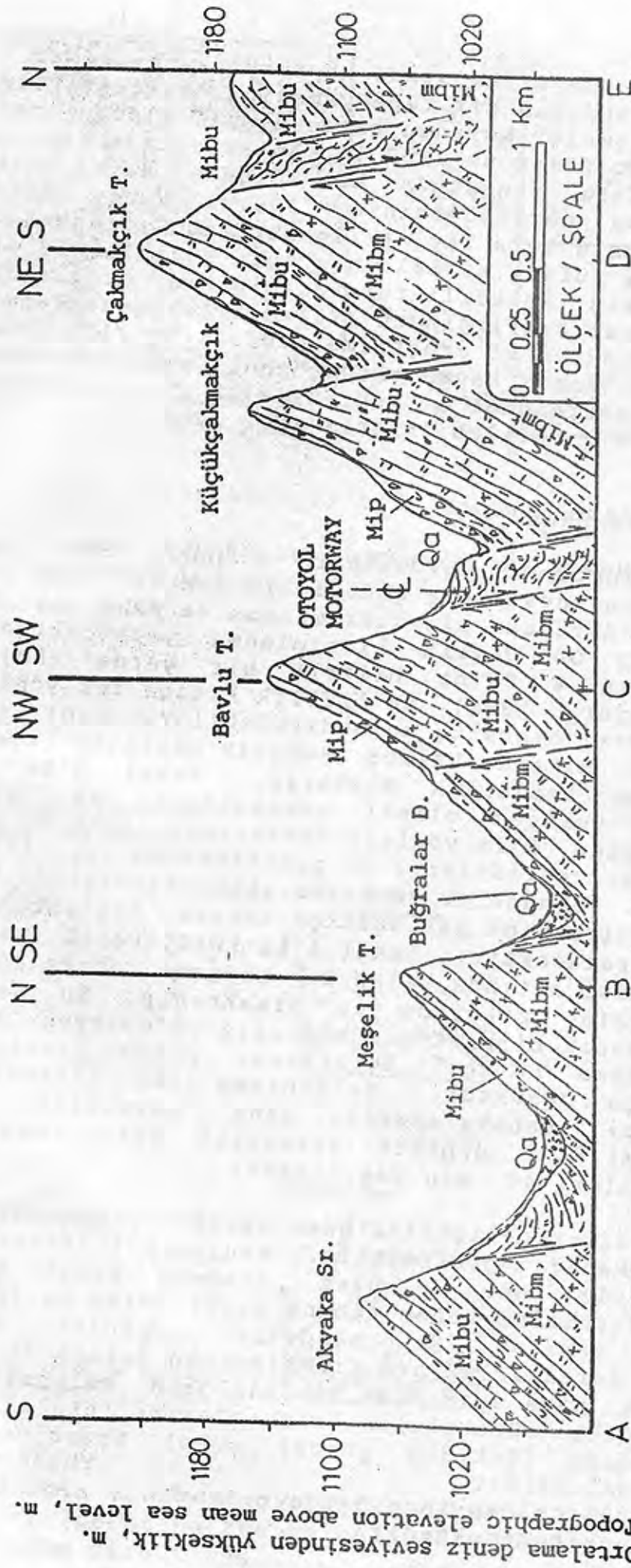
göstermektedir. Bu değişime bağlı olarak bu sınıflandırmalar da değişmek ve gelişmek zorundadır. Bieniawski (1989)'nin hazırladığı elkitabında zamanla değişim gösteren sınıflandırmalar öz olarak sunulmuştur.

Benzer jeolojik olayların etkisinde kalmış sahalarda süreksizliklerin belirli bir düzen gösterdiği bilinmektedir (Şek. 1). Süreksizlik sistemlerinin anlaşılması uygun jeoloji-jeoteknik modellerin hazırlanmasını ve araştırmaların doğru yönlendirilmesini sağlar. Konu içerisinde fay ve eklem sistemleri başlıkları altında örnekleme yapılarak konuyu önemi vurgulanmaya çalışılacaktır. Yarma yamaç duraylılığının kinematik incelemesinde Yilmazer ve diğerleri (1992) tarafından da önemle vurgulandığı gibi süreksizlik çalışması büyük önem taşımaktadır. Ayrıca süreksizlik veri formları da sözkonusu yayında sunularak araştırmacıya yardımcı olunacağı düşünülmüştür.

FAYLAR

Fayların yaratabileceği jeoteknik sorunlar fayların çeşitlerine göre değişebilir. Ankara-Gerede otoyolunun 57. km'sinden 76.cı km'sine kadar geçerli olan ve şekil 1'de gösterilen fay sistemi çok belirgin olarak gözlenebilmektedir. Birbirine paralel uzanan ve fay aynalarınınca oluşturulmuş yüzey şekilleri 1:25000 ölçekli topoğrafik haritalarda kolayca seçilebilmektedir. Bölgedeki dayklar ve püskürük kayaç bacaları (fissure type eruption) genellikle faylara paralel çizgisellikler göstermektedir. Faylar, bu faylara bağlı gelişen eklem sistemleri ve magmatik dahanaklar birer süreksizlik olup üzerine gelecek yapının duraylılığını doğrudan etkilemektedirler. Çekim faylarında düşen blok göreceli olarak daha fazla etkilenmiş olup/ ayrışma ve/veya güllenme derecesi daha yüksektir. Bu özelliklerin ortaya çıkarılması mühendislik yapısının doğru yerleştirilmesini sağlayacaktır. Güncel çökellerle örtülü zeminlerde fay zonlarını izlemek zordur. Ancak fay sistemleri ve özellikleri gözlenebilen alanlarda ayrıntılı çalışıldığında ilgili alana taşımak kolaylaşacak ve zemin araştırmalarında bu bağlamda yönlendirilecektir. Başka bir anlatımla kesin gözlemlere dayalı bir jeolojik modelden yararlanarak doğru değerlendirme ve araştırma olanağı elde edilecektir. Ters faylarda özellikle itki faylarda (<45°) yükselen blok daha zayıf mühendislik özellikleri içerir (Yilmazer, 1990).

Bir vadinin yamaçlarında güncel örtünün olmadığı yerlerde gözlenebilen bir itki fayı 'V' kuralı ile haritalanabilir. Doğrultu atımlı faylar dik veya dike yakın olup genellikle doğrusaldırlar. Fayın eğimi yönünde akan dere ile oluşturulmuş vadide 'V' nin şekli fayın eğimine bağlıdır. Fay eğimi derenin eğiminden fazlalaştıkça 'V'nin açısı genişler. Saha gözlemleri (hidrojeolojik özellikler, bitki örtüsü, doğal eğimde değişme, güncel örtünün özellikleri vb.) ile elde edilen bilgilerin üç boyutlu olarak değerlendirilmesi örtülü alanların yorumlanmasına yardımcı olacaktır.



Şekil 1. Belirgin bir çekim fay sistemine Ankara - Gerede Otoyolunun 61 ve 64. kilometreleri arasında yer alan sahadan bir örnek.

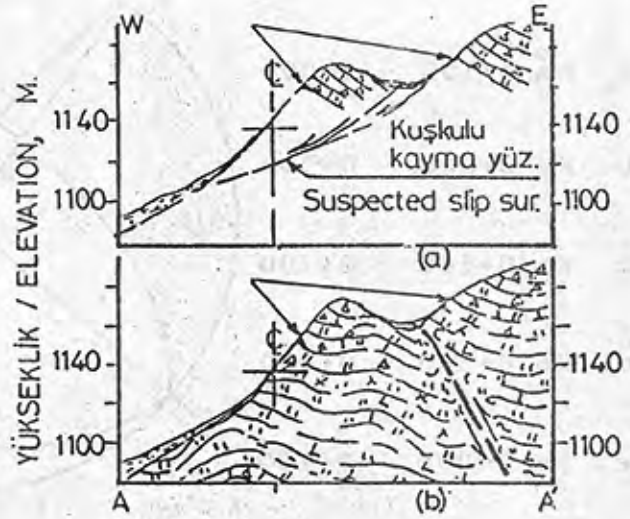
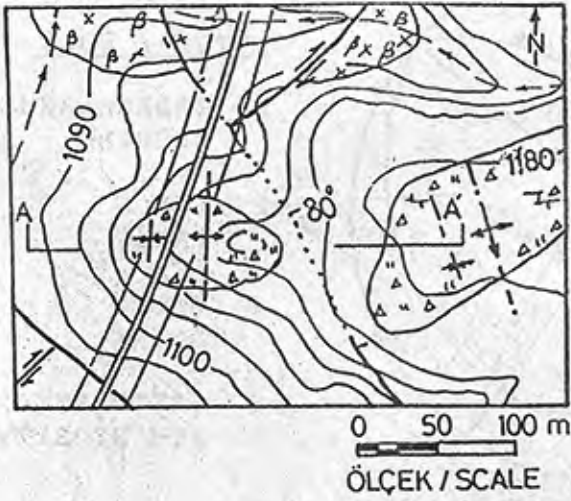
Figure 1. An example for a distinct gravity fault system from the area between chainages Kİ 61+000 and 64+000 along the Ankara-Gerede Motorway.

Ankara-Gerede otoyolunun 42.km'sinde köprünün kuzey kenar ayağı kayma morfolojisini andıran bir tepe yamacına yerleştirilmiştir (Şek. 2a). İlk çalışmalar buranın kayma alanı olduğu varsayımı üzerine oturtulmuştur (Parsons, 1987). Ancak daha sonra yapılan süreksizlik çalışmaları sonucunda bu bölgede kayma olmadığı anlaşılmıştır. Kayma morfolojisinin ~100 m kuzey doğusunda yeralan 80 /040 konumlu ters fay (Yılmazır and Gallerani, 1989) ve tüf, kalkerli tüf, tüfit, silisleşmiş tüf, silisleşmiş organik çamurtaşı, silisleşmiş kalkerli tüf ve aglomera ardalanmasının yarattığı farklı aşınma özelliğinden (Yılmazır) kaynaklanmıştır. Bu alanda aylarca süren 15 araştırma hendeği ve 10^m araştırma sondajı açılmıştır. Ancak kayma görüntüsünün yukarıda anlatılan nedenlerden kaynaklandığı süreksizlik sistemlerinin çalışılmasıyla ortaya çıkarılabilmektedir (Şek. 2b).

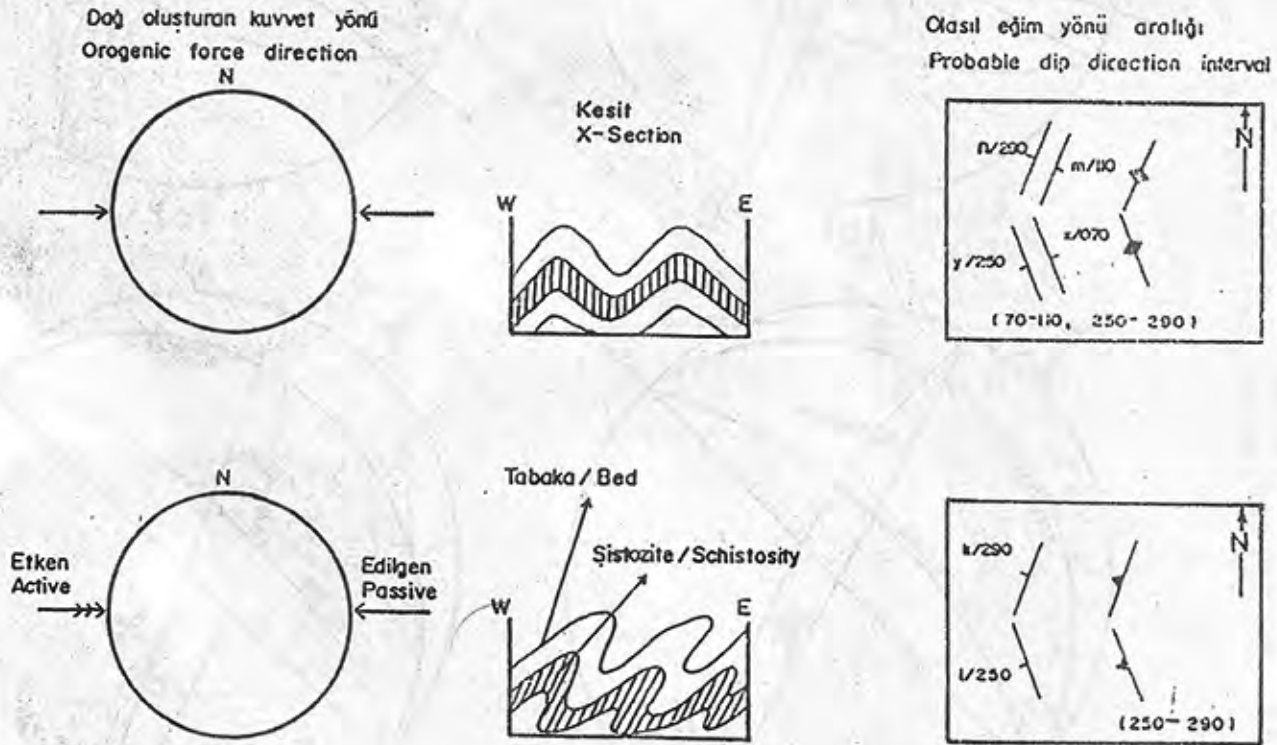
TABAKALANMA-ŞİSTOZİTE-EKLEM

Tabakalanma dağ oluşturan kuvvetlerin yönünde eğim kazanır. Tabaka doğrultusu bu kuvvetlere çoğunlukla diktir. Nur dağında olduğu gibi ileri derecede bir kıvrımlanma ve daha çok belirli bir yönde itme (KB GD) devrik kıvrımlanma yaratmaktadır. Bu durumda tabakaların % 90'ını belirli bir yerde (KB) eğim gösterirler (Yılmazır, 1992). Bu özellik kısaca tek yönlü yapı (monoclinial structure) olarak adlandırılabilir. Aynı tektonik kuvvetlerin etkisi altında kalmış jeolojik birimler içerisinde tabakalanma sistemi benzerlik gösterir. Şekil 3'te kuvvet yönlerine bağlı gelişen olası tabakalanma ve şistozite sistemleri sunulmuştur. Eğim yönleri kuvvetlerin yönünde olup +20 derecelik sapma gösterebilirler. Bu genellemenin geçerliliği fay zonları, magmatik dokanaklar ve kayma alanları dışında %90'dır. Gözlem noktaları birbirine yaklaştıkça tabaka doğrultularındaki değişim aralığı daralacaktır. Şekil 4'te KB-GD yönlü sıkıştırma kuvvetlerinin etkisi altında kalan bir bölgede tabaka eğim yönü 140-152 ve 316-318 arasında yer almaktadır. Bu kadar çok kurallara uyan ancak birbirinden bağımsız yüzeyleyen ana kaya yüzleklerinin kayma kütlesi içerisinde yüzen bloklar olma olasılığı oldukça düşüktür. Tektonizma ile kazanılmış bir şistozite sistemi tabakalanmadan daha güvenilir sonuçlar vermektedir. Yukarıdaki örnekte şistozite eğim yönü 316-342 arasında olup eğimleri 40 'nin üzerindedir.

Şekil 5'te süreksizlik çalışmalarından hareketle ~~güncel~~ güncel çökel-anakaya dokanağı çizilmiştir. Aynı şekil üzerinde yüzey şeklinden hareketle öne sürülen dokanak kesik çizgi ile gösterilmiştir. Birbirine taban tabana karşıt olan bu iki yorumun ~2 yıl sonra yapılan iki sondajla doğruluk dereceleri araştırılmıştır. Süreksizlik araştırmalarının jeoteknik işlerdeki önemi, zaman ve para açısından bir kez daha anlaşılmış oldu. Yaşlı birimlerdeki süreksizlik sistemlerine ek olarak dere kenarındaki yarmada (Şek.5b) güncel çökel içerisinde görülen istifleşme de anlamlıdır. Yüzlerce metre uzunluğunda ve 50 cm'den ince 3-4 ayrı zamanlı istifleşme bir kayma topuğunda beklenmemektedir.

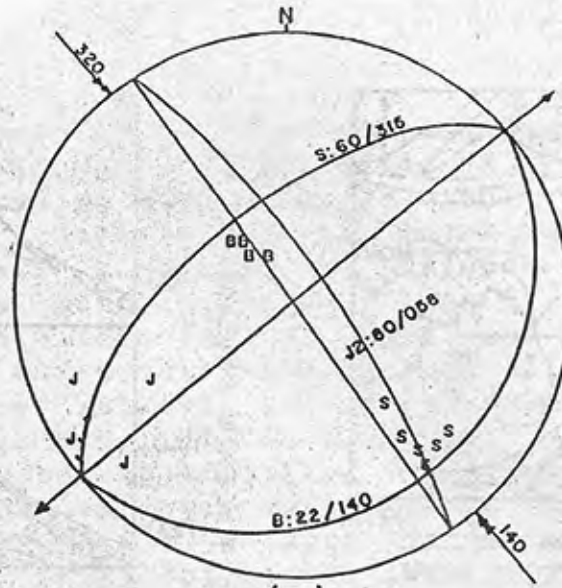


Şekil 2. Ters fayın ardışık bir tortul istifte yarattığı kayma şekli.
Figure 2. Slide morphology created by a reverse fault in an alternating unit.



Şekil 3. Eğim yönü - dağ oluşturan kuvvet yönü ilişkisi
Figure 3. Illustrating the relationship between orogenic force and dip directions.

- a. Km 1+100 - 1+300
- b. Km 0+800 - 0+900
- c. Km 0+600 - 0+700
- d. Km 0+500 - 0+600
- e. Km 0+000 - 0+100



KUTUP / POLE

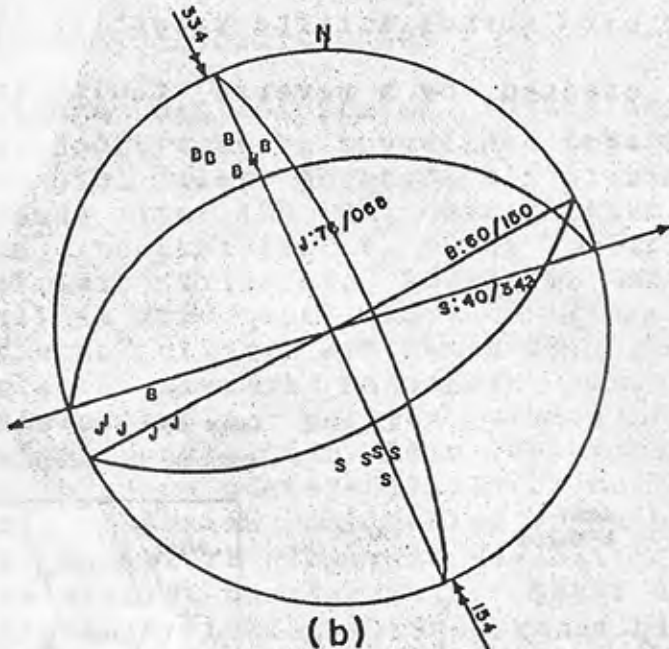
B: TABAKALANMA
BEDDING

F: FAY
FAULT

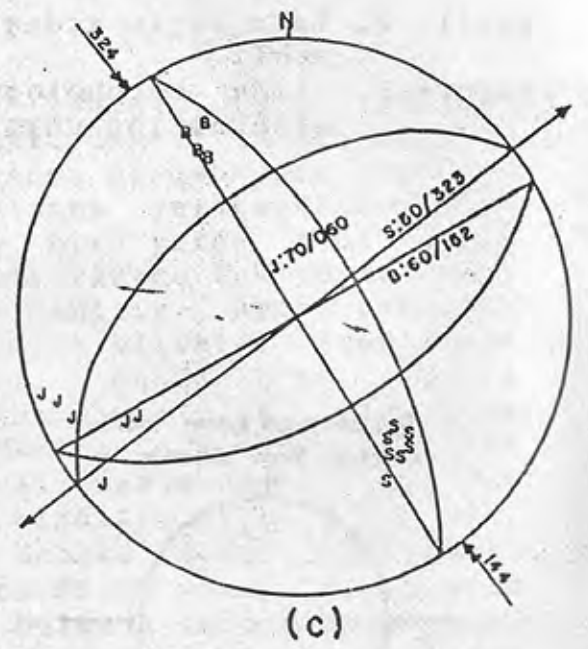
J: EKLEM
JOINT

S: ŞİSTOZİTE
SCHISTOSITY

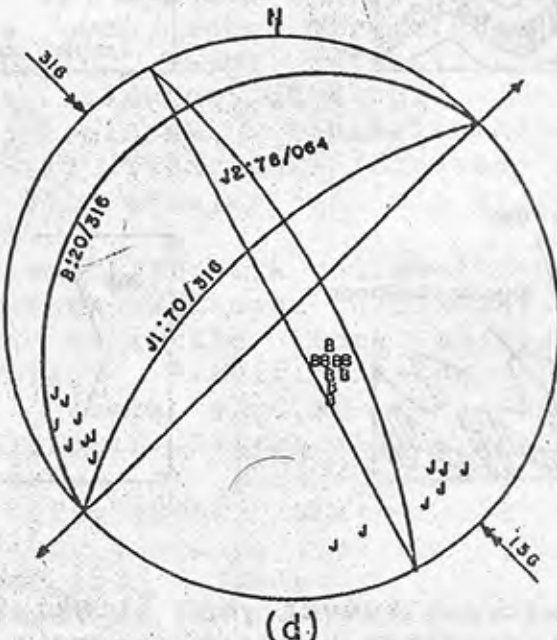
(a)



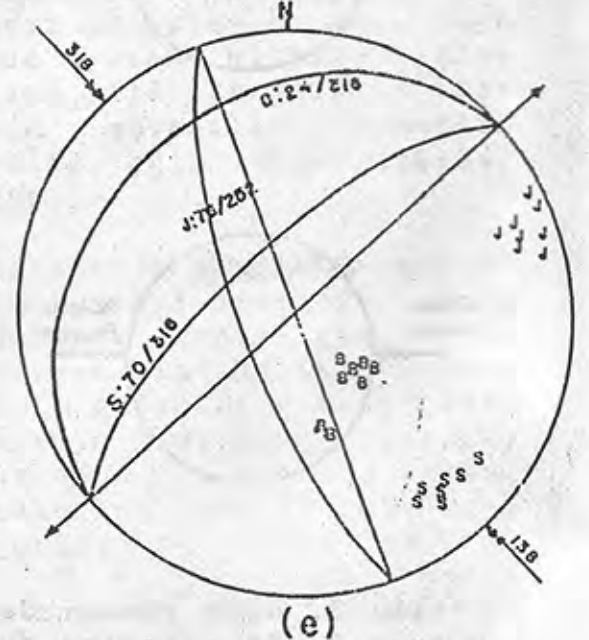
(b)



(c)

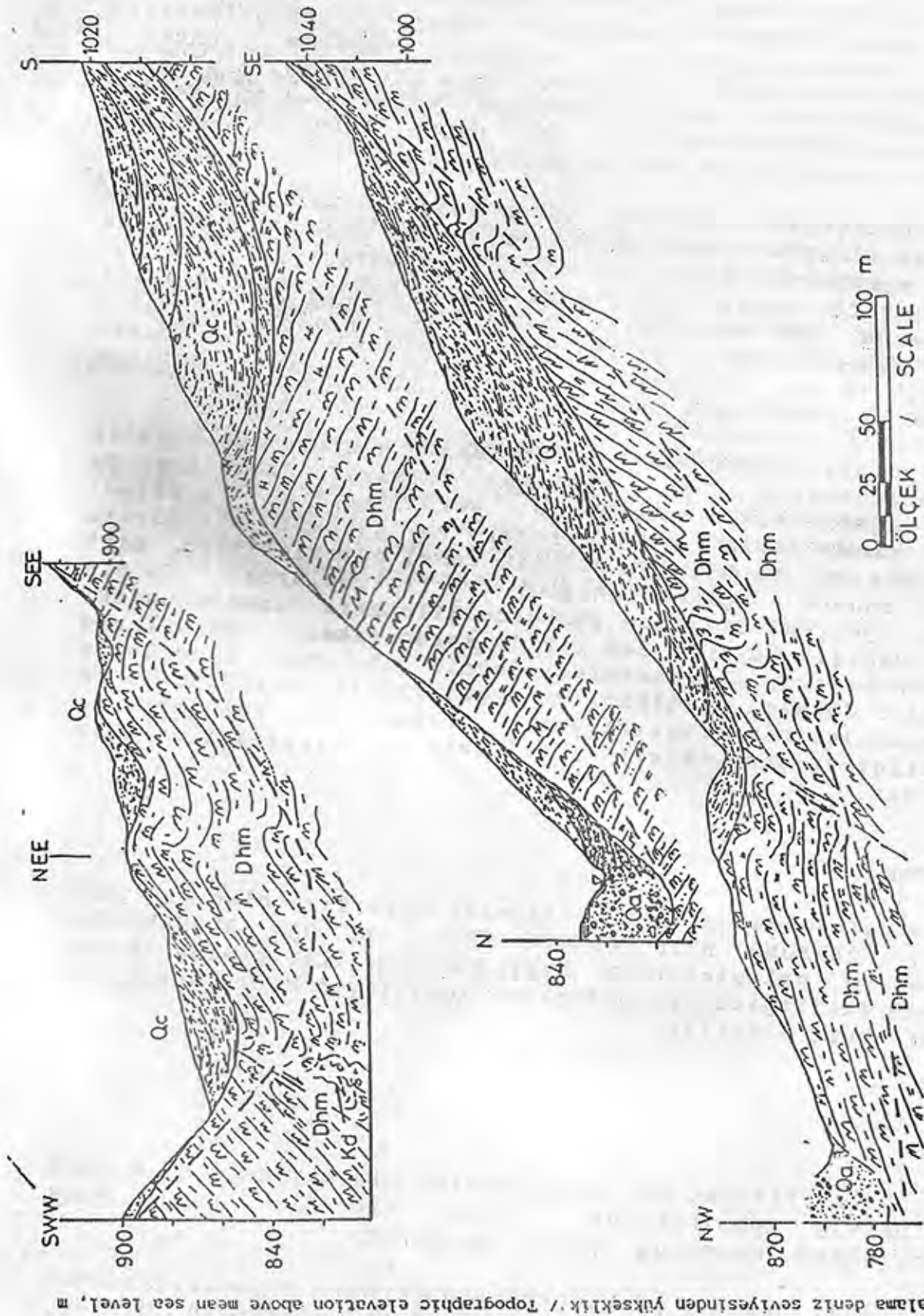


(d)



(e)

Şekil 4.Eşit olan aşağı yarıküre stereografik izdüşümü.
Figure 4.Equal area lower hemisphere stereographic projection.



Şekil 5. Süreksizlik gelişmelerine (---) ve yüzey şekline göre çizilmiş (—) anakaya dokanakları.

Figure 5. Two different bedrock configurations illustrated by dashed and solid lines which are based mainly on topographic features and discontinuity survey respectively.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bir doğa bilim dalı olan jeoloji mühendisliği yaşanmış ve yaşanmakta olan doğa olaylarının doğru ^{sonuç} anlaşılmasıyla gelişeceğine inanılmaktadır. Konu içersinde ~~verilen~~ güncel örnekler ve şekillerle anlatım, konunun daha iyi anlaşılabilceği düşünülerek verilmiştir. Ayrıca ulaşması kolay olan bu yerler Jeoloji Mühendisliği öğrencileri için uygun birer gözlem ve deneyim sahaları olabileceği düşünülmüştür.

Süreksizlik çalışmaları birkaç günde tamamlanabildiği halde sondaj çalışmaları aylarca sürebilmektedir. Bu nedenle, özellikle dereli-tepeli sahalarda, yüzey jeolojisi çalışmalarıyla jeoteknik modeller üç boyutlu olarak hazırlanmalıdır. Daha sonra gerekli görülen yerlerde hem modellerin doğruluğu hem de jeolojik birimlerin mühendislik özellikleri ~~sondaj~~, araştırma çukuru/hendeği v.b. yöntemlerle araştırılmalıdır. Böylece gereksiz zaman ve para kaybı önlenecektir.

Jeoteknik sorunların mekanizması anlaşıldığında uygun mühendislik çözümleri bulunabilir. Bu bağlamda 'Türkiye Otoyollarında karşılaşılan jeoteknik sorunların yerbilimciler arasında tartışılması, nedenlerin araştırılması ve gerekli çözümlerin önerilmesi eğitici ve uygulayıcıların temel görevlerinden biri olacaktır' sonucu çıkarılabilir. Trilyonlarca TL'nin harcanmasıyla gerçekleştirilen yüzlerce kilometre uzunluğundaki otoyollarda değişik kökenli çok sayıda sorun çıkması yazarların bu sonuca varmasının ana nedenlerindendir. Bu tür sorunların çıkması ne kadar doğalsa, eğitici ve uygulayıcılar tarafından bu sorunların nedenlerinin araştırılması, çözümlerinin bulunması ve kazanılan bilgi ve deneyimlerin ilgililere ulaştırılması o kadar doğal olmalıdır.

KATKI BELİRTME

Yazarlar, bu çalışmada çeşitli şekillerde katkıları olan DAR MUH. MUŞ. A.Ş., PARSONS BRINCKERHOFF INC. ve DAR AL-HANDASAH şirketlerine ve çalışanlarına ayrıca bilgi iletişimine katkı sağlamanın gerekliliğini her defasında vurgulayan Metin Borahan'a teşekkürü bir borç bilirler.

KAYNAKÇA

- Bieniawski, Z.T., (1979), The geomechanics classification in rock engineering applications; Proc. 4th Int. Cong. Rock Mech., ISRM, Montreux, vol.2, pp.41-48.
- Bieniawski, Z.T., (1989), Engineering Rock Mass Classifications: A complete manual for engineers and geologists in Mining, Civil and Petroleum engineering. John Willey & Sons, New York, 251 pp.

- Parsons Brinckerhoff International Inc., (1987), Geological Investigation of the north abutment site of the KM 42 bridge; Report (unpublished), Ankara-Türkiye.
- Terzaghi, K., (1946), Rock defects and load on tunnel support; Rock tunneling with steel supports, ed. R.V. Proctor and T.White Commercial Shearing Co., Youngstown, OH., pp 15-99.
- Yilmazer, İ. and Gallerani, J., (1988), Engineering geological evaluation of the KM 42 Bridge Site; Report (unpublished), Parsons Brinckerhoff Int. Inc., Ankara-Türkiye.
- Yilmazer, İ., (1990), Güzergah belirlenmesi ve bu seçimde jeolojinin önemi; Jeoloji Mühendisliği, 36, 37-45.
- Yilmazer, İ., (1991), Bir tortul istifteki farklı aşınma özelliğinin jeoteknik araştırmalardaki önemi; Türkiye Jeoloji Kurultayı Bülteni, 6, 335-345.
- Yilmazer, İ., ve Ertunç, A., (1992), Engineering geology of the Bahçe-Kömürlük Region accross the Nur Mountain Range; Submitted to International Symposium on the geology of the Eastern Mediterranean Sea Region.

ESKİŞEHİR OVASI YERALTISUYUNDAKİ NİTRAT KİRLİLİĞİNİN İNCELENMESİ

INVESTIGATION OF THE NITRATE POLLUTION IN GROUNDWATER IN ESKİŞEHİR PLAIN

Fikret KAÇAROĞLU *

ÖZET

Eskişehir'de içme, kullanma ve endüstriyel su gereksinimleri için ovada açılmış olan kuyular aracılığı ile yeraltısuyundan yararlanılmaktadır. Öte yandan ovadaki yeraltısuyu endüstriyel atıksular, evsel atıksular ve tarımsal çalışmalar etkisi ile kirletilmektedir.

Eskişehir ovasındaki yeraltısuyu kirliliği iki yıllık detaylı çalışma ile incelenmiştir. Bu bildiride nitrat kirliliği üzerinde durulmaktadır. Ovada yeraltısuyundaki nitrat kirliliğinde alansal ve zamansal değişimler gözlenmektedir. En yüksek nitrat derişimleri genellikle yerleşim alanının orta ve doğu kesimindeki kuyularda gözlenmiştir. Yeraltısuyundaki nitrat derişimi büyük mevsimsel değişimler göstermektedir (10-200 mg/l). Genellikle yağışlı dönemlerde düşük, kurak dönemlerde yüksek derişimler saparmıştır. İçmesuyu standartları açısından, bazı kuyulardaki nitrat derişimleri hemen hemen her mevsimde izin verilebilen maksimum sınırları aşmaktadır.

ABSTRACT

The drinking, domestic and industrial water requirement for Eskişehir city are supplied from groundwater resources. On the other hand, the groundwater in Eskişehir plain has been polluted by means of industrial wastewaters, domestic wastewaters and agricultural activities.

The groundwater pollution in Eskişehir plain has been investigated for two years. This paper presents the nitrate pollution in the groundwater. There are areal and seasonal changes in nitrate pollution in the groundwater. The maximum nitrate concentrations have been detected in the boreholes situated in the central and eastern part of the urban area of Eskişehir city. Significant seasonal changes (10-200 mg/l) in nitrate concentrations have been detected.

* Yard. Doç. Dr. Cumhuriyet Ü. Müh. Fak. Jeoloji Msh. Bsl. 58140 SİVAS

Generally the low nitrate concentrations have been observed in wet seasons, and the high nitrate concentrations in dry seasons. From the point of drinking water standards, nitrate content in some boreholes exceed the maximum permissible level in Turkish Drinking Water Standards in almost every seasons.

1. GİRİŞ

Hızlı nüfus artışı, şehirleşme, endüstri ve tarımın gelişmesi son yıllarda dünyada olduğu gibi yurdumuzda da çevre kirliliği problemleri ortaya çıkarmıştır. Yeraltısuyu kirliliği, bu problemler içinde önemli bir yer tutmaktadır. Ülkemizin bazı bölgelerinde yeraltısuyu kirliliği problemi ciddi boyutlara ulaşmıştır.

Endüstrileşmiş ülkelerdeki yeraltısuyu araştırmalarında son yıllarda dikkatler, yeraltısularından yararlanmadan çok, kalite problemi üzerine çevrilmiş durumdadır. Tüketici yaşıntının sonucu olarak yeraltısuları, hergün artan sayıda kimyasal maddenin saldırısına uğramaktadır (Freeze ve Cherry, 1979).

Eskişehir, yurdumuzdaki hızlı büyüyen ve endüstrileşen kentlerden biridir. Bu hızlı gelişime paralel olarak su kullanımı da hızla artmaktadır. Ovanın büyük bir bölümünde sulu tarım yapılmakta ve yapay gübreler kullanılmaktadır. Eskişehir'de evsel, endüstriyel ve diğer su ihtiyaçlarının karşılanması amacıyla önemli miktarda yeraltısuyu kullanılmaktadır. Bu ihtiyaçlar için kullanılan yeraltısuyu, ovadaki alüvyon akiferde açılmış olan sondaj kuyularından sağlanmaktadır. Diğer yandan ovadaki yeraltısuyu, evsel atıksular, endüstriyel atıksular ve tarımsal faaliyetler etkisi ile kirlenmektedir.

Eskişehir ovasındaki yeraltısuyu kirliliği iki yıllık gözlem, örnekleme ve su analizi çalışması yapılarak incelenmiştir. İncelemeler sonucunda yeraltısuyu kirliliğinin kimyasal özellikleri, alansal yayılımı ve mevsimsel değişimi ortaya konmuştur. Bu bildiride, ovadaki yeraltısuyu kirliliğinin en önemli özelliklerinden biri olan nitrat (NO_3) kirliliği üzerinde durulmaktadır.

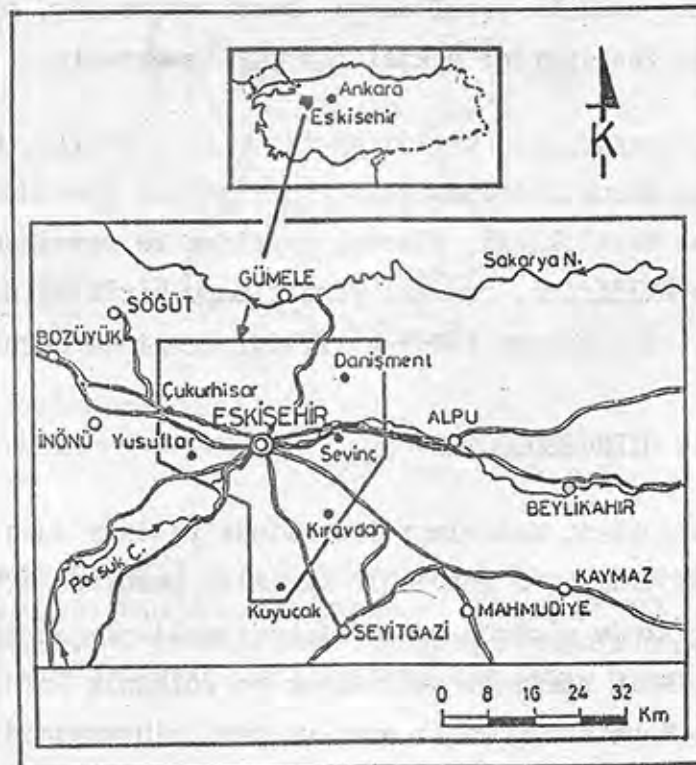
2. ESKİŞEHİR OVASININ HİDROJEOLJİSİ

Eskişehir ovası drenaj alanı sınırları içerisinde yaşları Jura öncesi (Triyas) ile Kuvaterner arasında değişen litolojik birimler yer alır. Stratigrafik istifte en altta Jura öncesinde oluşmuş metamorfik-ofiyolit-metadetritik tektonik birliği bulunur. Bunların üzerinde sedimanter ve volkanik kayalar yer alır. En genç birimler ise Kuvaterner yaşlı eski ve yeni alüvyonlardır (Gözler ve diğ., 1985).

Ovadaki litolojik birimler içinde akifer özelliklerine sahip olup yeraltısuyu taşıyan ve su sağlamada kullanılan birim alüvyondur. Alüvyondan daha yaşlı olan diğer birimler yeraltısuyu depolama ve sağlanması açısından önem taşımazlar. Alüvyon, gevşek tutturulmuş kil, silt, kum ve çakıllardan oluşur. Birimde yer yer çapraz tabakalara ve ince çamur bantlarına rastlanır. Alüvyonun kalınlığı ovanın kıyı kesimlerinde 30-40 m, orta kesimlerinde 100 m kadardır (DSİ, 1975).

Eskişehir Belediyesi, resmi kuruluşlar, özel kuruluşlar ve kişiler tarafından su sağlamada kullanılan kuyular alüvyonda açılmıştır. Arazi çalışmaları sırasında 136 adet sondaj kuyusu saptanmış ve haritalanmıştır. Sondaj kuyularının derinlikleri 14-270 m, debileri ise genellikle 2.5-25 l/s arasında değişir. Alüvyonda açılan kuyularda genellikle ilk 5-10 metrelik kısım killi toprak örtü ile kaplıdır. Bunun altındaki 40-50 m derinliğe inen kısımda kum, çakıl, killi kum, kumlu çakıl vb. gibi su taşıyan ve asıl akiferi oluşturan seviyeler yer alır (Kaçaroglu, 1991).

Ovadaki yeraltısuyu esas olarak yağıştan, akarsulardan ve sulama kanallarından süzülme yoluyla beslenir. Eskişehir'de tüm şehri kapsayan kanalizasyon sistemi yoktur. Şehirde evsel atıksular fosseptiklerde toplanmaktadır. Fosseptiklerden yeraltına süzülen sular yeraltısuyu beslenimine katkıda bulunmakta ve aynı zamanda yeraltısuyu kirliliğine yolaçmaktadır.



Şekil 1 Çalışma alanı bulduru haritası

Eskişehir ovasındaki alüvyonda yeraltısuyu seviyesi 1-33 m arasında değişmekte olup genellikle 5-10 m arasındadır. En kurak ve en yağışlı aylar arasında yeraltısuyu seviyesinin ortalama değişimi 1 m civarındadır. Yeraltısuyunun genel akım yönü B-D ve KB-GD yönlerindedir.

Su bilançosu hesaplamalarına göre ovada yeraltısuyunun yıllık beslenimi 102 milyon m³ tür. Arazi çalışmalarının yapıldığı dönemde (1986-1988) belediye tarafından şehre verilen yıllık yeraltısuyu miktarı 32 milyon m³ olarak hesaplanmıştır. Diğer kuruluş ve kişilerin kullandıkları yıllık yeraltısuyu miktarı 17 milyon m³ tür (Kaçaroğlu, 1991).

3. YERALTISUYU KİRLİLİĞİNİN KAYNAKLARI

Eskişehir ovasındaki yeraltısuyu, çeşitli kirletici kaynakların etkisi altında kirlenmektedir. Bu kirlilik kaynakları aşağıdaki şekilde sıralanabilir:

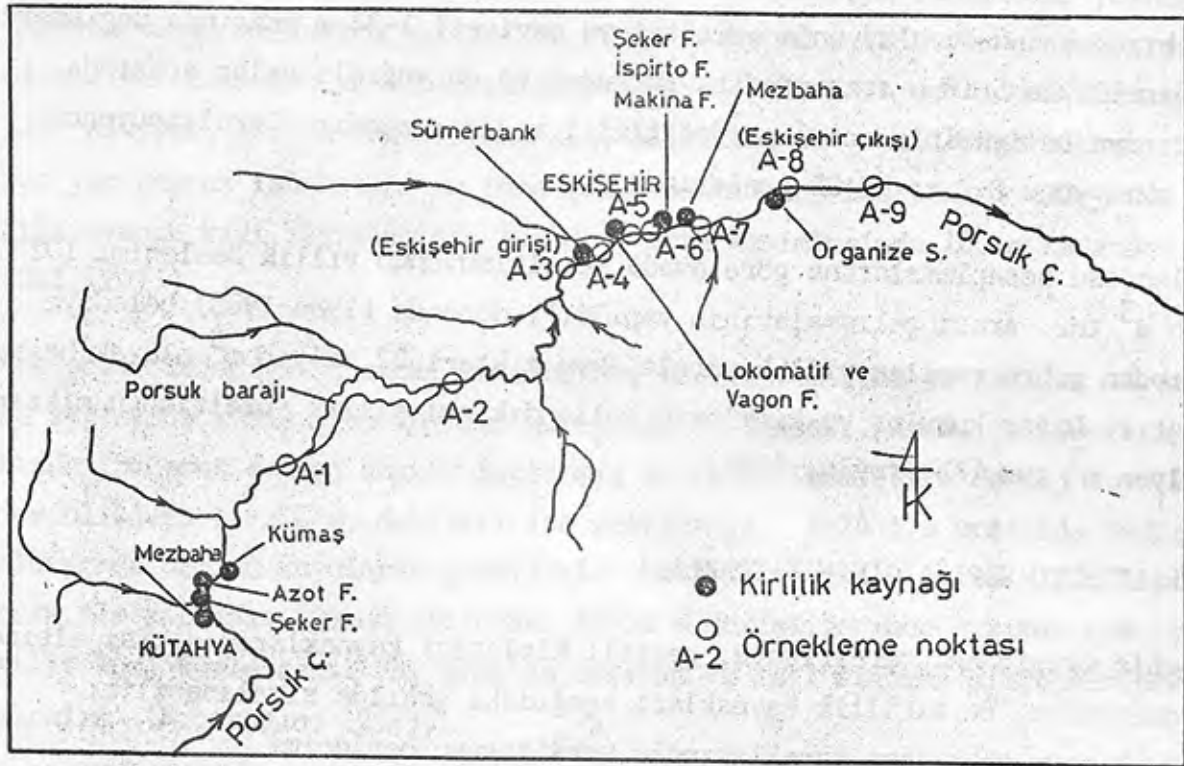
1. Porsuk çayı ve sulama kanallarından yeraltısuyu beslenimi,
2. Evsel atıksuların toplandığı fosseptiklerden süzülme sonucu yeraltısuyu beslenimi,
3. Tarımsal faaliyetler.

Porsuk çayı, Kütahya ve Eskişehir'den geçerken endüstriyel ve evsel atıksularla kirletilmektedir. (Şekil 2). Kütahya ve Eskişehir'de endüstriyel atıksular arıtma yapılmadan Porsuk çayına boşaltılmaktadır. Eskişehir'de evsel atıksuların bir bölümü Porsuk çayı ve sulama kanallarına verilir. Bu nedenlerle Porsuk çayı ve sulama kanallarından yeraltısuyu beslenimi yeraltısuyu kirliliğine yolaçmaktadır.

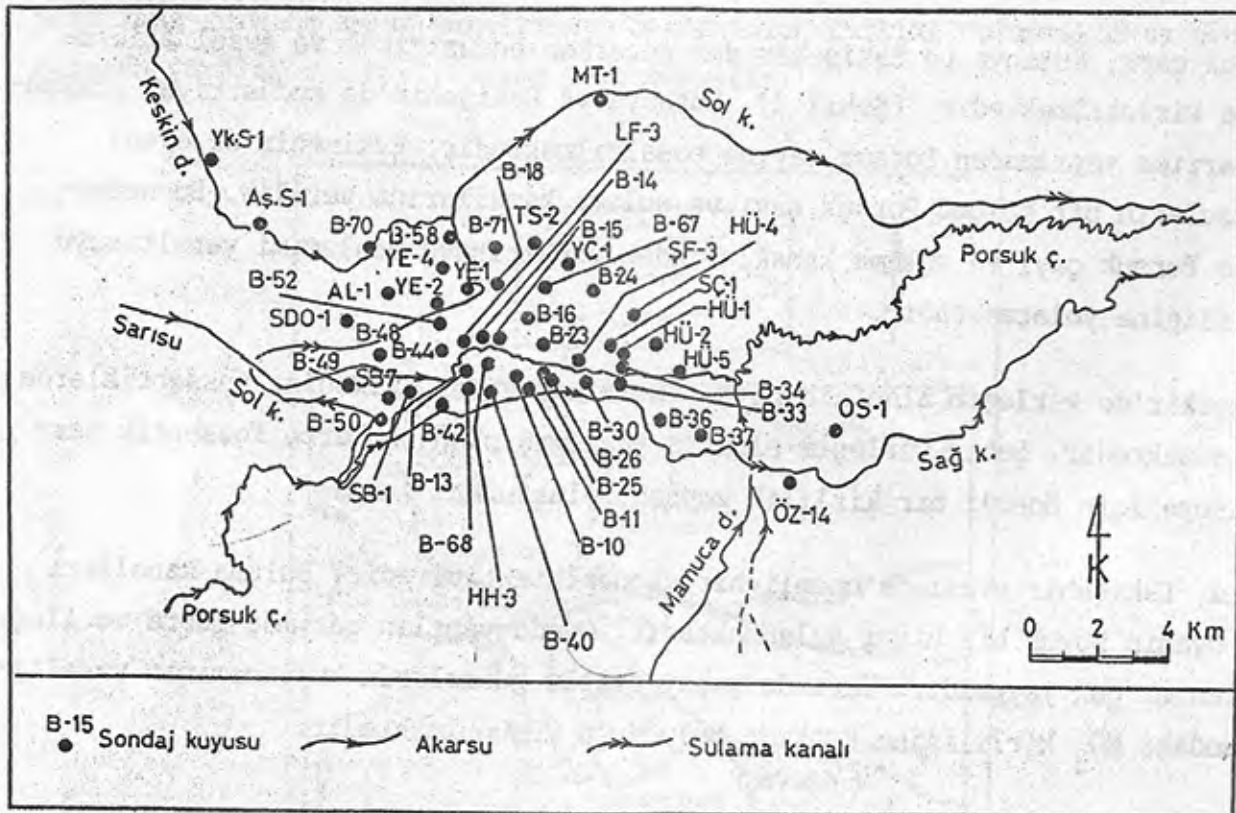
Eskişehir'de yerleşim alanının büyük kesiminde evsel atıksular fosseptiklerde toplanmaktadır. Şehir yerleşim alanına yayılmış olan binlerce fosseptik yeraltısuyu için önemli bir kirlilik kaynağı oluşturur.

Tarım, Eskişehir ovasında önemli bir ekonomik aktivitedir. Sulama kanalları ile ovanın büyük bir kısmı sulanmaktadır. Ovada yapılan tarımda gübre ve ilaç kullanımı çok yaygındır. Tarımda yapay azotlu gübrelerin kullanımının yeraltısuyundaki NO₃ kirliliğine katkıda bulunduğu düşünülmektedir.

Eskişehir'de çeşitli alanlardaki su ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla açılmış olan sondaj kuyularının büyük bölümü yerleşim alanı içinde bulunmaktadır. Ovadaki yeraltısuyu kirliliğinin incelenmesi amacıyla sondaj kuyularından bazıları iki yıllık ölçüm ve örnekleme için seçilmiştir (Şekil 3).



Şekil 2 Porsuk çayını kirleten kaynaklar ve Porsuk çayı üzerindeki örneklem noktaları



Şekil 3 Örneklem yapılan kuyuların ovadaki dağılımı

4. NİTRAT KİRLİLİĞİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

4.1. Porsuk Çayının Kirliliği

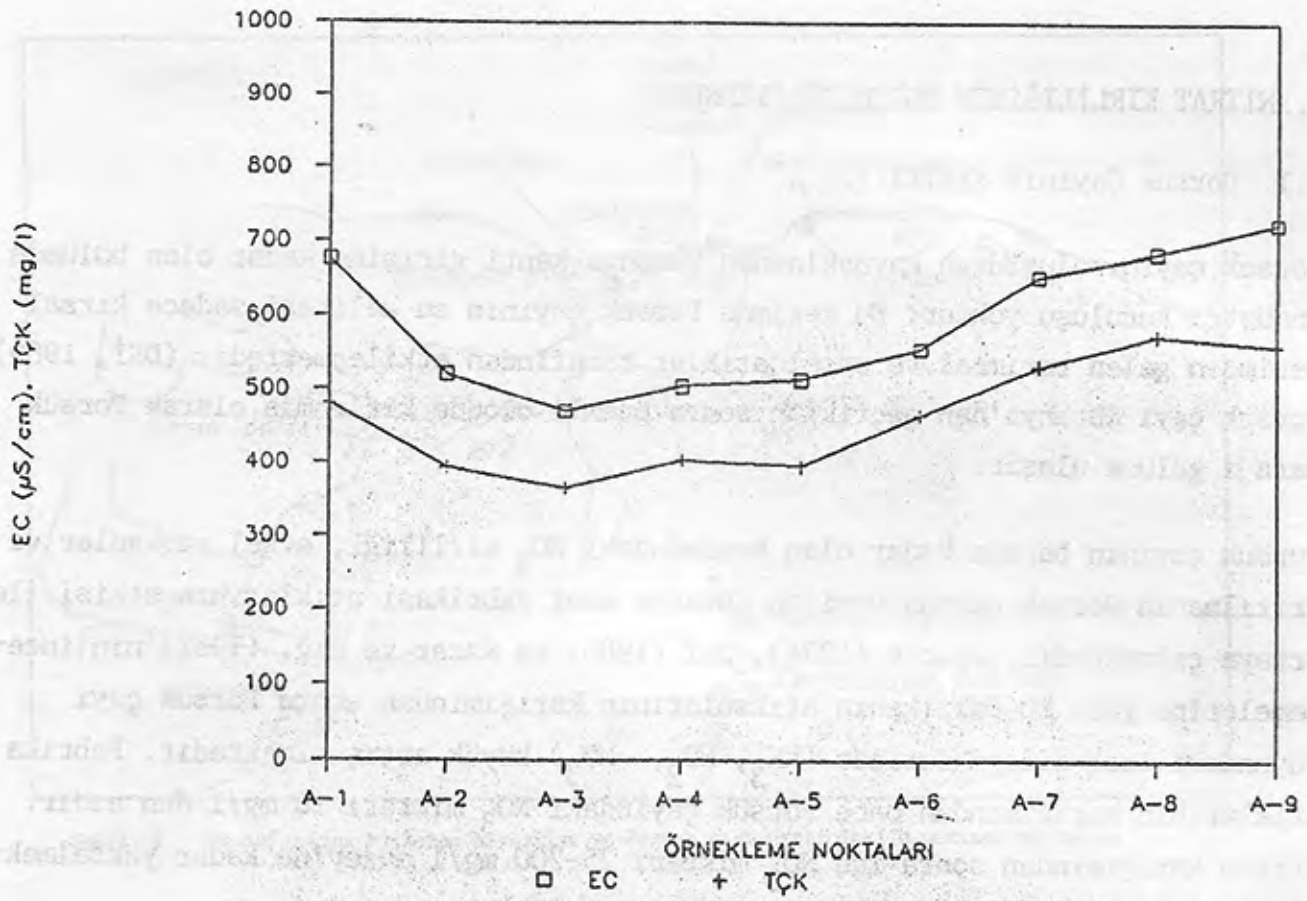
Porsuk çayını oluşturan kaynaklardan Kütahya kenti girişine kadar olan bölümde endüstri kuruluşu yoktur. Bu kesimde Porsuk çayının su kalitesi sadece kırsal kesimden gelen tarımsal ve evsel atıklar tarafından etkilenmektedir (DSİ, 1989). Porsuk çayı Kütahya'dan geçtikten sonra önemli ölçüde kirlenmiş olarak Porsuk barajı gölüne ulaşır.

Porsuk çayının baraja kadar olan kesimindeki NO_3 kirliliği, evsel atıksular ve arıtılmadan Porsuk çayına verilen Kütahya Azot Fabrikası atıklarının etkisi ile ortaya çıkmaktadır. Ağacık (1974), DSİ (1980) ve Kacar ve diğ. (1982)'nin incelemelerine göre bu fabrikanın atıksularının karışımından sonra Porsuk çayı suyundaki azot bileşiklerinde (NH_3 , NO_2 , NO_3) büyük artış olmaktadır. Fabrika atıklarının karışımından önce Porsuk çayındaki NO_3 miktarı 10 mg/l den azdır. Atıksu karışımından sonra ise NO_3 miktarı 25-200 mg/l düzeyine kadar yükselmektedir.

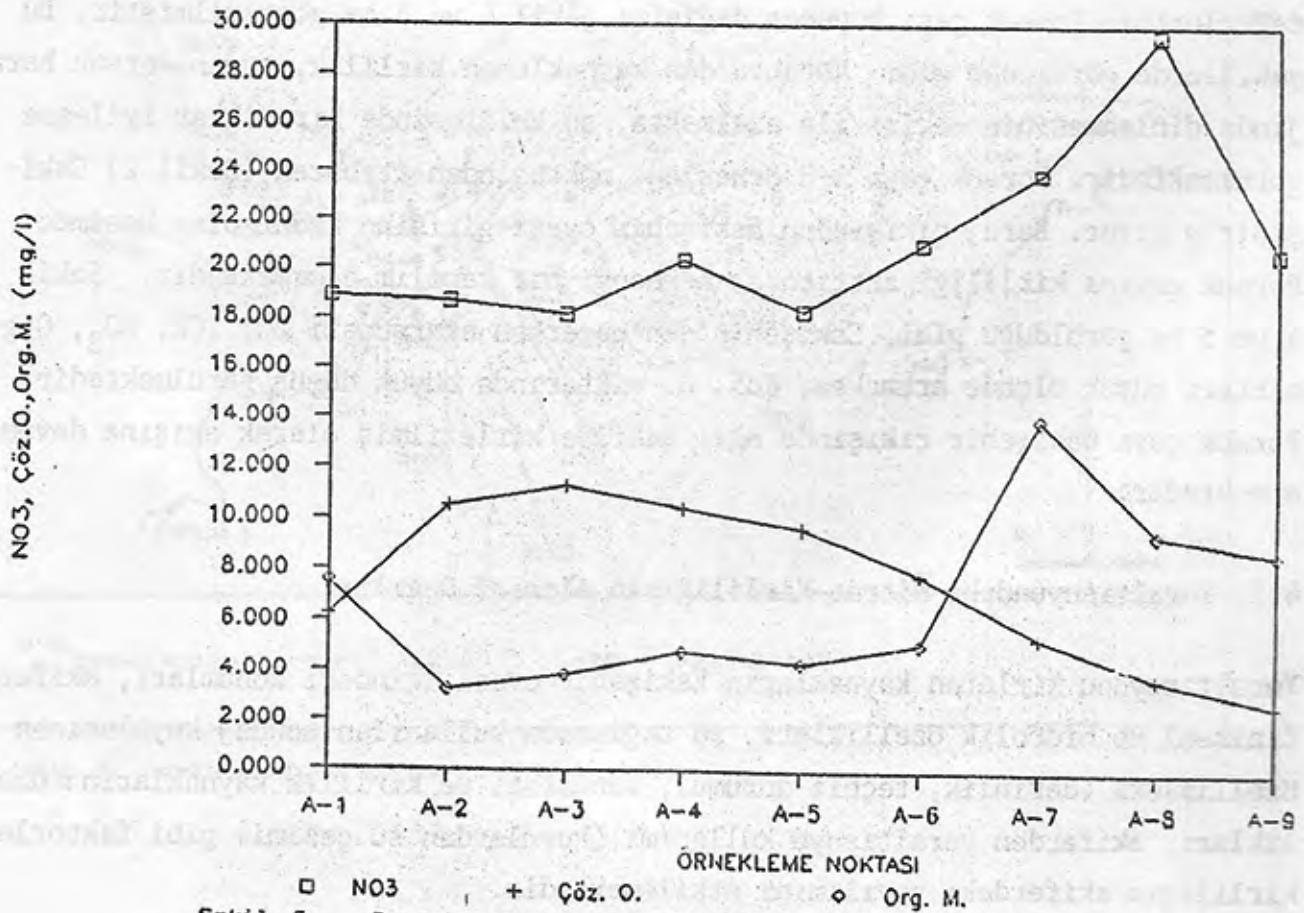
Elektriksel iletkenlik (EC), toplam çözünmüş katılar (TÇK), nitrat (NO_3), çözünmüş oksijen (Çöz. O.) ve organik madde (Org. M.) parametrelerinin ortalama değerlerinin Porsuk çayı boyunca değişimi Şekil 4 ve 5 te gösterilmiştir. Bu şekillerde görüldüğü gibi Kütahya'dan kaynaklanan kirlilik, suyun Porsuk barajında dinlenmesinin etkisi ile azalmakta, su kalitesinde bir miktar iyileşme görülmektedir. Porsuk çayı A-3 örnekleme noktasından itibaren (Şekil 2) Eskişehir'e girer. Baraj çıkışından Eskişehir ovası girişine kadar olan kesimde Porsuk çayına kirliliği arttıracak herhangi bir katılım olmamaktadır. Şekil 4 ve 5 te görüldüğü gibi, Eskişehir'den geçerken akarsudaki EC, TÇK, NO_3 , Org. M. miktarı büyük ölçüde artmakta, Çöz. O. miktarında büyük düşüş görülmektedir. Porsuk çayı Eskişehir çıkışında ağır şekilde kirletilmiş olarak akışına devam etmektedir.

4.2. Yeraltısuyundaki Nitrat Kirliliğinin Alansal Dağılımı

Yeraltısuyu kirlüten kaynakların Eskişehir ovası içindeki konumları, akiferin fiziksel ve hidrolik özellikleri, su sağlamada kullanılan sondaj kuyularının özellikleri (derinlik, teçhiz durumu), konumları ve kirlilik kaynaklarının uzaklıkları, akiferden yeraltısuyu kullanımı (kuyulardan su çekimi) gibi faktörler kirliliğin akiferdeki yayılımını etkilemektedir.



Şekil 4 Porsuk çayı boyunca EC ve TÇK değişimi (ortalama değerler)



Şekil 5 Porsuk çayı boyunca NO₃, Çöz.O., Org.M. değişimi (ortalama değerler)

NO_3 iyonunun ortalama ve mevsimlik değerlerinin ovadaki yeraltısuyunda alansal dağılımını ortaya koymak amacıyla derişim dağılım haritaları hazırlanmıştır. Burada ortalama miktarlar ile bir kurak ve bir yağışlı dönem sonundaki miktarların dağılımını gösteren haritalar verilmiştir (Şekil 6, 7, 8).

Eskişehir yerleşim alanının orta kesiminde ve doğusunda en yüksek ortalama ve mevsimlik NO_3 derişimleri gözlenmiştir. Porsuk çayı ve sulama kanallarından çok uzaktaki kuyularda yüksek miktarda NO_3 saptanmıştır. Kuyu sularındaki NO_3 derişimleri çoğunlukla Porsuk çayı ve kanallardaki NO_3 derişimlerinden yüksektir. Bu, yeraltısuyundaki NO_3 kirliliğinin nedeninin yalnızca Porsuk çayı ve kanallardaki nitratlı sular olmadığını, fosseptiklerde toplanan evsel atıkların yeraltısuyu kirliliğinde önemli rol oynadığını ortaya koymaktadır. Yerleşim alanı dışındaki kuyularda gözlenen NO_3 tarımsal faaliyetlerden kaynaklanmaktadır.

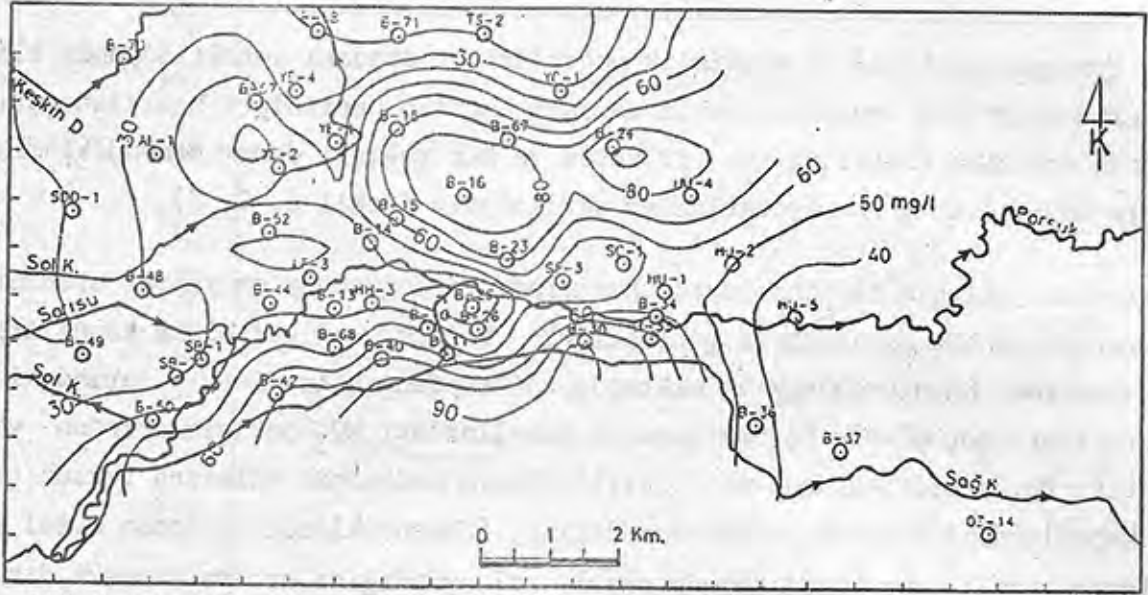
4.3. Yeraltısuyundaki Nitrat Kirliliğinin Mevsimsel Değişimi

Eskişehir ovasındaki NO_3 kirliliğinde mevsimsel değişimler gözlenmektedir. Bu değişimler, yeraltısuyunun beslenme koşulları, kirlетici kaynaklardan gelen kirlilikteki değişimler, iklim koşulları, yeraltısuyu düzeyi değişimleri, kuyulardan yeraltısuyu kullanımının değişimi, tarımsal faaliyetler vb. gibi faktörlere bağlı olarak ortaya çıkmaktadır.

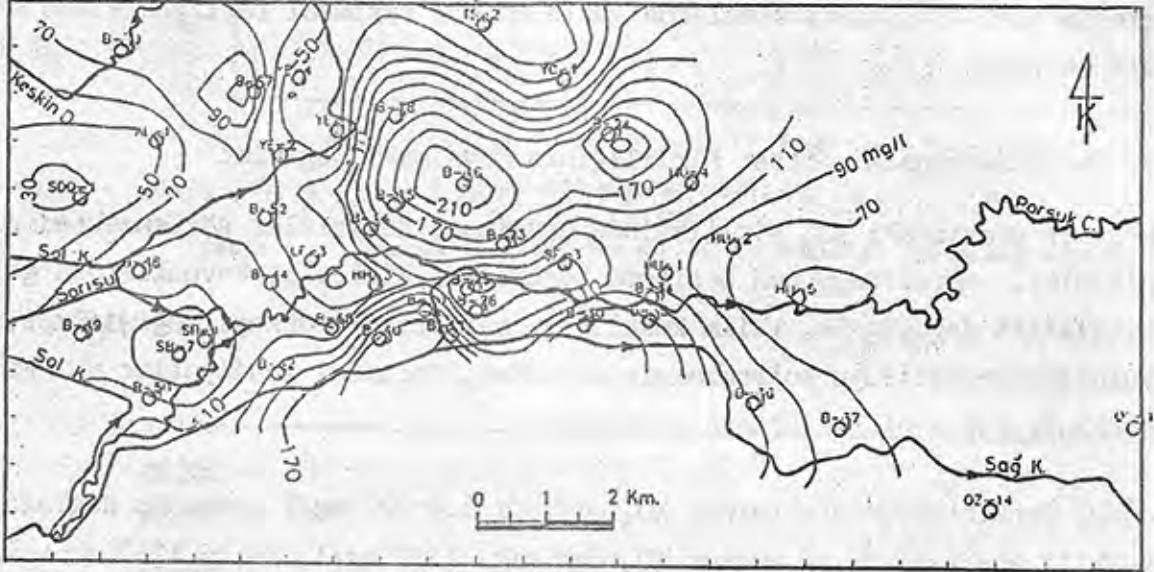
Ovadaki yeraltısuyunda ortalama NO_3 miktarı 5.4-100 mg/l arasında değişir. Mevsimlik analizlerde en yüksek NO_3 derişimi (257 mg/l)-Kasım 1987 döneminde B-24 nolu kuyuda gözlenmiştir.

Ovadaki kuyularda NO_3 derişimi mevsimden mevsime 10-200 mg/l arasında değişimler göstermektedir. Büyük mevsimlik değişimlerin gözlendiğı kuyular çoğunlukla yerleşim alanı içerisinde yeralan ve Eskişehir Belediyesine ait olan kuyulardır. Yerleşim alanı dışındaki kuyularda NO_3 miktarları mevsimden mevsime daha küçük değişimler gösterir.

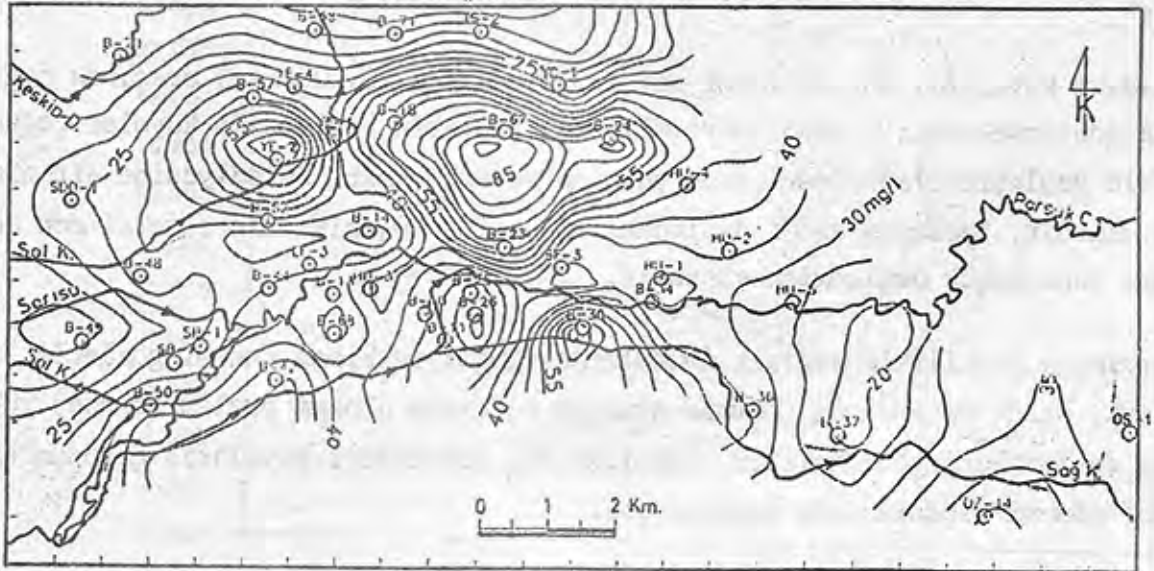
Kuyularda genellikle yağışlı dönemlerde (Şubat ve Nisan dönemi gözlemlerinde) düşük, kurak dönemlerde (Temmuz-Ağustos ve Kasım dönemi gözlemlerinde) yüksek NO_3 derişimleri gözlenmiştir. Maksimum NO_3 miktarları kuyuların çoğunda Kasım 1987 dönemi ölçümlemlerinde saptanmıştır.



Şekil 6 Eskişehir ovası yeraltısuyunda NO_3 dağılımı (ortalama değerler)



Şekil 7 Eskişehir ovası yeraltısuyunda NO_3 dağılımı (Kasım 1987)



Şekil 8 Eskişehir ovası yeraltısuyunda NO_3 dağılımı (Nisan-Mayıs 1988)

- DSİ (1980) Protection of Inland Water Quality, Porsuk River Pilot Project Report (TUR/77/019 DSİ-UNDP-WHO Project). State Hydraulic Works (DSİ) Dept. of Water Supply and Sewerage, 207 p.
- DSİ (1989) Porsuk Havzasında Hidrobiyolojik Metodların Uygulanması ve Su Kalitesi Değerlendirmeleri. DSİ III. Bölge Md., Eskişehir, 22 s.
- Freeze, R. A., Cherry, J. A. (1979) Groundwater. Prentice Hall Inc., New Jersey 07632, USA, 604 p.
- Gözler, M. Z., Cevher, F., Küçükayman, A. (1985) Eskişehir Civarının Jeolojisi ve Sıcaksu Kaynakları. MTA Dergisi, no 103-104, 40-54.
- Kacar, B., Arat, A., Sağlam, C., Keskin, H. (1982) Kütahya Azot Fabrikaları Artık Sularından Tarımda Yararlanma Olanakları. Tübitak Tarım ve Orman Araştırma Grubu, proje no. TOAG/256, Tübitak yayın no. 515, 33 s.
- Kaçaroğlu, F. (1991) Eskişehir Ovası Yeraltısuyu Kirliliği İncelemesi (Doktora Tezi). Hacettepe Üniv. Fen Bilimleri Enst., Ankara, 340 s.
- TSE (1986) İçme Suları. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 97 s.

Remzi KARAGÜZEL*

ÖZ: Almanya'nın en büyük içme suyu barajı olan 'Grosse Dhünn Barajı' eksen yeri temel kayası; kilit taşı, silt taşı, kum taşı ve bunların değişik kombinasyonlarından meydana gelmektedir.

Basınçlı su deneyleri; temel kayanın permeabilitesinin, jeolojik ve barajın teknik özelliklerine göre belirlenen sınır değerin (2 l ./dak.m.) çok üzerinde olduğunu göstermiştir. Bu da yer yer derinliği 52 m ye kadar ulaşan enjeksiyon perdesini zorunlu kılmıştır. Temel kayaya enjekte edilebilecek katı madde miktarı 100-120 kg/m olarak tahmin edilmiştir. Daha sonra yapılan enjeksiyon çalışmalarında ortalama katı madde miktarının 8 kg/m den az oluşu enjeksiyon önlemlerinin gereksiz olduğu düşüncesini ortaya koymaktadır. Ancak, barajda su tutulmaya başlandığından kontrol sistemi enjeksiyon perdesinin tam bir geçirimsizlik sağlamadığını göstermiştir.

Bu bildiride Grosse Dhünn Barajındaki çelişkili duruma neden olan faktörlerden hareket ederek, enjeksiyon parametrelerinin saptanmasında etkin olan jeolojik ve teknik koşulların önemine açıklık getirilecektir.

ABSTRACT: The biggest drinking water dam in Germany is 'Grosse Dhünn Dam'. The basement rock in the dam axis consists of rhythmically deposited claystone, siltstone and sandstone and their various combinations as clayey sandstone, silty sandstone etc. The water pressure tests gave the permeability constants of the basement rock. The obtained limit (2 l/min.m) according to geological and technical characteristics of the dam, found to be higher than it should be. This made the construction of the injection curtain to be compulsory and essential up to the depth of 52 meters. The basement rock injection grout mixture's solid weight is guessed to be approximately 100-200 kg/m. The actual values obtained in situ, at a later date was measured as approximately 8 kg/m. This indicates the injection phases showed under 2 kg/m solid weight. On the other hand, as the water collected in the reservoir get higher, the control system showed the injection curtain did not function properly. In this publication, the effect of the geological and technical conditions on the site should be given first priority in determining the injection parameters as learned at the 'Grosse Dhünn Dam'.

* Yard. Doç.Dr., Akdeniz Univ., Isparta Müh. Fak., Jeoloji Mühendisliği Bölümü, İSPARTA.

I. GİRİŞ.

Mühendislik yapılarının planlanmasında , temel kayanın geçirimsizliği büyük önem taşımaktadır. Özellikle baraj eksen yeri geçirimsizlik değerinin araştırılmasında Basıncılı Su Deneyleri (BSD) yaygın uygulama alanı bulmaktadır. Baraj eksen yerlerinde enjeksiyon önlemlerinin gerekliliğinde ve seçilecek yöntemin saptanmasında BSD sonuçları belirleyicidir.

Temel kayanın temel olabilme ve suyu tutabilme özellikleri, içerisinde bulunan boşlukların enjeksiyonla doldurulması ile iyileştirilebilir. Başarılı bir enjeksiyon çalışması için, jeolojik ortam koşullarının özenle belirlenmesi ve bunlara uygun enjeksiyon teknik parametrelerinin seçimini gerektirir. Enjeksiyon çalışmalarının başarısı, baraj gövdesi altında ve mansapta, boşluksuyu basıncı ve yeraltı su seviyesinin gözlenmesi ile kontrol edilebilir.

Bu çalışmada yukarıda sözü edilen konulara Grosse Dhünn Barajı örneğinde açıklık getirilmektedir.

II. GROSSE DHÜNN BARAJI

Almanya'nın en büyük içme suyu barajı olan Grosse Dhünn Barajı Köln şehrinin 30 km doğusunda Ren Kayrakları üzerinde yer almaktadır (Şekil 1). 63 m kret yüksekliğinde ve 380 m kret uzunluğu olan kaya dolgu gövdede geçirimsizlik elementi görevini asfalt-beton iç çekirdek yapmaktadır.

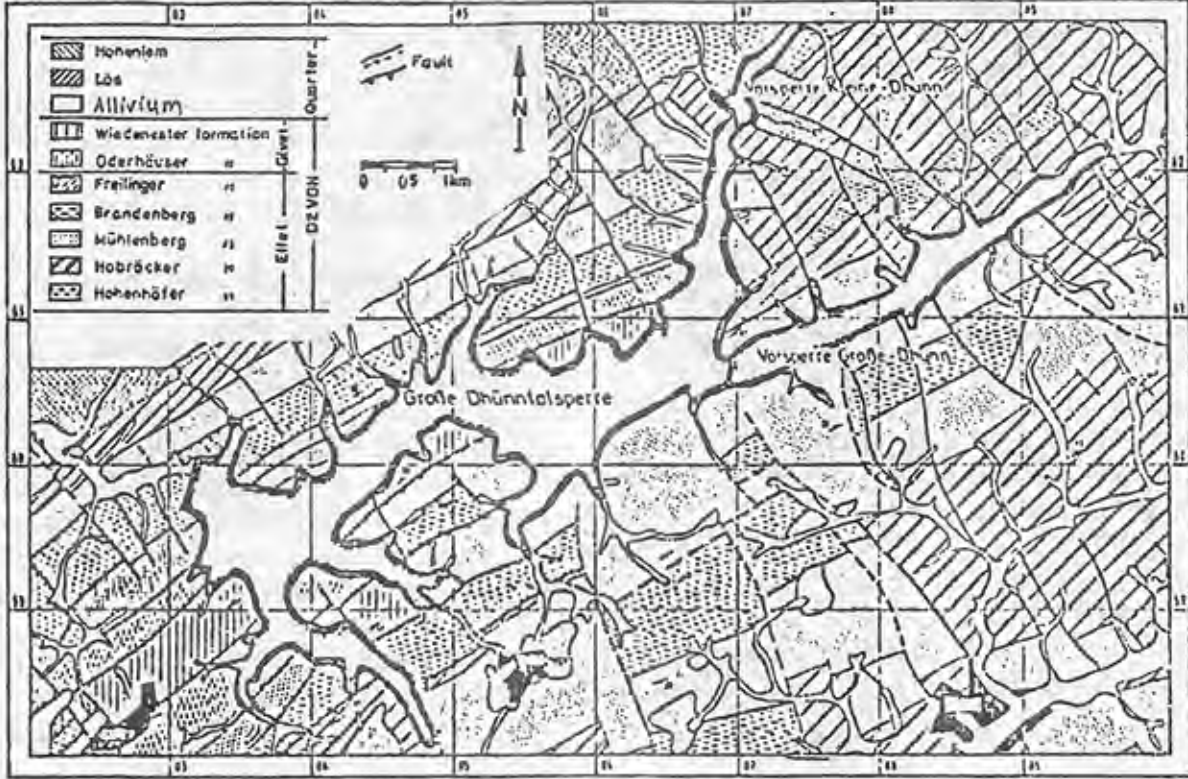


Şekil 1: Yer bulduru haritası
Figure 1: The location map

III. JEOLojİ

Baraj eksen yeri ve göl alanında temel kaya orta devon yaşlı sedimenter kayalardan oluşmaktadır (Şekil 2). Varistik dağ oluşumu olaylarından etkilenen inceleme alanı kıvrımlı bir yapı sunmaktadır. Buna karşın çalışmanın konusu olan Grosse Dhünn

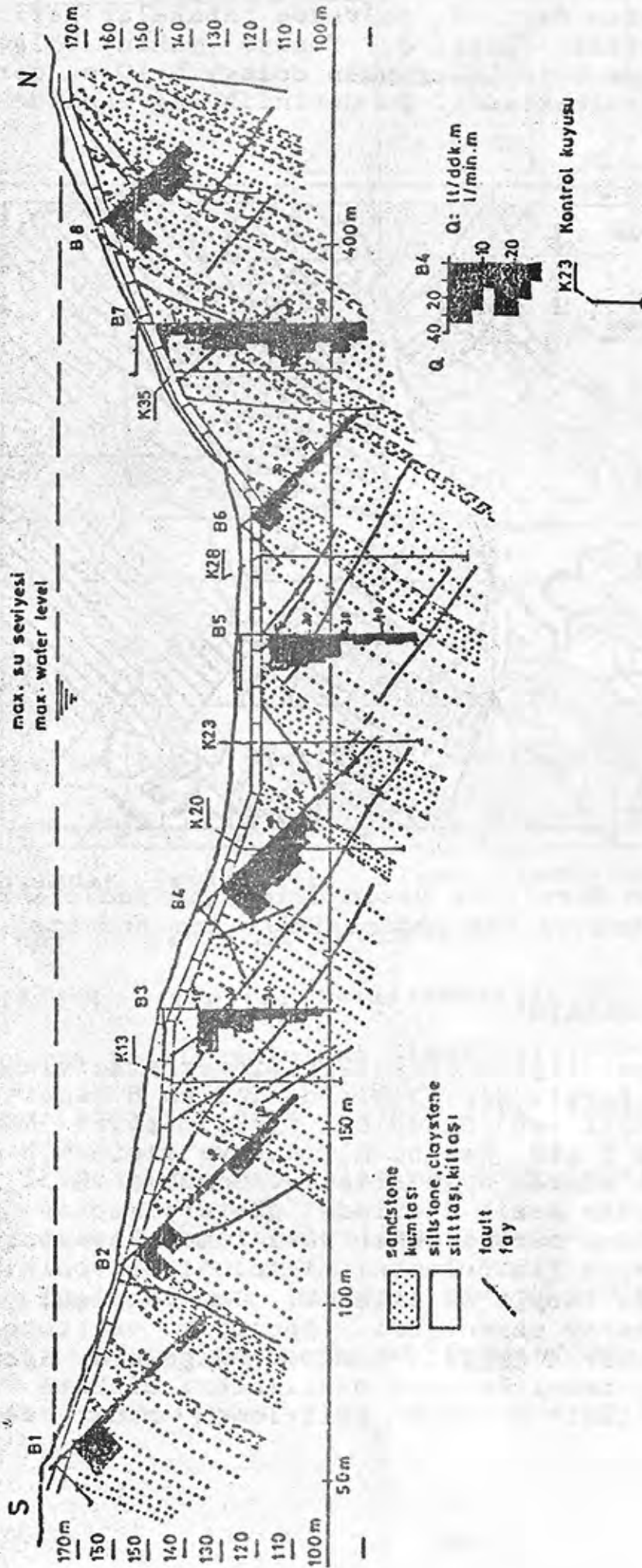
Barajın eksen yeri temel kayasını oluşturan Branderberg Formasyonu sade bir yapı sunmaktadır. Kumtaşı, kilitaşı, silttaşı ve bunların değişik kombinasyonlarının ardalanmasından oluşan bu birimde yer yer kireçtaşı bankları (mak. 50 cm.) yer almaktadır. Tektonik olaylardan büyük oranda etkilenmeyen eksen yerinde küçük atımlı fayların dışında, talvegde tabakalar hafif kıvrımlanmalar göstermektedir (Şekil 3). Yüze yakın bölgelerde dış etkenler ve gerilme boşalımlarından dolayı 5-10 m derinliğinde ayrışma zonu görülmektedir. Bu derinlik sağ sahilde 20 m ye kadar ulaşmaktadır.



Şekil 2: Grosse Dhünn Barajı ve yakın dolayının jeoloji haritası.
Figure 2: Geological map of the Grosse Dhünn Dam and its surrounding area

IV. BARAJ YERİ GEÇİRİMLİLİĞİ

Temel kayanın geçirimsizliğine açıklık getirmek amacıyla, değişik doğrultularda ve farklı derinliklerde açılan 8 adet araştırma kuyusunda basınçlı su deneyleri yapılmıştır. Deneyler çift tıkaç yöntemiyle 5 atm. basınç altında ve minimum 3 dakika deney süresine dikkat ederek uygulamıştır. Sonuçlar $Q: 1./\text{dak.m}$ (5 atm.) olarak jeolojik kesit üzerinde gösterilmiştir (Şekil 3). Buradan Grosse Dhünn barajı eksen yeri temel kayasının geçirimsizliğini belirleyen faktörlerin; litoloji, tektonik, morfoloji, alterasyon olduğu tespit edilmiştir. İncelemeleri kolaylaştırmak açısından baraj eksen yeri, jeolojik ve topoğrafik faktörler dikkate alınarak çeşitli homojen bölgelere ayrılmıştır. Deney sonuçları, temel kayanın özellikleri dikkate alınarak Heitfeld (1965, 1981)'e göre belirlenen sınır değer



Sekil 3: Grosse Dhünn Barajı eksen veri jeoloji enine kesiti.
Figure 3: Geological cross section of the dam axis.

(2,0 l /dak.m) üzerinde bir permaabileteye sahip olduğunu göstermiştir. Buda derinliği 17 m.ile 52 m. arasında değişen bir enjeksiyon perdesinin konstrüksiyonunu zorunlu kılmıştır.

V. ENJEKSİYON ÇALIŞMALARI

V. I. Enjeksiyon Parametreleri

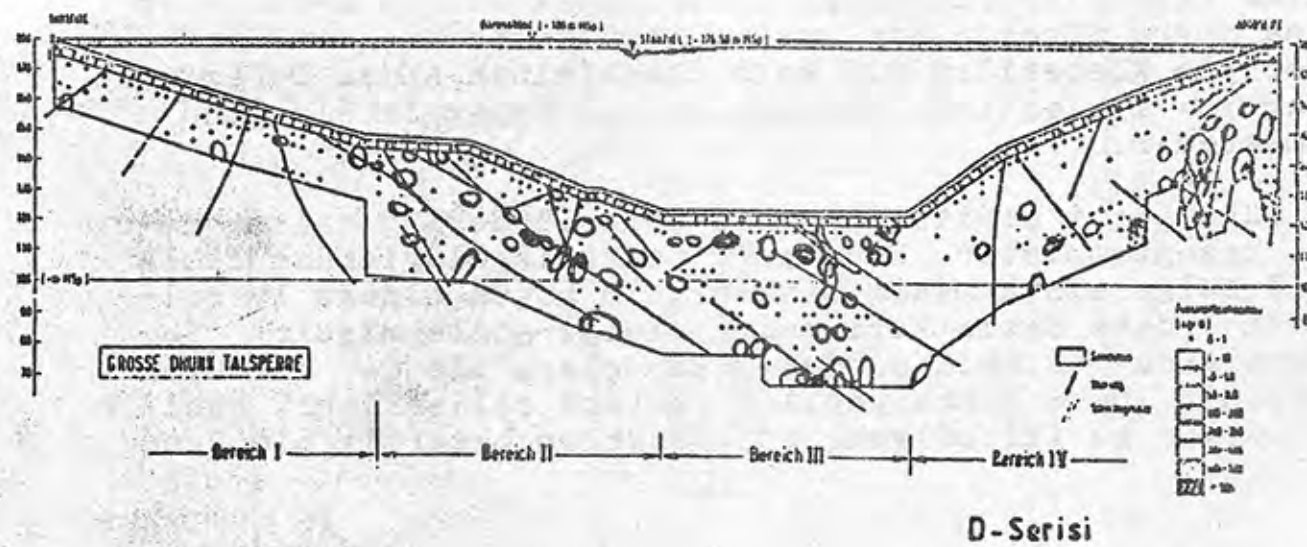
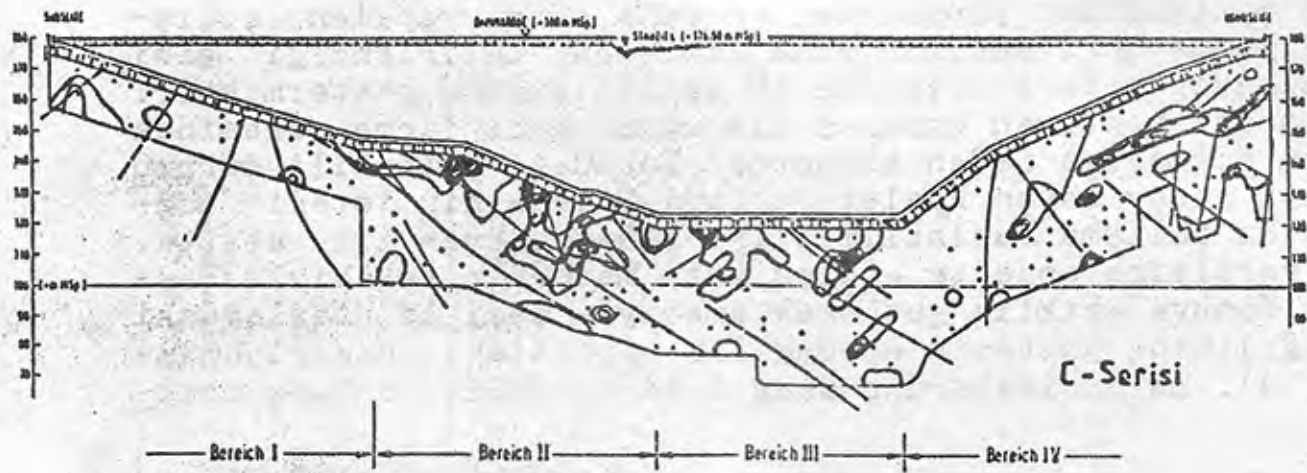
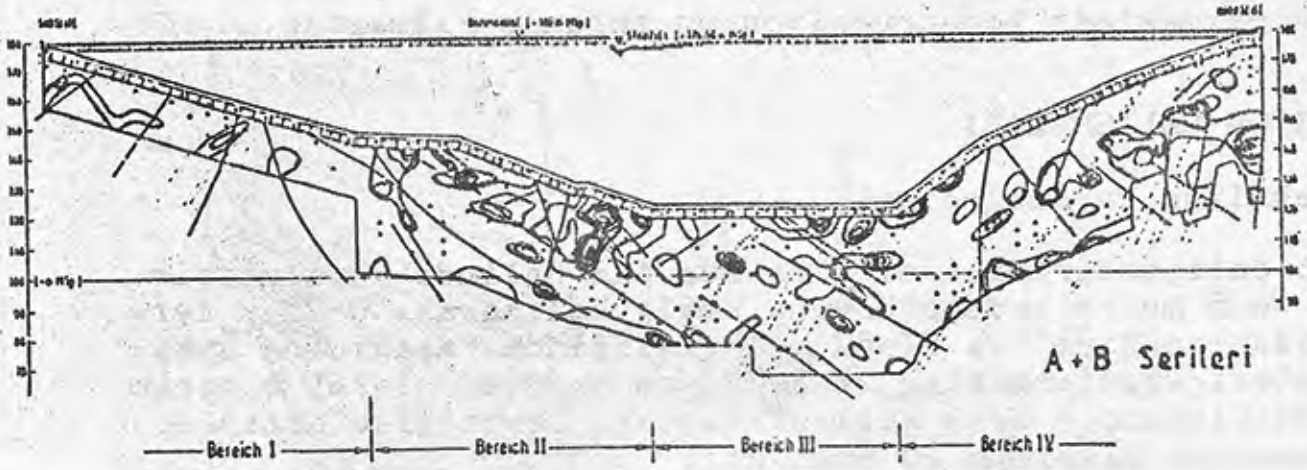
Enjeksiyon çalışmaları iki sıra ve beş faz halinde yapılmıştır. Tek tıkaç ve 5 metre kademe boyuna bağlı kalınarak, 0-27 m lerde "Yukarıdan-aşağıya" ve 27-52 m derinliğinde "aşağıdan yukarı" yöntemleri uygulanmıştır. Enjeksiyon maddesi olarak çimento şerbeti (Su:Çimento = 8/1) kullanılmıştır. Derinlikle artan enjeksiyon basıncı maksimum 20 atm. dir.

V.2. Enjeksiyon Çalışmalarının Değerlendirilmesi

Enjeksiyon çalışmaları yapılırken ve daha sonra yapılan çalışmalar katı madde sarfiyatının daha önceden belirlendiği gibi 120 kg/m olmayıp sadece ortalama 10 kg/m olduğunu göstermiştir. Bu durum barajı yaptıran kuruluş ile uygulayıcı firma arasında itilafların doğmasına neden olmuştur. Buradaki çelişkili durumu aydınlatmayı görev sayan Eyalet Jeoloji Dairesinin isteği doğrultusunda bu çalışma başlatılmıştır. Çalışmalara ilk etapta, azda olsa yeraltına enjekte edilen katı maddenin takibiyle başlanmıştır. Konuya açıklık getirmek amacıyla çeşitli fazlardaki çimento dağılımını gösterir eş dağılım haritaları hazırlanmıştır (Şekil 4). Bu haritalardan aşağıdaki sonuçlar ortaya çıkmaktadır:

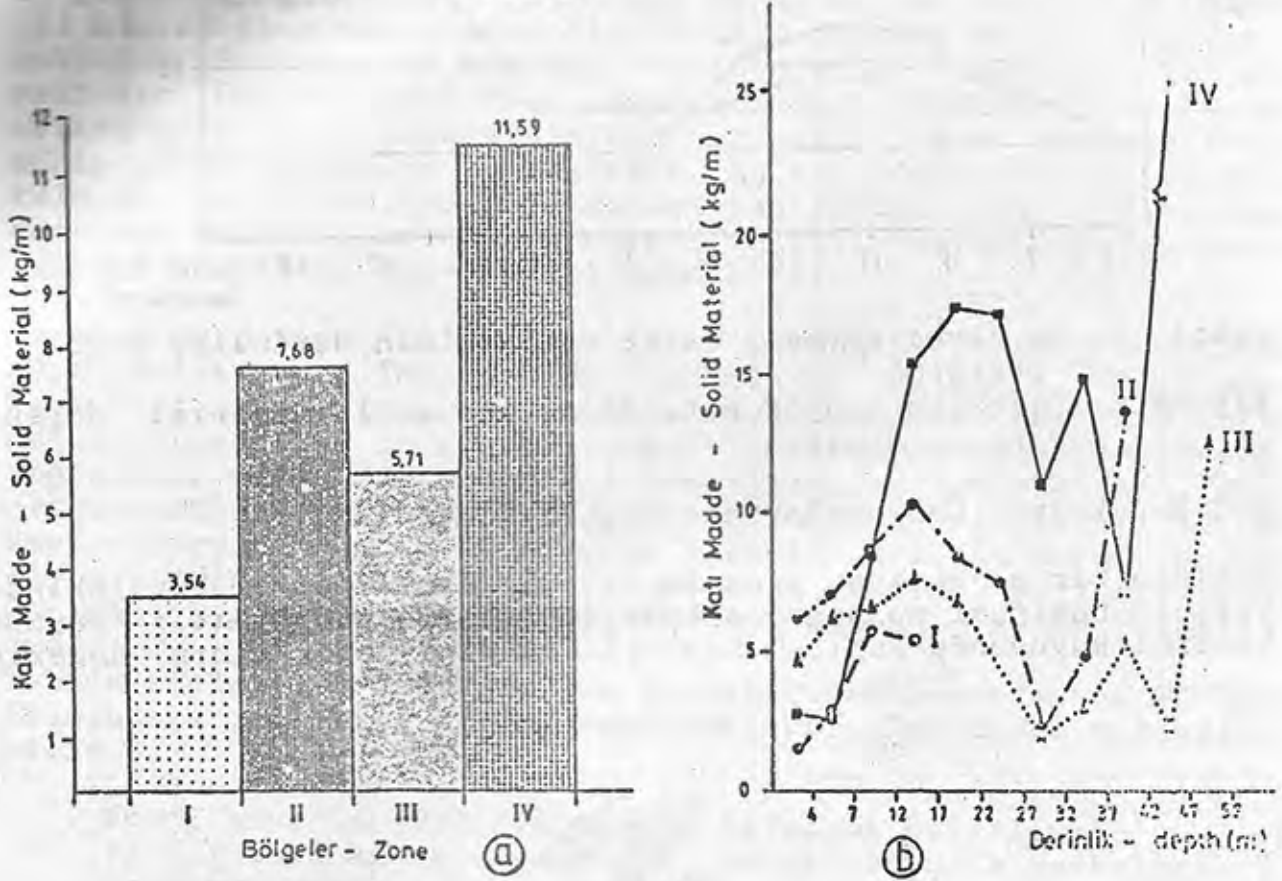
- . Baraj eksen yerinde çimento sarfiyatı genelde çok düşük
- . Yüksek katı madde (>100 kg/m) tüketimi kumtaşı banklarında ve fay zonlarında yoğunlaşmaktadır.
- . Haritalar birbirleriyle karşılaştırılacak olursa A-Fazından D-Fazına doğru sürekli bir azalma görülmektedir.
- . X-İşaretiyle gösterilen 0,0 kg/m tüketiminin A-dan D-Fazına doğru artışı iyileştirme çalışmalarının başarılı olduğunu göstermektedir.

Katı madde tüketimini çeşitli homojen bölgelerdeki ortalama değeri ayrıca hesaplanmıştır. Buna göre tektonik olaylardan fazla etkilenen II.bölge ile kumtaşı banklarının yoğun olduğu IV.bölge (11,6 kg/m) daha fazla katı madde aldığı gözlenmiştir(Şekil 5a). Buralarda basınçlı su deney sonuçları ile de bir uyum kaydedilmektedir. Daha sonra yapılan kontrol çalışmaları, özellikle sözü edilen bu iki bölgede enjeksiyonun başarılı olduğunu göstermiştir.



Şekil 4: Çeşitli enjeksiyon fazlarında katı madde dağılımı.
Figure 4: Distribution of the solid material in various injection phases.

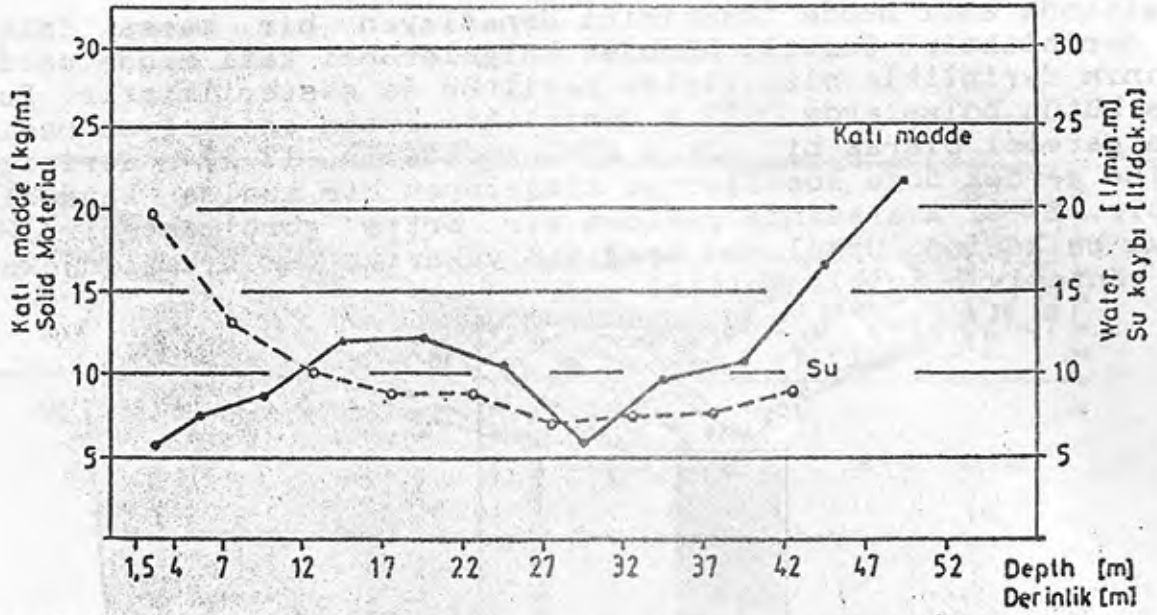
Yeraltında katı madde tüketimini denetleyen bir başka faktör ise derinliktir. Çeşitli homojen bölgelerdeki katı madde sarfiyatının derinlikle olan ilgisi şekil 5b de gösterilmiştir. Buna göre bütün bölgelerde 0-17 m derinlikte artan enjeksiyon basıncına paralel olarak bir artış gözlenmektedir. 17-27 m derinlikte ise gerçek doğa koşullarını simgeleyen bir azalma kaydedilmiştir. 27-52 m arasında yeniden bir artış görülmektedir. Bu durum bu kesimde uygulanan aşağıdan yukarıya tek tıkaç enjeksiyon yöntemiyle açıklanabilir.



Şekil 5: Çeşitli bölgelerde (a) ve derinliklerde ortalama katı madde dağılımı.

Figure 5: Distribution of solid material in various zone (a) and depths (b).

Tüm eksenleri dikkate alınarak ortalama katı madde sarfiyatının derinlikle ilgisi incelendiğinde su Q (lt/dak.m) değeri dağılımında çok farklı durum ortaya çıkıyor (Şekil 6). Buradan enjeksiyon teknik parametrelerinin, ortamın jeolojik ve barajın teknik özelliklerine iyi uyarlanmadığı sonucu ortaya çıkmaktadır.

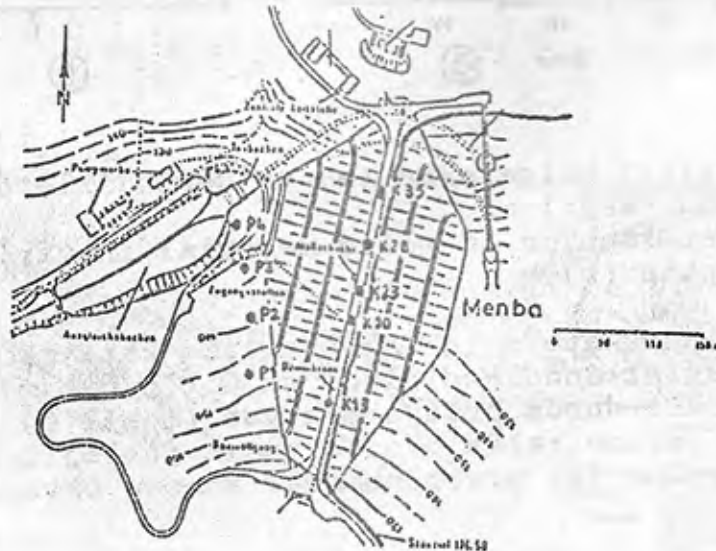


Şekil 6: Su kaybı ve kırtı madde dağılımının derinliğe bağlı değişimi.

Figure 6: Distribution of water losses and solid material depending on depth.

V.3 Enjeksiyon Çalışmalarının Başarı Kontrolü

Yapılan bir enjeksiyon programının başarısı kontrol kuyularında yapılan basınçlı su deneyleriyle saptanabilir. Kısıtlı sayıda kontrol kuyusunda yapılan basınçlı su deneyleri, sınır değerlerin



Şekil 7: Kontrol tesisleri yer bulduru haritası.

Figure 7: Location map of the control places.

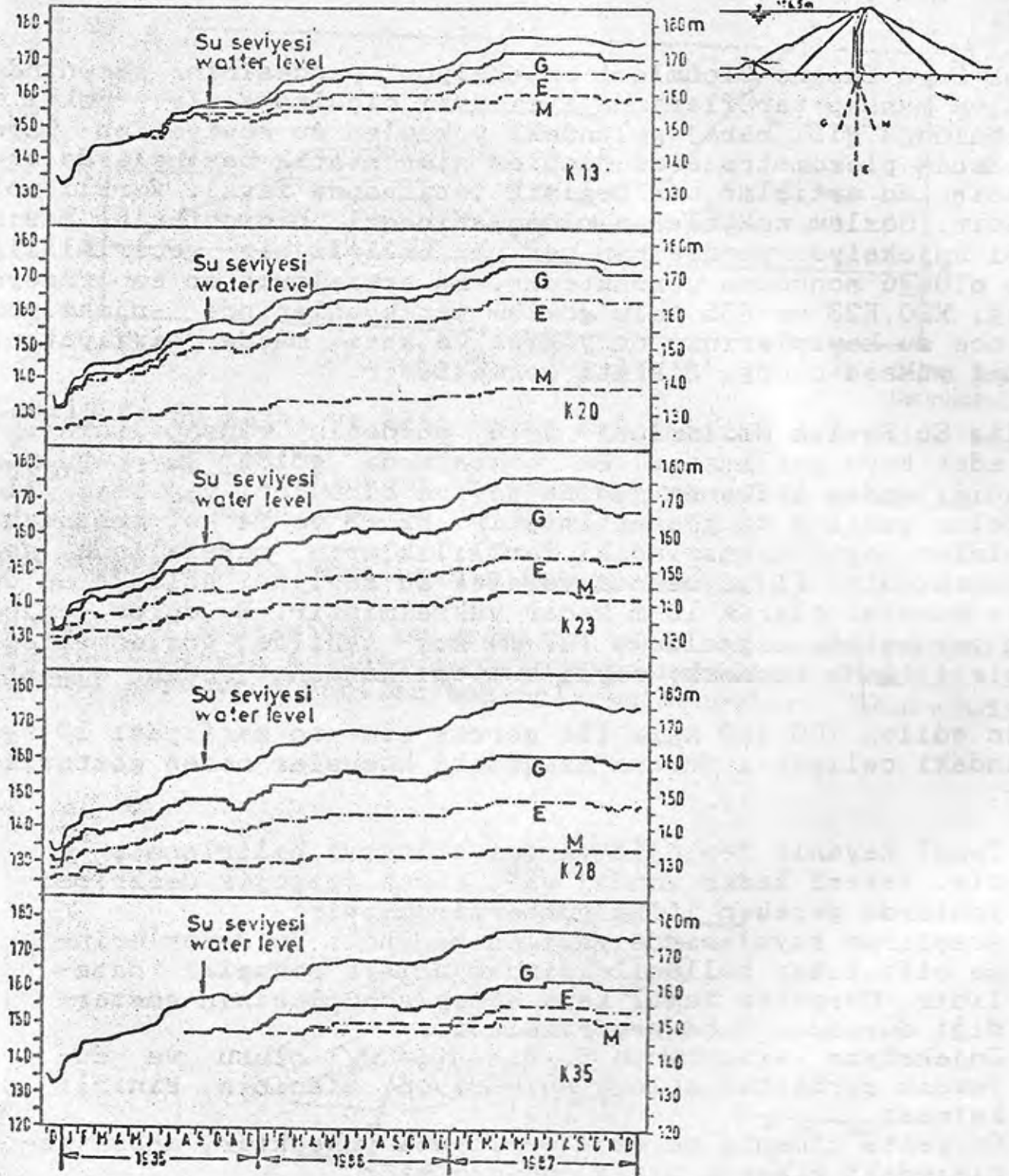
(1,8 l /dak.m) altında sonuçlar vermiştir. En iyi kontrol baraj gölünde su tutulmaya başlandığında, yeraltı su seviyesinin ve boşluk suyu basınçlarının ölçülmesi ve gözlenmesiyle, yapılmaktadır. Şekil 7 de kontrol tesislerinin vaziyet planı verilmektedir.

Boşluk Suyu Basınç Ölçümleri enjeksiyon perdesinin ekseninde, menba ve mansap taraflarında ayrı ayrı ölçülmektedir. Şekil 8 de görüldüğü gibi baraj gölündeki yükselen su seviyesine paralel olarak piezometrelerde ölçülen hidrostatik basınçlarda artmaktadır. Bu artışlar beş değişik istasyonda farklı farklı olmaktadır. Gözlem noktalarının mansabındaki hidrostatik basınç artışı enjeksiyon perdesinin yer yer belirli bir geçirimsizliğe sahip olduğu sonucunu vermektedir. Bu artışların en az düzeyde kaldığı K20, K23 ve K35 nolu gözlem istasyonlarında enjeksiyondan önce su kayıplarının en yüksek ve katı madde sarfiyatının relatif yüksek olduğu dikkati çekmektedir.

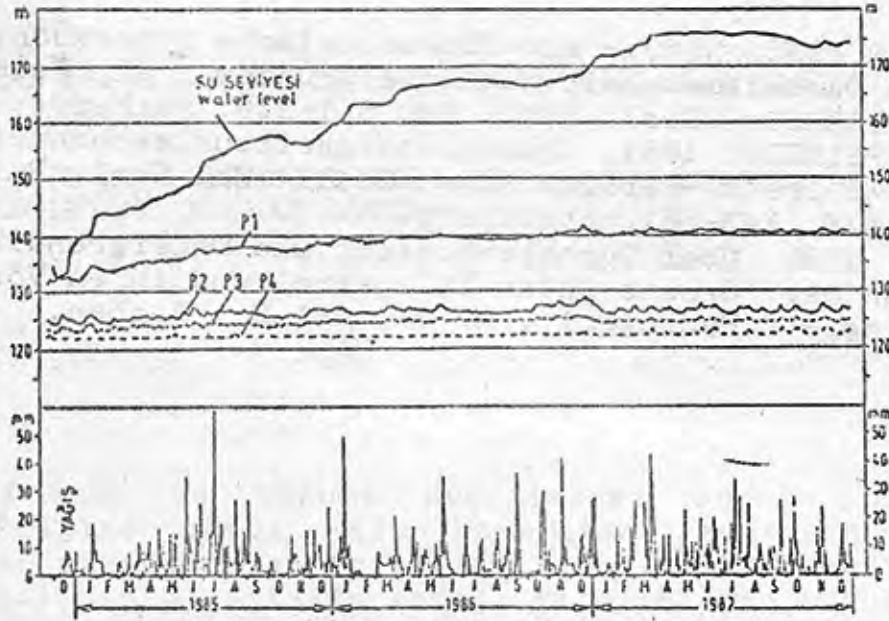
Yeraltı Su Seviye Gözlemleri için gövdenin mansap tarafında dört adet kuyu açılmıştır. Bu noktalarda gölde su tutulmaya başladığı andan itibaren günlük seviye ölçümleri yapılmış olup neticeler şekil 9 da gösterilmiştir. P2, P3 ve P4 kuyularındaki değişimler yağış miktarındaki farklılıkların paralelinde gerçekleşmektedir. P1 kuyusunda yeraltı su seviyesi göldeki su düzeyine paralel olarak 10 m kadar yükselmiştir. Bu durum enjeksiyon perdesinin sağ olduğu (17 m) sol sahilde gözlenmektedir. Geçirimsizlikte buradaki faylı kumtaşı katmanı neden olmaktadır.

Tahmin edilen 100-120 kg/m ile gerçek çimento sarfiyatı 10 kg/m arasındaki çelişkili duruma aşağıdaki hususlar neden gösterilebilir.

- . Temel kayanın jeolojik yapısı itinasız belirlenmiştir. Yeteri kadar sondaj var, ancak jeolojik deskripsiyonlarda gereken itina gösterilmemiştir.
- . Araştırma kuyularında yapılan basınçlı su deneylerinde çift tıkaç kullanıldığından dolayı sonuçlar hatalıdır. Gerçekte temel kaya deney sonuçlarının gösterdiği durumdan daha geçirimsizdir.
- . Enjeksiyon karışımının Su/Çimento= 8/1 oluşu ve dursuz şerbetten dolayı enjeksiyon alanının sınırlı kalması.
- . Gerçekte çimento şerbeti sarfiyatı yüksektir, ancak karışımındaki çimento oranı çok düşüktür.
- . Yüze yakın yerlerde uygulanan enjeksiyon basıncı çok düşüktür.



Şekil 8: Çeşitli istasyonlarda boşluk suyu gözlemleri.
Figure 8: Observation of pore water pressure in different stations.



Şekil 9: Deneme dolgu sırasında yeraltısuyu seviye gözlemleri
Figure 9: Observation of the ground water level during test filling.

VI. SONUÇLAR

Bu çalışmadan aşağıdaki sonuçlar sağlanabilir.

- . Enjeksiyon çalışmalarının projelendirilebilmesi için jeolojik ortam koşullarının ayrıntılı olarak belirlenmesi gerekmektedir.
- . Enjeksiyon teknik parametrelere jeolojik koşullara ve mühendislik yapısının teknik özelliklerine uyarlı seçilmelidir.
- . Geçirimli ve tektonik olaylardan fazla etkilenmiş bölgelerde enjeksiyon çalışmalarında başarı oranı yüksektir.
- . Geçirimsiz gibi görünen bölgeler kolay enjekte edilemediği için işletme esnasında su kaçıran kritik noktalar olarak ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle bu tür bölgelerde özel enjeksiyon teknikleri uygulamak gerekmektedir.
- . Enjeksiyon tekniği özel beceri isteyen bir konu olduğundan, deneyim sahibi kişiler tarafından yapılmasında yarar vardır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma yazar tarafından RWTH-Aachen'da hazırlanan doktora tezinin bir bölümünü oluşturmaktadır. Çalışmalarında yardımlarını gördüğüm sayın Prof. Dr. K.H. HEITFELD'e teşekkürlerimi bir borç bilirim.

YARARLANILAN KAYNAKLAR

- HEITFELD, K.-H 1965, Hydro- und Baugeologische Untersuchungen über die Durchlässigkeit des Untergrundes an Talsperren des Sauerlandes. Geol. Mitt, Bd. 5 1-210, Aachen.
- HEITFELD & KOPPELBERG, 1981, Durchlässigkeitsuntersuchungen mittels WD-Tests.-Bericht Angw. Geol.- Zbl Geol. Palaont. T 1, H. 5/6, 643-661, Stuttgart.
- KARAGÜZEL, R. 1989, Über Durchlässigkeit und Untergrundinjektionen an der 'Grosse Dhünn Talsperre' und ihren Vorsperren.- Mitt. Ing.- u. Hydrogeol., H. 31, 261 S.; Aachen.

HAFIF SU YAPILARI AÇISINDAN ŞİŞEN KILLERİN ÖNEMİ VE BİR UYGULAMA

IMPORTANCE OF EXPANSIVE SOIL FOR LIGHT HYDRAULIC STRUCTURES AND A CASE STUDY

Hasan TOSUN *

ÖZ: Islanma ve kuruma devinimleri sonucu olarak hacim değişikliğine maruz kalan zeminler, genleşen veya şişen zeminler olarak adlandırılırlar. Su tablası üzerinde bulunan yüzey kilinin plastisite indisi yirmiiki'den büyük ($PI > 22$) ve kil göreceli olarak düşük tabii su muhtevasına sahip ise, bu kilden potansiyel şişme beklenmelidir. Bu tip zeminler, çoğunlukla yağışın az ve buharlaşmanın aşırı olduğu iklim koşullarına sahip bölgelerde bulunur. Geçmiste kurumaya maruz kalmış parçalı ve kaygan killeri, özellikle şişme açısından tehlikelidirler.

Bu makalede şişme potansiyeli yüksek killerin hafif su yapıları açısından önemi vurgulanmış ve Şanlıurfa sulama projesi ana kanalları temel zemini ile ilgili yapılmış bir çalışma sunulmuştur.

ABSTRACT: Soils which have volume change due to wetting and drying are termed expansive or swelling soils. If surface soil is above water table and has relatively low natural water content and also its plasticity indice is greater than about twenty-two ($PI > 22$), It should be considered as potantially expansive soil. Such a soil is most commonly present in arid climates with a deficiency of rainfall, over-evaporation and where the ground water table is low. The fractured, slickensided and pastly desiccated soils are particularly troublesome.

This paper emphasizes the importance of swelling clays for light hydraulic structures and introduces a case study which was done about the foundation soils of main canals of Şanlıurfa irrigation scheme.

1. GİRİŞ

Su aldığı zaman şişen ve su kaybettiği zaman büzülen değişik tipte plastik killeri mevcuttur. Bu tip killeri üzerine insaa edilen temeller, kilin şişme özelliğinden

* Dr.Müh. DSİ TAKK Dairesi Başkanlığı Esenboga/ANKARA

kaynaklanan büyük kaldırma kuvvetlerine maruz kalırlar. Bu kuvvetler, yapı temelinde veya döşeme elemanlarında kırılma, çatlama ve kabarmaya neden olarak hasara yol açarlar. Özellikle çok az ölü yüke sahip olan ve sistemin zaman zaman yüklenip boşaltıldığı, süzülme ve kaçak sularından dolayı kilin su ile temas ihtimalinin yüksek olduğu kanal kaplaması, borulu sulama veya içmesuyu sebekeleri gibi hafif su yapılarında, sisen killer aşırı derecede hasara neden olmaktadır.

Sisen zemin probleminin varlığı ilk defa 1930'lı yılların son bölümünde ortaya çıkmıştır. Amerika Su İşleri (U.S. Bureau of Reclamation) mühendisleri, 1938 yılında Oregon eyaletindeki Owyhee projesi bünyesinde inşa edilen bir çelik sifonun temelinde oluşan problemi, ilk defa "sisen zemin problemi" olarak tanımlamışlardır. Bu tanımlamadan sonra mühendisler, hasarın nedenini ortaya koyarken sisme mekanizmasını, oturma mekanizmasından farklı değerlendirmişler ve bu kriterin, yapıların tasarımında daha önemli bir şekilde dikkate alınması hususunda özen göstermişlerdir. Ancak 1940 yılından sonra zemin üzerine direkt oturan beton yapıların inşaatındaki hızlı artış, sisen zeminlerin neden olduğu hasarların da hızla artmasına neden olmuştur (Chen, 1975).

2. KILLERIN YAPISI VE SİSMEYE ETKİ EDEN FAKTÖRLER

Çoğu zemin sınıflama sistemleri kil taneciklerini, "çapı 2 mikron (0.002 mm) ve daha küçük tanecikler" olarak

tanımlamaktadırlar. Belirtilmelidir ki, kil minerallerinin belirlenmesinde tane çapı tek başına yeterli değildir. İnce taneli zeminlerin en önemli özelliği, minerolojik bileşimidir. Küçük kil taneciklerinde tane yüzeyine etkiyen elektriksel kuvvetler, yer çekimi kuvvetinden daha büyüktür. Bu parçacıkların kolloid safhada olduğu söylenir. Kolloid tane ise, ana kayaktan ayrışma sonucunda ortaya çıkan primer kil minerallerinden oluşmaktadır. Killi zeminlerin şişmesine etki eden faktörler aşağıda verildiği gibi özetlenmiştir.

- i. Zeminde var olan kil minerallerinin tipi ve miktarı- montmorillonit (smektit) illit'ten ve illit ise kaolonit'ten daha fazla şişer.
- ii. Başlangıçtaki su muhtevası- kuru killer, yas killere göre daha çok şişme potansiyeline sahiptirler.
- iii. Yoğunluk- sıkı zeminlerde daha fazla şişme oluşması beklenmelidir. Çünkü her bir hacimde gevsek zemine göre daha çok kil minerali bulunmaktadır.
- iv. Taneciklerin yapısı ve gerilme kosulu- aşırı konsolide killer, deformasyon bosalımından dolayı normal konsolide killerden daha fazla şişebilir. Yoğrulmuş killer, aynı su-yoğunluk kosuluna sahip örselenmemiş kilden daha çok şişer.

3. ŞİŞEN KILLERİN TANINMASI

Jeoteknik Mühendisliği açısından önem arz eden killerin şişme karakteristiklerinin belirlenmesi ile ilgili olarak direkt ve direkt olmayan yöntemler geliştirilmiştir. Direkt

olmayan yöntemde kilin sisme potansiyeline yaklaşımda bulunulur. Killerin sisme karakteristiklerinin bulunması ile ilgili teklif edilen direkt yöntemde ise; sisme potansiyeli ve sisme basıncı, nicel olarak yerinde (arazide) ve laboratuvarı hazırlanan numuneler üzerinde (farklı yükleme ve drenaj koşullarında) belirlenir.

Kanal kaplaması ve borulu sulama şebekesi gibi çok az ölü yükün bulunduğu, sistemin zaman zaman yüklenip boşaltıldığı ve süzölme ve kaçak sulardan dolayı kilin su ile temas ihtimalinin yüksek olduğu hafif su yapılarının tasarımında, direkt yöntemle elde edilen sisme potansiyeli ve sisme basıncı değerlerinin büyüklüğü önemle dikkate alınmaktadır. DSİ pratğinde, hafif su yapıları için killerin sisme potansiyeli daha planlama aşamasında iken araştırılır ve yapı cinsine göre uygun olup olmadığı hususunda öneriler getirilir.

3.1. İndeks Özelliklerine Bağlı Sisme Potansiyeli Tahmini ve Sisme Sınıflamaları

Basit zemin indeks deneyleri, şışen zeminlerin sisme potansiyellerinin belirlenmesinde kullanılır. Kıvam limitleri, lineer rötire deneyleri, sabit sisme deneyi ve kolloid muhtevası gibi deneyler, kolayca yapılabilir. Bu deneyler, sisme potansiyeli yüksek zeminler üzerine inşaa edilecek yapıların tasarımından önce mutlaka yapılması gerekli rutin deneyler haline gelmelidir.

Sisme sınıflamalarının çoğu zeminleri düşük, orta,

yüksek ve çok yüksek potansiyel sisebilirlik kategorilerine ayırmak için geliştirilmiş bulunmaktadır. Bu sınıflamalar, ne numunenin alındığı zamandaki zeminin sahip olduğu su muhtevasını veya gerilme koşullarını, ne de gelecekte meydana gelecek çevresel değişiklikleri dikkate almaktadır. Başlangıçta belirtildiği gibi indeks özelliklere bağlı olarak zeminlerin nitel olarak sisme potansiyelini tahmin eden bu yaklaşımlar faydalıdır, çabuktur ve nispi olarak pahalı değildir.

Zeminin indeks özelliklerine bağlı olarak önerilen yöntemlerden birincisi, Holtz-Gibbs (1956) sınıflamasıdır. 1950 yılında Amerika Su İşleri tarafından önerilen bu sınıflama, hala en sık ve başarılı şekilde kullanılmaktadır. Bu sınıflama; kilin plastisite indisi, rötire limiti, kilin bir mikrondan küçük yüzdesini ve 7 kN/m^2 düşey yük altında oluşacak serbest sisme yüzdesini mukayese eder.

1960 lı yılların başında San Francisco körfez alanında çalışan birkaç mühendis, sıkıştırılmış killere üzerinde yaptıkları çalışmalar sonucunda kilin 2 mikrondan küçük yüzdesi ile aktivite değerine bağlı bir sınıflama önerdiler ve sonradan bu sınıflamayı tabii killere için geliştirdiler (Seed ve arkadaşları, 1962).

Bu sınıflamalara ilave olarak daha birçok sınıflama sistemi sunulmuş ve basit indis ilişkileri geliştirilmiştir. Belirtilmelidir ki; hiçbir yöntem veya ampirik ilişki tek başına yeterli değildir. Ancak bu sınıflamalar sise killere sınıflamasında faydalı sonuçlar vermektedir.

3.2. Laboratuvar Deney Sonuçlarına Göre Sisme Özelliklerinin Belirlenmesi

Killerin sisme yüzdesi ve sisme basıncının belirlenmesinde kullanılan en uygun ve en başarılı yöntem, direkt ölçümlerdir. Sisen killerin direkt ölçümleri, klasik bir boyutlu konsolidasyon cihazı ile yapılır. Serbest sisme deneyi, zeminin ıslandığı zaman oluşacak düşey kabarma veya şişmenin değerini belirler. Bu deney, örselenmemiş ve istenilen sıkılık ve su muhtevasında sıkıştırılarak hazırlanmış örselenmiş numuneler üzerinde yapılır. Numune küçük bir basınç (7 kN/m^2) ile yüklenir ve sonra suya bogulur. Numunenin bu basınç altında şişmesi, 48 saat sonra veya sisme tamamlanınca kaydedilir. Deney sonunda oluşacak şişmenin, numunenin ilk yüksekliğine oranı yüzde olarak serbest sismeyi verir (Sivapullaiah ve arkadaşları, 1987). Sisme basıncı deneyi ise, serbest sisme deneyinde olduğu gibi hazırlanmış numuneler üzerinde yapılır. Numune üzerine küçük bir basınç (7 kN/m^2) uygulanır, ilk ölçüm alınır ve numune suya bogulur. Bu deneyde numunenin şişmesine müsaade edilmez. Deney, numunenin şişmesini önleyecek basıncın bulunması esasına dayanır. Deney sonunda bulunan değer, sismeyi önleyen basınç değeridir ve sisme basıncı olarak bilinir (Sridharan ve arkadaşları, 1986).

4. SONUÇ

Sisen killerin, kanal kaplaması ve borulu suama ve içmesuyu sebekeleri gibi hafif su yapılar açısından önemi

büyüktür. Bu tür yapılarının insaa edilecegi zeminler detaylı incelenmelidir. Gerekli jeolojik bilgilerin toplanmasından sonra mühendislik jeolojisi çalışmaları yapılarak kilin tipi, orijini ve olusum mekanizması belirlenmeli ve kilin sisme potansiyeli nitel ve nicel olarak bulunmalıdır. Bulunan bu degerlere göre yapı projelendirilmelidir.

5. UYGULAMA - SANLIURFA HES VE SULAMA ANA KANALI TEMEL ZEMİNİ

Güneydogu Anadolu Projesi bünyesinde Şanlıurfa tüneli vasıtasıyla Atatürk barajı göl alanından alınacak toplam 328 m³/s su ile Şanlıurfa, Harran, Mardin ve Ceylanpınar ovalarında 476 000 ha tarım sahası sulanacaktır. Tünel çıkışından sonra su, 4 km ana kanal ile taşındıktan sonra ikiye ayrılmaktadır. İlk bölüm, Şanlıurfa hidroelektrik santralından geçmeden doguya dogru devam ederek Y.Harran, Mardin ve Ceylanpınar ovalarında toplam 334 639 ha sahayı sulayacaktır. İkinci bölüm (124 m³/s), düşü yüksekliği 50 m olan Şanlıurfa HES de enerjiye dönüştükten sonra santral mansabında ikiye ayrılmakta ve bu ovada toplam 141 835 ha sahayı sulamaktadır. Bu sulamada toplam 225.5 km ana kanal inşaatı öngörülmüştür. Halen inşaatı devam etmekte olan ana isale kanalları boyunca degişik zeminler geçilmektedir.

Şanlıurfa Ovası Sulaması I.kısım inşaatı kuyruksuğu ve ana kanalın 700 m lik bir bölümü killi ve siltli zeminden geçmektedir. Yerinde yapılan incelemelerde kanal şevinde

büzölme çatlaklarının gözlemlendiği, sev yüzeyinin bozularak ayrışmaya uğradığı ve yer yer aktığı belirlenmiştir. Bu amaçla bu 700 m lik bölüm için detaylı deneysel çalışmaların yapılmasına karar verilmiştir. Sisme yönünden yüksek bir potansiyele sahip olduğu tahmin edilen temel zemininin değişik lokasyonlarından, örselenmemiş numuneler alınarak laboratuvarda deneyler yapılmıştır (DSİ,1991a; DSİ,1991b). Tablo 1 ve 2, bu bölüme ait değişik lokasyonlardan alınan

Tablo 1. Örselenmemiş numunelerin laboratuvar deney sonuçları (DSİ, 1991 a).

KİL ÖZELLİKLERİ	Numune sayısı	D E Ğ E R			
		en küçük	en büyük	ortalama	Standard Sapma
<u>Tane dağılımı</u>					
.0.002 mm den geçen(%)	5	34.40	46.0	41.4	4.41
.0.08 mm den geçen(%)	6	46.8	91.4	79.9	15.2
.5 mm den geçen(%)	6	72.5	99.4	92.1	9.4
<u>Kıvam limitleri</u>					
.Likit limit (%)	6	59.5	67.3	63.3	2.4
.Plastik limit (%)	6	29.2	39.5	33.2	3.1
.Plastisite indisi(%)	6	23.8	34.8	30.1	4.17
<u>İndeks özellikleri</u>					
.Özgül ağırlık	6	2.76	2.82	2.80	0.02
.Tabii yoğunluk(t/m ³)	6	1.79	1.86	1.83	0.03
.Tabii su muhtevası (%)	6	16	30	22.2	4.3
.Porozite	5	45	49	46.8	1.3
.Boşluk oranı	5	82	98	88.6	5.4
.Doygunluk derecesi	5	63	87	73.4	8.1
<u>Şişme özelliği</u>					
.Serbest şişme	5	4.1	13.1	9.8	3.1
.Şişme basıncı(kN/m ²)	5	63.0	320	230	9.0
<u>Dayanım özellikleri</u>					
.Tek eksenli basınç (kN/m ²)	1	-	-	138	-
.Kayma dayanımı					
.İçsel sürtünme açısı (°)	4	8.5	28	15.5	7.6
.Kohezyon (kN/m ²)	4	68	217	171.3	50

örselenmemiş numuneler üzerinde yapılan bütün deney sonuçlarını, Tablo 3 ise; ilk deneysel çalışmalara göre temel zemininin sisme potansiyeli açısından daha detaylı tanımlanması amacıyla yapılan indis ve sisme deney sonuçlarını sunmaktadır.

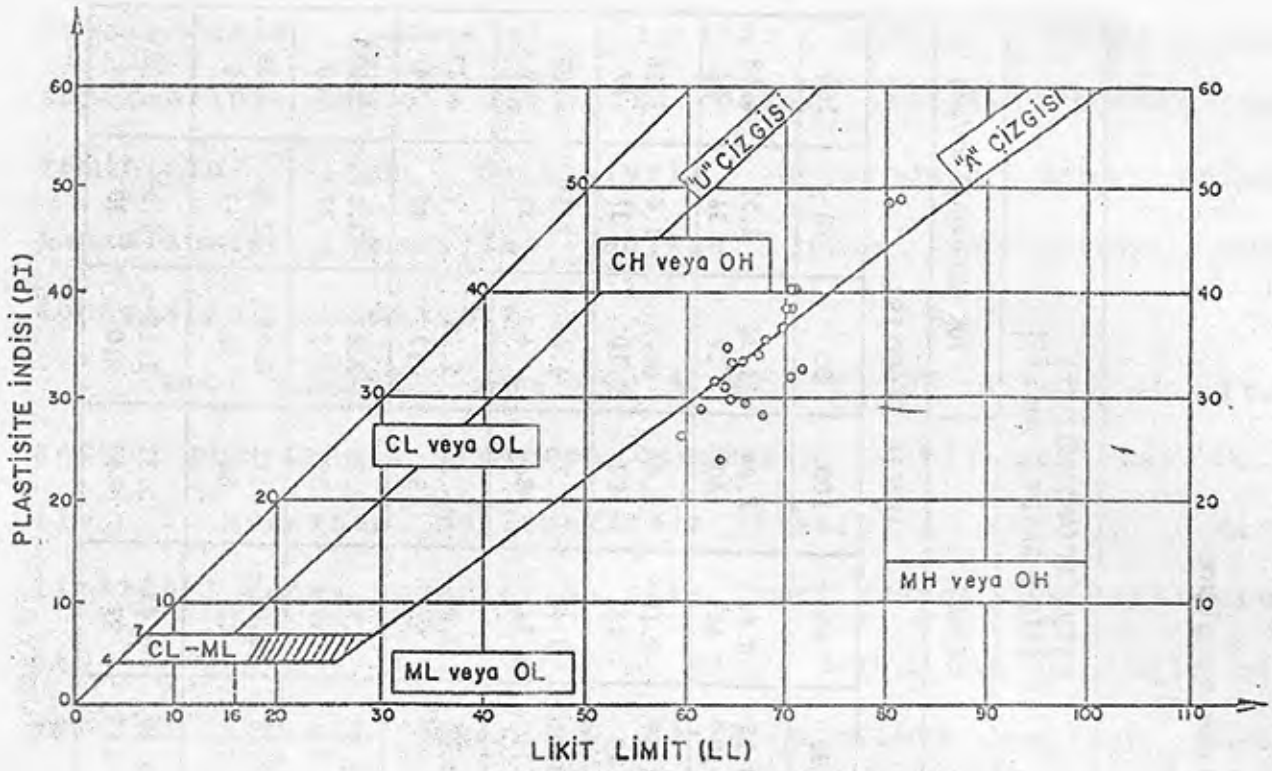
Temel zemini, ortalama % 87 'i 200 nolu elek altına geçen ince taneli zeminden oluşmakta ve kil muhtevası % 15 ile 55. arasında değişmektedir (tablo 1 ve 2). Kıvam limitleri deney sonuçlarına göre temel zemini, iki ayrı gruba sınıflandırılabilir. Birinci grup, A-dogrusu üzerinde olan ve likit limit değeri % 65-70 arasında değişen yüksek plastisiteli kil, ikinci grup ise; A-dogrusu altında olan ve likit limit değeri % 70 civarında olan ancak plastisite indisi % 30 civarında bulunan yüksek plastisiteli silttir (şekil 1). Birkaç numunenin likit limiti % 80 den fazladır. Bir numunenin likit limit değeri ise 100 ' ü aşmaktadır.

Indis özelliklerine göre yapılan sınıflama, temel zemininin yüksek sisme potansiyeline sahip olduğu belirlenmiştir. Aktivite sınıflamasına göre temel zemini yüksek sisme potansiyeline sahiptir (şekil 2). Dönüştürülmüş "Van der Merve" kartına göre ise, tüm numuneler (ikisi hariç) yüksek ve çok yüksek sisme kategorisi içinde kalmaktadır. İki numune ise orta seviyede sisme potansiyeline sahiptir (şekil 3). Dumbleton'un dönüştürülmüş Casagrande kartına göre ise tüm numuneler yüksek-çok yüksek sisme kategorileri arasında kalmaktadır. Zeminin likit limit ve kuru yoğunluk

Tablo 3. Örselemiş numunelerin kıvam ve şişme deney sonuçları (DSL, 1991 c).

Numune no	Derinlik (m)	Kıvam Limitleri				Kil mineralleri (X-ray difraktometre)	ŞİŞME POTANSİYELİ (%) (ŞİŞME BASINCI (kN/m ²))					
		LL	PL	PI	RL		SERBEST					
							YÜK ALTINDA (7 kN/m ²)					
							SIKILIK DEĞERLERİ					
						80	90	100	80	90	100	
1	2.5	49.7	32.2	17.5	13.3	M + K (çok az) + I (az) + Ka + Q	4.25 17	4.96 43	7.44 60	1.36 12	2.52 36	4.08 56
2	2.0	38.8	26.9	11.9	19.5	I (Çok az) + K (çok az) + Ka + Q	1.65 20	2.19 42	2.44 83	0.77 10	1.42 37	1.88 67
3	2.0	50.5	33.6	16.9	10.6	KL + M I (çok az) + Q + Ka	3.06 11	3.44 36	5.79 86	1.00 6	2.34 30	4.08 79
4	3.0	49.5	34.6	14.9	11.1	KL + M Ka + Q	4.50 19	5.02 56	6.68 131..	1.30 12	2.41 45	4.47 94
5	2.5	50.7	30.5	20.2	10.8	KL + M + Ka + Q	5.00 25	5.93 49	8.85 139	2.41 19	3.41 47	5.23 120
6	2.0	44.1	29.9	14.2	13.2	M + K + I (çok az) + Ka Q + F (çok az)	2.28 16	5.07 47	6.22 88	0.99 12	2.58 41	4.38 81
7	2.5	40.6	28.6	12.0	15.2	1/2 + KL + I (az) + Q + Ka	2.39 14	3.41 37	5.33 44	1.18 10	2.39 30	3.39 41

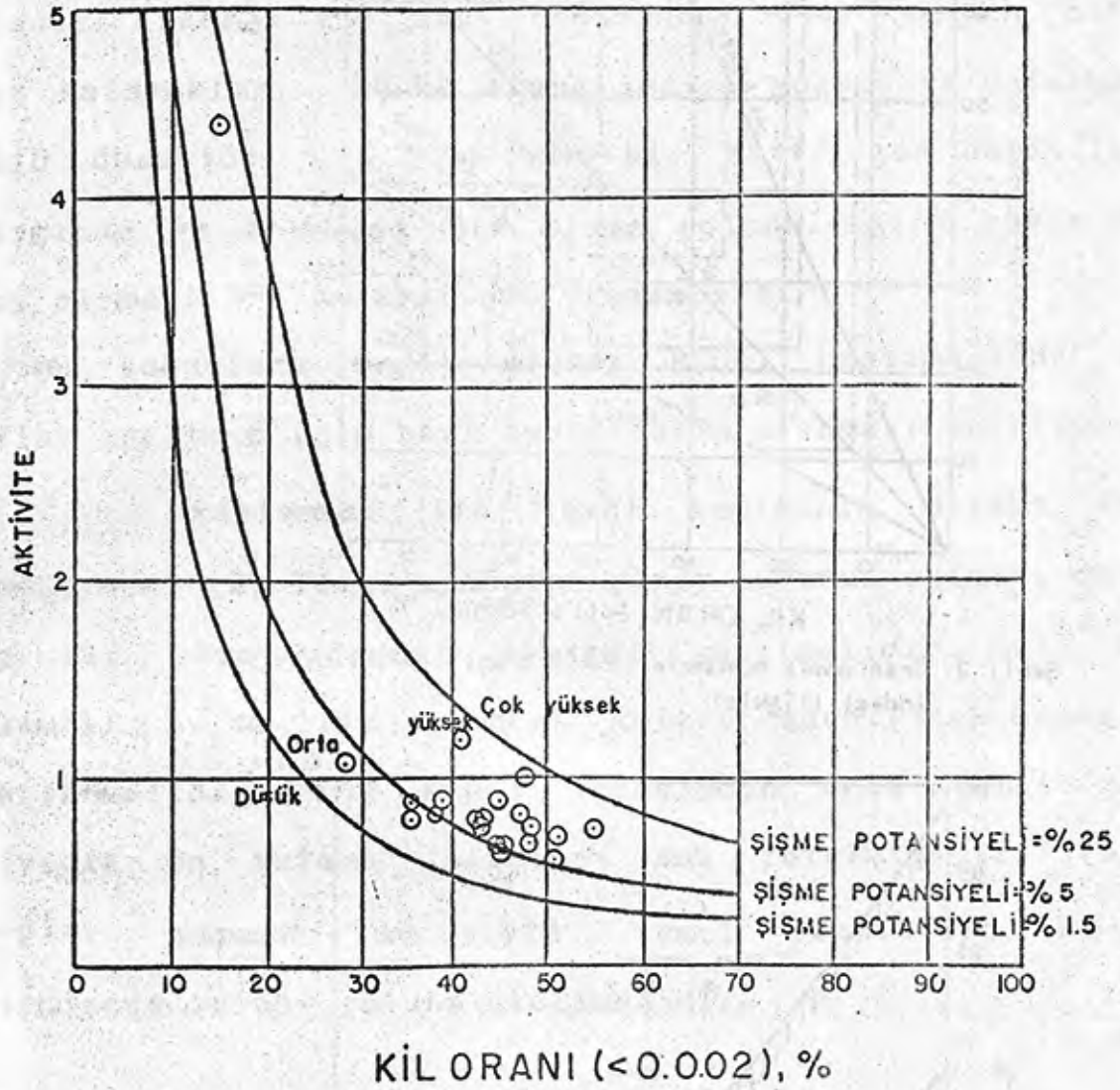
M = Montmorillonit
K = Kaolinit
I = Illit
Ka = Kolsit
Q = Kuartz
F = Feldspat
KL = Klorit



Şekil 1. Numunelerin plastisite kartındaki yeri

değerlerine bağlı olarak önerilen "Da Nilov" kartına göre ise temel zemini bütünü ile şişen zemin kategorisinde kalmaktadır (şekil 4). Temel zemininden alınan numuneler üzerinde x-ray difraktometresi ile yapılan minerolojik analizde kil tipleri belirlenmiştir (DST, 1991c). Bu analiz sonucunda temel zemininde şişme açısından tehlikeli kil olan montmorillonit tipine raslanmıştır (tablo 2).

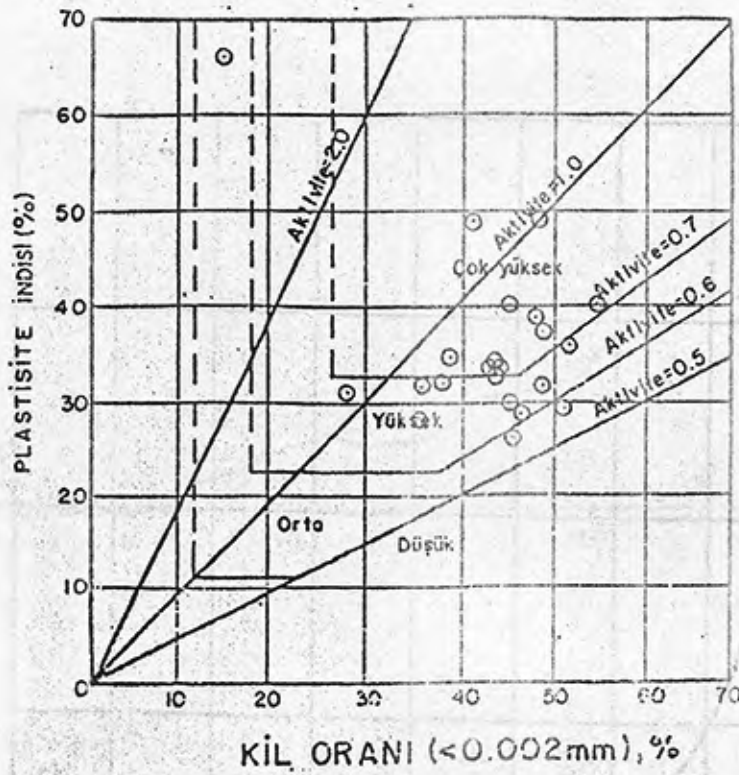
Şişme deney sonuçlarına göre temel zemini orta-yüksek seviyede şişme potansiyeline sahiptir. Serbest şişme % 2.7 ' in altında, şişme basıncı ise 10 kN/m² civarındadır (iki numune hariç). Bu değerler örselenmemiş numuneler üzerinde yapılan deneylerden elde edilmiştir. Tablo 3 de sunulan ve



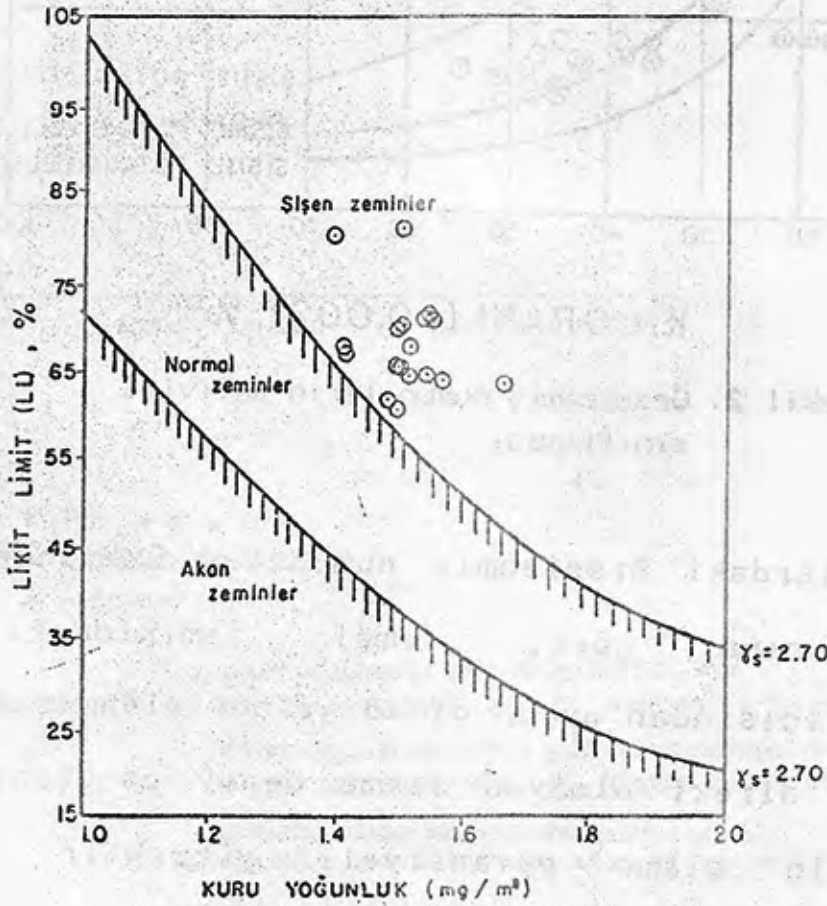
Şekil 2. Örselenmiş numunelerin aktivite sınıflaması

farklı sıklıklardaki örselenmiş numuneler üzerinde yapılan deney sonuçlarına göre, temel zeminindeki kilin işlenebilirlik açısından uygun olmadığı belirlenmiştir.

Direkt ve direkt olmayan şişme deney sonuçlarına göre temel zemininin şişme potansiyeli yüksektir. Kanal kaplamasında oluşacak deformasyonların mekanizması tek yönlü düşünülmemelidir. Su yükünden dolayı oluşacak oturmalar, çok küçüktür. Çünkü kazılan malzemenin ağırlığı, su yükünden



Şekil 3. Örselenmiş numunelerin kil oranı - plastisite indisi ilişkisi



Şekil 4. Numunelerin kuru yoğunluk - likit limit ilişkisi

fazladır. Ancak kil kazı esnasında tüm ölçüde sismeye maruz kalacaktır. Çünkü sisme indisi yüksek ve deformasyon modülü düşüktür. 2.0 m lik bir aktif zon derinliğinin varlığında ve % 5 lik bir sisme potansiyeline sahip kilin yüzey sismesi 3-4 cm arasında değişecektir.

Bu sonuçlara bağlı olarak kanal kaplamasında sisme riskini azaltmak için bazı tedbirlerin alınması önerilmiştir:

(1) Kanal kaplaması ile temel zemininin direkt teması olmamalıdır. (2) Temel zeminine yüzey suyunun akışını önlemek için bir yüzey drenaj sistemi yapılmalıdır. (3) Kanal kaplaması 5 cm lik sismeyi tolere edebilecek kapasitede tasarlanmalıdır. (4) Kanal inşasından önce temel zemini periyodik ön sulama işlemine tabi tutulmalıdır. (5) Ön deneyler yapmak suretiyle temel zemininin kimyasal yöntemlerle ıslahı yoluna gidilmelidir.

KAYNAKLAR

Chen, F.H. (1975) Foundation on Expansive Soil: Elsevier Publication, 280 p.

DSİ (1991a) Teknik Rapor: DSİ Genel Müdürlüğü Teknik Arastırma ve Kalite Kontrol Dairesi Başkanlığı, Rapor no: TAKK- 91/1 (yayınlanmamış).

DSİ (1991b) Teknik Rapor: DSİ Genel Müdürlüğü Teknik Arastırma ve Kalite Kontrol Dairesi Başkanlığı, Rapor no: TAKK-91/ 25 (yayınlanmamış)

DSİ (1991c) Teknik Rapor: DSİ Genel Müdürlüğü Teknik Arastırma ve Kalite Kontrol Dairesi Başkanlığı, Rapor no: TAKK-91/122 (yayınlanmamış).

Holtz, W.C. and Gibbs, H. (1956) Engineering Properties of Expansive Clays: ASCE, V.121, p: 641-677.

Seed, H.B., Woodward, J. and Ludgen, R. (1962) Prediction of Swelling Potential for Compacted Clays: ASCE S.Mech.Journal, 88 No: SM3 p:53-87.

Sivapullaiah, P.V., Sitharam, T.G. and Rao, K.S., (1987) Modified Free Swell Index for Clay: Geotechnical Testing Journal, ASTM, V.11, No.2, p:80-85.

Sridharan, A., Rao, A.S. and Sivapullaiah, P.V. (1986) Swelling Pressure of Clays: Geotechnical Testing Journal, ASTM, V.9, N.1, p: 24 -33.

HİDROJEOLOJİK ARAŞTIRMALARDA YÜKSEKLİK VE SÜREKSİZLİK ETKENLERİ THE ALTITUDE AND DISCONTINUITY FACTORS IN HYDROGEOLOGY

İlyas YILMAZER*

ÖZ - Otoyol gibi büyük ölçekli mühendislik yapılarının tasarımı, hidrojeolojik araştırmalar önemli yer tutmaktadır. Çalışma alanını ilgilendiren yeraltısuyu, sızıntı, kaynak, bataklık ve akarsu gibi özelliklerin tasarıma etkisinin belirlenmesinde meteorolojik, hidrolojik ve hidrojeolojik veriler esas alınmaktadır.

Meteorolojik bilgiler en yakın istasyonlardan alınır. Sırasıyla 25 ve 500 m yüksekliğindeki Ceyhan ve İslahiye meteoroloji istasyonlarından alınan meteorolojik kayıtların ~2000 m yüksekliğindeki Nurdağ'ında yeralan bir çalışma alanına doğrudan uygulanması beklenemez. Çalışma alanına düşecek yıllık yağış miktarı, yükseklik etkenine bağlı olarak değişmektedir. Saha gözlemlerinden de anlaşıldığı gibi bu değişim meteoroloji istasyonundaki değerlerin bir kaç katı olarak gerçekleşebilmektedir. Ayrıca, kar yağışının ve karın erimesi sırasında, yağmur şeklindeki bir yağış olasılığının yaratacağı taşkın sorunları ayrı bir anlam taşımaktadır. Özellikle kar örtüsünden beslenen yeraltısuyu hareketi, jeolojik süreksizlik sistemleri tarafından belirlenir. Kaynak ve/veya sızıntı şeklinde yüzeye çıkan yeraltısuyunun miktarının da tasarımda gözönünde bulundurulması gerekmektedir.

Yükseklik - yıllık yağış ilişkisi, özellikle otoyol gibi büyük ölçekli mühendislik yapılarının tasarımı, gözönünde bulundurulmasının gereğine inanılmaktadır. Yazar, Muğla ve Kastamonu'da gerçekleştirdiği deney ve gözlemlere dayanarak aşağıda verilen bir yükseklik - yıllık yağış ilişkisi elde etmiştir. Benzer ilişki Ceyhan, Osmaniye, Yarpuz ve Bahçe Meteoroloji istasyonlarından elde edilen verilerin deneştirilmesiyle de bulunmuştur.

$$P = P_m + \alpha \cdot H$$

P : Çalışma alanı için hesaplanan yıllık yağış miktarı, mm.

P_m : Meteoroloji istasyonunda ölçülen yıllık yağış miktarı, mm.

H : Çalışma alanı ile Meteor. ist. arasındaki yükseklik farkı, m.

α : P - H grafiğinden elde edilen eğim, mm/m.

Her bölgenin kendine özgü başka meteorolojik özellikleri de var olabileceği düşünülerek yükseklik - yıllık yağış ilişkisinin ilgili bölge içersindeki meteoroloji istasyonlarından alınacak bilgilere göre biçimlendirilmesinin yararlı olacağına inanılmaktadır. Tarımsal açıdan elde edilebilir suyun bulunması ve jeoteknik açıdan özellikle taşkın hesaplamalarında bu etkenlerin ileri derecede araştırılması gerekmektedir.

ABSTRACT - Hydrogeological investigations have significant role in the design of large engineering structures such as motorway. Meteorological, hydrological, and hydrogeological data form basis for the understanding of the effects of groundwater, seeps, springs, streams, etc. for a proper design. It is common to use data from the nearest meteorological stations without elevation correction. For instance, data from Ceyhan and Islahiye Meteorological Stations, which have elevations of 25 and 500 m respectively, could not be used directly for the area at Nurdagi which is ~2000 m above mean sea level. Annual precipitation changes with elevation in a region. As experienced from field observatios, it can be a few times higher than that recorded at the given meteorological stations. Furthermore, snowfall and rainfall during the melting period of snow blanket can appreciably increase percolating groundwater and discharge rate.

It is worthy to take into consideration the surface water in the form of seeps and/or springs which have been controlled mainly by discontinuities and hydrogeological properties of related units.

It is recommendable to find relationships between elevation and annual precipitation in a region at the preliminary stage of investigation. Regression analyses of meteorological data for different regions of Turkey have indicated that this relation is linear. It is given below as an example and it should be readjusted for a region under consideration. Because, it may show some variations due to atmospheric events specific to that region.

$$P = P_m + \alpha * H$$

Where ;

P : annual precipitation at delineated area, mm.

P_m : annual precipitation at meteorology station, mm.

H : elevation difference between delineated area and meteorology station, m.

α : slope of the best fitted line in P - H graph, mm/m.

Such factors, can be used to understand drainage characteristics of a catchment area, in flood calculations, and also in the exploration of potable water.

GİRİŞ

Hidrojeolojik ve jeoteknik araştırmalarda yükseklik ve süreksizlik etkenleri araştırılmış ve uygulamada nasıl kullanılabilecekleri irdelenmiştir.

Türkiye, yüksek dağ sıraları ve dağ sıraları arasında veya eteklerinde uzanan geniş ve/veya uzun ovalardan oluşmaktadır. Dağ sıralarını oluşturan jeolojik birimlerin %95'inden fazlası süreksizlik içermektedir. Bir bölgede yüksek dağ sıralarının sırtları en fazla kar toplarken yine sırt ve yamaçlar en çok yağış alırlar. Ayrıca yükseklik arttıkça açık hava basıncının düştüğü ve buharlaşmanın azaldığı da bilinmektedir (Mason, 1975). Bu nedenle çok kar tutan dağlık kesimlerde kaynak ve sızıntıların yoğunlaşması kaçınılmazdır.

Yüzey suyu - yeraltısuyu ilişkisi yağış - buharlaşma ikilemine bağlı olduğu kadar süreksizlikler tarafından da kontrol edilmektedir (Yılmazer, 1985). Birbirlerinden aynı yönlü (homoclinal) yapıları yüksek bir dağ sırasıyla ayrılan iki havzanın hidrojeolojik özellikleri ilk bakışta göze çarpacak kadar farklıdır. Örneğin, KB eğimli jeolojik yapılardan oluşan Nurdağı'nın batı yamacındaki derelerin çoğu sürekli akarken ve çok sayıda kaynak ve sızıntı içerirken, doğu yamacında tam tersi durum geçerlidir.

Yüksekliği 2000 m'yi aşan ve yer yer 3700 m'ye ulaşan Bolkar (karı bol) ve Aladağlar yılın büyük bir diliminde karla örtülüdür. Berdan, Seyhan ve Ceyhan gibi yüksek debili nehirler bu dağlardan beslenmektedir. Köprü, menfez, nehir yatağı değiştirme kanalları vb. su yapılarının (Öziş, 1983) tasarımı hidrojeolojik ve hidrojeolojik verilerin doğruluğu büyük önem taşımaktadır. Meteoroloji istasyonu, çalışma alanından uzakta (>15 km) ve göreceli olarak düşük (<500 m) yükseklikteyse, bu istasyona ait verilerin hidrojeolojik ve hidrojeolojik hesaplamalarda doğrudan kullanılmaması gerekmektedir. Ayrıca, çalışma alanını ilgilendiren beslenme havzasındaki ana süreksizlik sistemleri çalışılıp buna bağlı gerçek saha koşullarını yansıtan su toplama havzasının sınırları belirlenmelidir (Yılmazer, 1991). Yükseklik konusu, her bölge için değişim gösterebileceğinden, ayrıntılı değerlendirilmeli ve Yağış - Şiddet - Süre tekrarlanma incelemelerine katkısı belirlenmelidir.

Bir havzada, taşkın şiddetini belirleyen etkenler: Richards (1955) tarafından, yağışın şiddeti, dağılımı, süresi ve havzanın alanı, şekli ve eğimi olarak tanımlanmıştır. Bitki örtüsü, toprak tipi ve havzanın yağış öncesi ıslaklık derecesinin de taşkın şiddetini etkileyebileceğini öne sürmüştür. Garstka ve diğerleri (1958) kar örtüsü - nehir akışı ve kar erimesi - taşkın ilişkilerini ayrıntılı olarak vermişlerdir. Apollov (1959) Hidrojeolojik araştırmalar açısından önemli olan veri türlerini belirlemiş ve bunların meteoroloji istasyonları tarafından kaydedilmesinin önemini vurgulamıştır. Ulugür (1969), yaygın olarak kullanılan Q-CIA denkliğindeki C katsayısının gerçek saha

koşullarını yansıtamadığını düşünerek fizyografik değiştirmeler (parametreler) ileri sürmüştür. Bu değiştirmelerin birbirleriyle olan ilişkilerini ve taşkına olan etkilerini araştırmıştır. Ayrıca jeolojik etkenlerden birkaçına kısa olarak değinmiştir. Snyder ve diğerleri (1971) Taşkın alışmaları başlığı altında kar erimesi-taşkın ilişkisini ayrıntılı olarak incelemişlerdir. şekil 1'de bu ilişki zet olarak sunulmuştur. Sing (1982) kar ve yağmur yağışının ve benzeri meteorolojik olayların zaman ve alansal dağılımlarının taşkını nasıl etkiliyebileceğini araştırmıştır

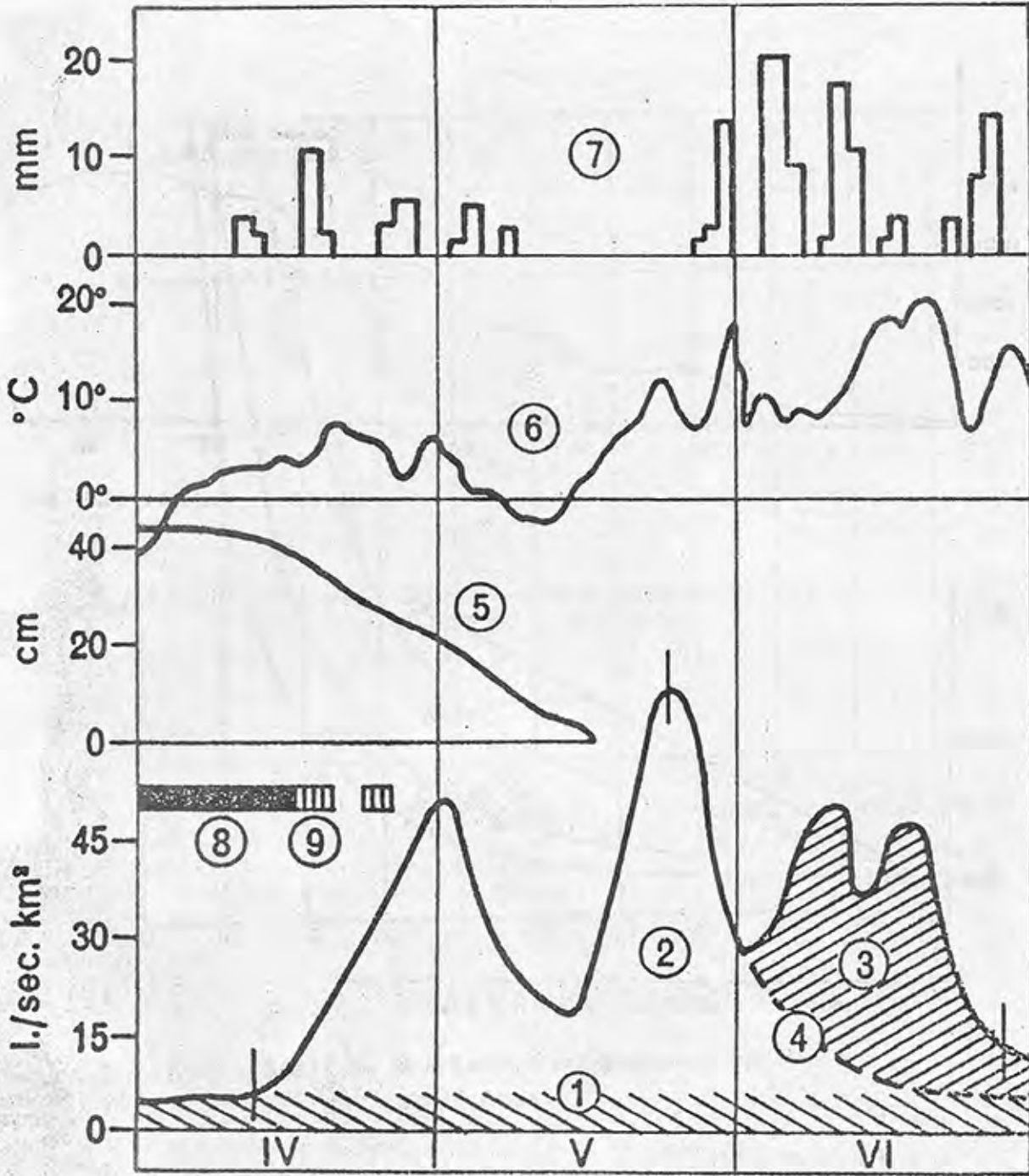
YÖNTEME YAKLAşIM

Yükseklik ve yağış miktarı-yağış ilişkisi fiziksel bir olay olup ovalık bir havzadan yükseklerle çıkıldıkça yağış miktarı ve karla kaplı kalma süresi artar. Çok zel durumlar (Agee 1971, Hidore 1971, Collier 1970, Frederick 1971 ve Schaefer 1966) dışında, bu fiziksel olgu jeoteknik çalışmalarda gözardı edilemez. Giriş niteliği taşıyan bu yazıda, bu bağlamda, daha ileri araştırmaların yapılmasının gereği vurgulanmaya çalışılmıştır.

Meteoroloji işleri Genel Müdürlüğünden alınan verilerin değişik bölgeler için, yüksekliğe bağlı olarak nasıl değiştiği araştırılmış ve yıllık yağış miktarının, her bölge için, yüksekliğe bağlı olarak doğrusal değiştiği gözlenmiştir (şek. 2). Benzer ilişki Çukurova'nın doğu kesimi için araştırılmış ve doğrunun eğimi ~ 0.37 mm/m olarak bulunmuştur (şek. 3). şekilden de anlaşılabileceği gibi 25 m yüksekliğindeki Ceyhan'a özgü meteoroloji verilerinin 40 km uzakta ve yaklaşık 2000 m yükseklikteki bir çalışma alanı için doğrudan kullanılması, tasarım açısından önemli yanlışlıklara neden olabilecektir.

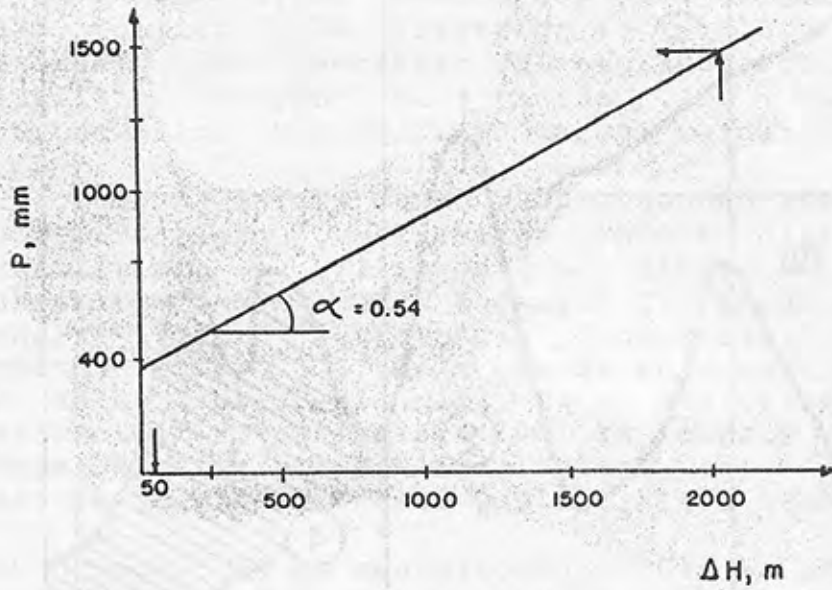
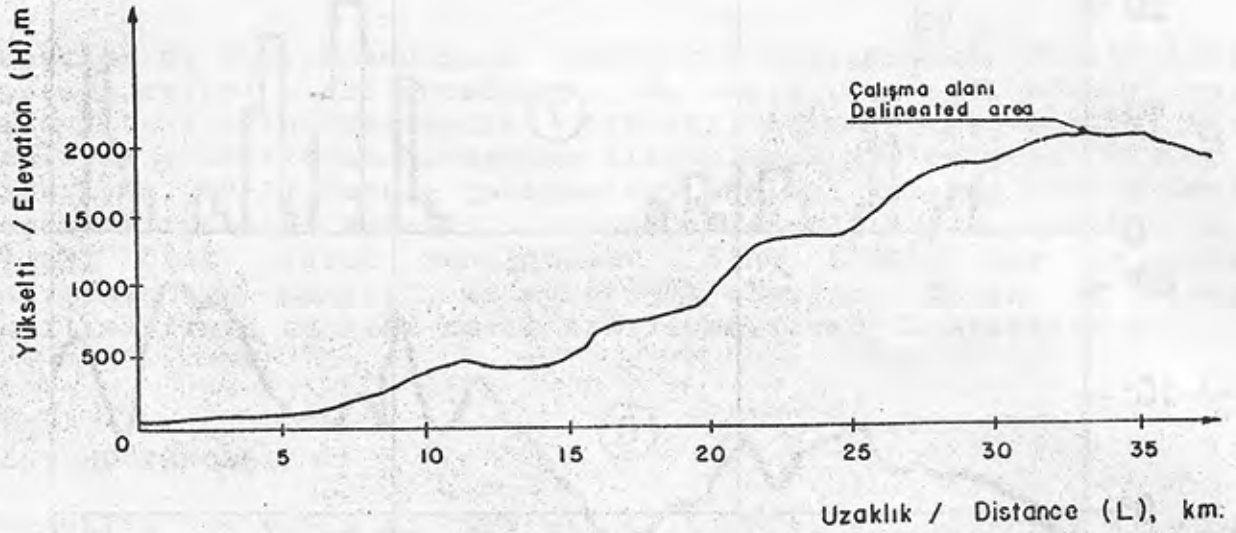
Ölü Deniz: ~ 24 km genişliğinde, ~ 74 km uzunluğunda ve ortalama deniz seviyesinin 369 m altında olup açılımlı (pull apart) havza niteliği taşır. şekil 4'te, Ölü Deniz Fayı boyunca oluşan bu çukur vadide (the Great Rift Valley) buharlaşma 1800 mm/yıl'dan daha fazla olmasına karşın yıllık yağış miktarı 200 mm'nin altındadır. Buharlaşma nedeniyle su kaybının yüksekliğe dolayısıyla açık hava basıncına göre değiştiği bilinmektedir. Bu çukurun her iki yanında yeralan ve K-G doğrultusunda uzanan dağlık kesimlerde tam tersi durum geçerlidir. Bir başka anlatımla, yağış miktarının arttığı ve buharlaşmanın azaldığı görölmektedir. Bu ilişki elde yeterli veri olmadığından, ileri derecede araştırılmasının gereği belirtilmekle yetinilmiştir.

Tarım açısından elde edilebilir suyun önemi yadsınılamaz. Bu tür çalışmalarda; Pm - H ilişkisinin belirlenmesi, yeraltı suyunun hareketini etkileyecek ana süreksizlik sistemlerinin çıkarılması, ve ilgili jeolojik birimlerin hidrojeolojik özelliklerinin araştırılması yeterli olabilir. Ancak, bu ilişkiler jeoteknik açıdan daha karmaşık bir durum sunmaktadır. Ana süreksizlik sistemlerinin araştırılmasının jeoteknik açıdan önemi Yılmaz ve diğerleri (1992)'de verilmiştir. Yıllık yağış miktarı ve buharlaşmanın yüksekliğe göre değişimi konu içinde verilmiştir.



Şekil 1- Kar erimesi taşkını hidrografiğinin genetik ayrımı: (1) yeraltısuyuna taşkın; (2) kar erimesi taşkını; (3) yağmur taşkını; (2 ve 3, doğrudan taşkına dönüşür); (4) taşkın sonucu düşürülmüş eğri; (5) kar örtüsü derinliği; (6) hava sıcaklığı; (7) yağış; (8) buzul örtüsü; (9) buzul birikintisi. Taşkın başlangıcı, en yüksek noktası ve bitişi hidrograf üzerinde düşey çizgilerle belirtilmiştir (Snyder ve diğerleri, 1971'den)

Figure 1- Genetic separation of snowmelt flood hydrograph: (1) groundwater runoff; (2) snowmelt runoff; (3) rainfall runoff; (2 and 3, direct runoff); (4) depletion curve; (5) snowcover depth; (6) air temperature; (7) precipitation; (8) ice cover; (9) ice drift. The beginning, peak, and end of the flood are indicated on the hydrograph by vertical lines (after Snyder and others, 1971).



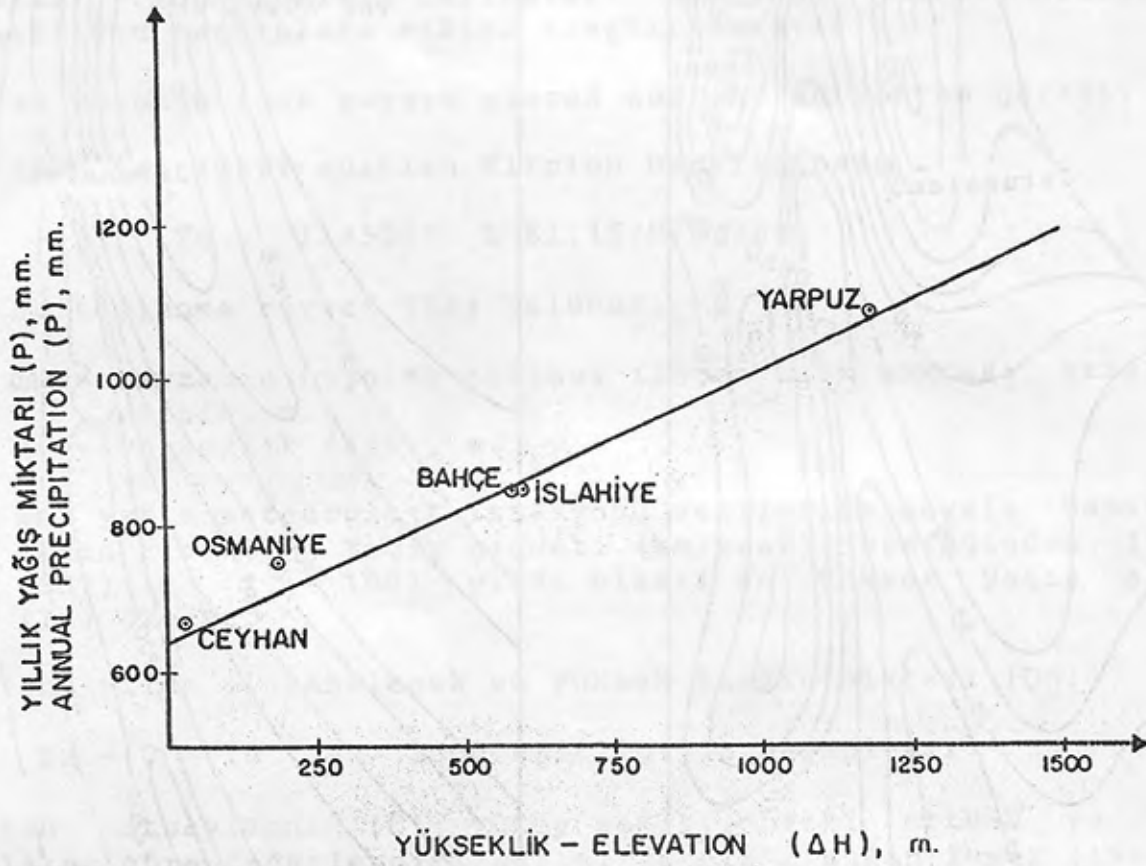
$$P = P_m + \alpha * \Delta H$$

$$P = 400 + 0.54 * 2000$$

$$P = 1480 \text{ mm}$$

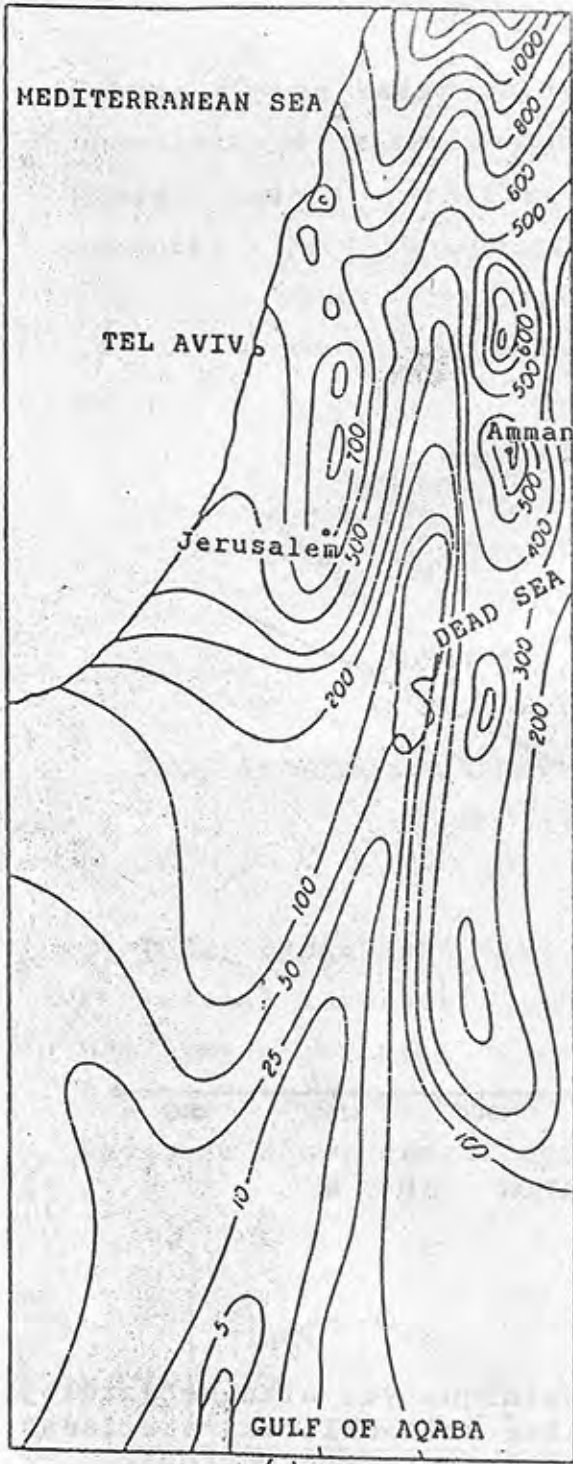
çalışma alanında yıllık yağış miktarı, mm.
 Where P is annual precipitation at delineated area, mm.
 meteoroloji istasyonunda yıllık yağış miktarı, mm.
 P_m is annual precipitation at meteorology station, mm.
 ortalama deniz seviyesinden yükseklik, m.
 H is elevation above mean sea level, m.

Şekil 2- Yükseklik - yıllık yağış ilişkisini, genel anlamda, göstermektedir.
 Figure 2- Illustrating the general relation between elevation and annual precipitation.

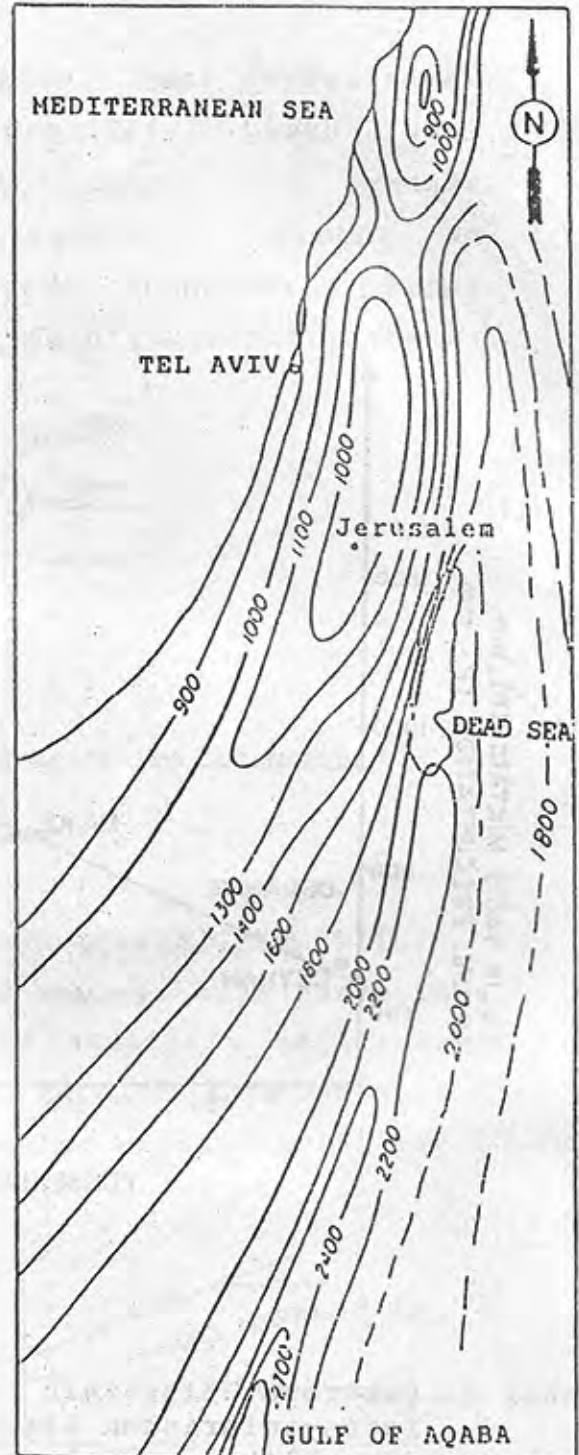


Şekil 3- Çukurova Bölgesinin doğu kesiminde yer alan Meteoroloji İstasyonlarından alınan veriler kullanılarak hazırlanan yükseklik - yıllık yağış ilişkisini göstermektedir.

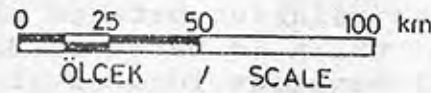
Figure 3- Depicting the relation between elevation and annual precipitation which is based on data obtained from the Meteorological Stations located at eastern part of the Çukurova Region of Turkey.



(a)



(b)



Şekil 4- Ölü Deniz Açılım Bölgesinde gözlenen yıllık yağış (a) ve buharlaşma (b) eşdeğer eğrilerini mm olarak göstermektedir (Manspeizer, 1985'den).

Figure 4- Illustrating annual rainfall (a) and evaporation (b) contours in mm over the Dead Sea Rift Region (after Manspeizer, 1985).

Konunun rakamlarla anlatımı, değişik disiplinler arasındaki iletişimi kolaylaştırmak için gereklidir. Birbirinden uzak bölgelerde gerçekleştirilen saha gözlemleri (millenme sınırları, doğal bitki örtüsü dağılımı, ağaçların gövdesi ve sarımsık bitkiler üzerinde taşkın izleri, taşkın yatağının doğal geometrisi, yapılar üzerinde taşkın izleri vb.), bilinen tarihi taşkınların araştırılması, meteorolojik verilerin derlenmesi, taşkın rasatlarının irdelenmesi ve benzeri verilerin 1/25000 ölçekli topoğrafik haritalar üzerinde denetirilmesiyle yüksekliğin taşkınlara etkisi araştırılmıştır.

Taşkın hesaplarında yaygın olarak kullanılan yöntem gereği:

1. 1940'ta ileri sürülen Kirpich Denkliğinden

$$T_c = (1/52) * L E1.15/H E.385$$

su toplanma süresi (T_c) bulunur.

L = havzanın boşalma noktası ile en uzak noktası arasındaki mesafe, m.

H = yükseklik farkı, m.

2. En yakın meteoroloji istasyonu verilerine dayalı hazırlanan zaman (dak) - Yağış şiddeti (mm/saat) grafiğinden (Tümak, 1987) n (2 - 100) yılda olası en yüksek yağış şiddeti (I_n) okunur.

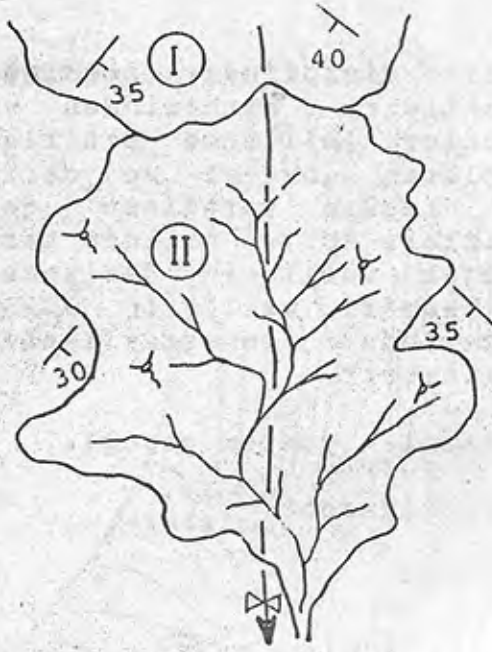
3. "n" yılda oluşabilecek en yüksek taşkın miktarı (Q_n)

$$Q_n = C * I_n * A / 3600 \text{ eşitliğiyle hesaplanır.}$$

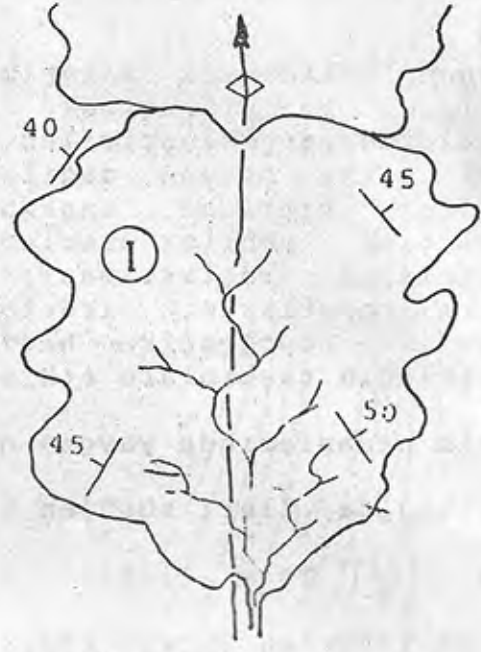
Taşkın katsayısının (C) yüzey şekli, bitki örtüsü ve toprak yapısına göre değerlendirilmesini yetersiz bulan Tumer (1960) kar ve süreksizlik dışında çok sayıda havza özelliğinin değerlendirilmesini önermiştir. Depolanma - boşalma ilişkisi; özellikle ana süreksizliklere bağlı kaynak, sızıntı ve ıslaklık ve havzayı oluşturan jeolojik birimlerin hidrojeolojik özellikleri C'nin veya doğrudan Q_n 'nin hesaplanmasında gözönünde bulundurulmalıdır.

Ölçülebilen kaynaklar genellikle hesaba katılır. Taşkın debisine etki yapabilecek pek çok özel konular değişik araştırmacılarca çalışılmıştır. Örneğin, Karstik alanlarda karst pınarlarının taşkın debilerinin tekerrür dağılımına etkisi Benzeden ve diğerleri (1991) tarafından ayrıntılı çalışılmıştır. Bitişik havzadan yılboyu yeraltısuyu taşıyan tabakalanma ve fay gibi süreksizliklerin yaratacağı kaynak, sızıntı ve ıslaklık olası taşkın doğrudan yansıyacaktır. Bu nedenle geniş alanlarda etkin olabilen sızıntı ve ıslaklığında, taşkınlara yadsınılamayacak miktarda su sağladığı güncel örnekler üzerinde gözlenebilmektedir.

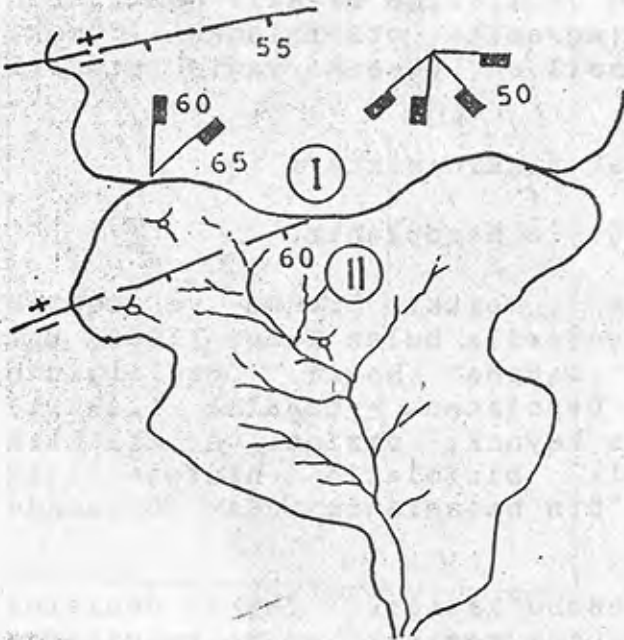
Şekil 5'te süreksizlik ve sızıntı-ıslaklık ilişkisi sunulmuştur. Süreksizliğe bağlı düzeltilmiş taşkın miktarı (Q_{dn}) Q_n 'in bir



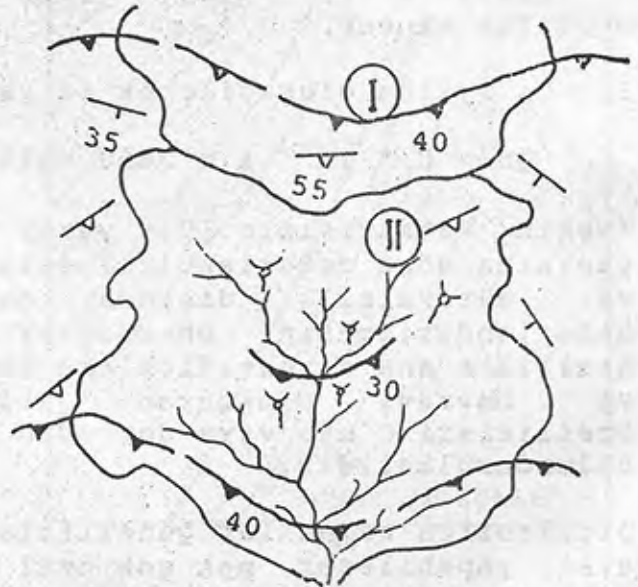
Dalımlı senklinal
Plunging syncline



Dalımlı antiklinal
plunging anticline



Faylı ve eklemli mağmatik kayaç
Faulted and jointed igneous rock



Bindirmeli başkalaşmış kayaç
Thrust metamorphic terrain

Şekil 5- Hidrojeolojik özellikleri süreksizliklerden etkilenen ve birbirlerinden tamamen farklı iki ayrı havza (I ve II) gösterilmektedir.

Figure 5- Depicting two extremely different watershed areas (I and II) in the respect of hydrogeology, which are affected from discontinuities.

düzeltilme katsayısı (d) ile çarpımıyla bulunabilir. "d"nin değeri 0.8'den (I. havza için) 1.3'e (II. havza için) değişmektedir.

Taşkın hesaplamalarında yüksekliğin etkisi karla kaplı kalma süresiyle birlikte ele alınmış ve basitleştirilerek aşağıda verilmiştir.

$$Q_{yn} = Q_{dn} * (1 + k + y)$$

$$k = (s / 12) * a / A \quad s < 7 \text{ ay}$$

a = Karla kaplı kalan alan, m². (Bir veya fazla sayıda).

A = Su toplama havzası, m².

s = 'a' alanının orta noktasının karla kaplı kalma süresi, ay.

Kapalı su yapılarının giriş bölümünün tasarımı, aşağıda birkaçı sunulan konuların ayrıntılı araştırılması, Q_n'nin doğru belirlenmesi kadar önem taşımaktadır.

- Bitişik yamaçlarda blok gönderebilecek jeolojik birimlerin varlığı,
- Kayma alanlarının yakınlığı,
- Sökülerek taşınabilecek ağaçların varlığı,
- Sürüklenerek taşınabilecek cisim ve maddelerin varlığı, vb.

Benzer cisim ve maddelerin kapalı su yapısının ağzında tıkaç görevi gördüğü ve ana mühendislik yapısını tehlikeye soktuğu sık sık gözlenmektedir.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Yağış tipi ve miktarı yüksekliğe bağlı olarak değişim göstermektedir. Yükseklik arttıkça yağış miktarı ve karla kaplı kalma süresi de artmaktadır. Böylece, yeraltısuyunun beslenmesinde de artış olacaktır. Çukur alanlarda ise, buharlaşma fazlalaşırken yağış miktarı ve kar yağışı azalmaktadır.

Yeraltısuyunun hareketi, genellikle, ana süreksizlikler ve ilgili jeolojik birimlerin hidrojeolojik özellikleri tarafından yönlendirilmektedir. Yeraltısuyunun beslenmesi, kar örtüsünün kalınlığı ve alttan sızıntı verme süresiyle doğru orantılıdır. Katmanlı istiflerin yamaçdışı eğimli olduğu dağ yamaçlarında ıslaklık ve sızıntılar artarken duraysızlık sorunları da artış gözlenmektedir. Yamaçları eğimli kesimler ise göreceli olarak daha dik olup oldukça engebeli yüzey şekli sunarlar. Yeraltısuyu açısından fakirdirler. Bu tür bölgelerde, iyi gelişmiş fay zonları ve kalın kolüvyonal çökel alanları dışında, büyük ölçekli jeoteknik sorunlar beklenmemektedir.

Tarımsal amaçlı elde edilebilir suyun bulunmasında, yukarıda özet olarak sunulan konuların ayrıntılı araştırılması yeterli olabilir. Jeoteknik açıdan özellikle taşkın hesaplamalarında yükseklik ve yüksekliğe bağlı karla kaplı kalma süresi gözönünde bulundurulmalıdır. Jeolojik birimler ve iyi gelişmiş süreksizlik sistemleri, yüzey şeklinin oluşmasında ve yeraltısuyunun hareketinde, çoğu yerde belirleyicidirler. Taşkın katsayısının bulunmasında sızıntı ve ıslaklık gibi hidrojeolojik özelliklerin dikkate alınmasında yarar görülmektedir. Özellikle kapalı su yapılarının tasarımı ve nehir yatağı iyileştirilmesi - değiştirilmesi için yapılan araştırmalarda, aletli verilerin azlığıda gözönünde bulundurulurken, yakın çevrede yaşayanların tanıklığına yer verilmelidir.

KATKI BELİRTME

Veri toplamada kolaylık sağlayan kişi ve kuruluşlara teşekkürler. Yazar, araştırmalarında maddi ve manevi desteğini esirgemeyen ailesi ve Metin Borahan'a minnettardır.

KAYNAKÇA

- Agee, E.M., (1971), An artificially induced local snowstorm; Bull. Am. Meteorol. Soc., 52, 557-560.
- Apollov, B.A., (1959), Hydrological forecasting; Moscow State University, 338 s.
- Benzeden, E., Öziş, U., Tuncay ve S., Alkan, A., (1992), Taşkın debilerinin tekerrür dağılımına karst pınar katkılarının etkisi; Yağış, Sel, Heyalan Sempozyumu, TMMOB-Ankara.
- Collier, C.G., (1970), Fog at Manchester; Weather Rev., 90, 194-196.
- Frederick, R.H., (1970), Preliminary results of a study of precipitation by day of the week over Eastern United States; Second National Conference on Weather Modification. American Meteorological Society, 209-214.
- Garstka, W.U., Love, L.D., Goodwell, B.C., ve Bertle, F.A., (1958), Factors affecting snowmelt and stream flow; United States Dept. of the Interior Bureau of Reclamation and Agriculture Forest Service, Colorado.
- Hidore, J.F., (1971), The effects of accidental weather modification on the flow of the Kankakee River; Bull. Am. Meteorol. Soc. 52, 99-103.
- Mason, B.J., (1975), Clouds, rain, and rainmaking; Cambridge University Press, 189 sayfa.

- Öziş, Ü., (1983), Su yapıları. Müh. Mim. Fak., Dokuz Eylül Univ. 608 sayfa.
- Richards, B.D., (1955), Flood estimation and control; Chapman & Hall Ltd., London.
- Schaefer, V.J., (1968), Ice nuclei from auto exhaust and iodide vapor; Science, 154, 1555-1557.
- Singh, V.P., (1982), Statistical analysis of rainfall and runoff; Water Resources Publications, Michigan, U.S.A.
- Snyder, F., Sokolov, A., ve Szesztay, K., (1971), Flood studies: an international guide for collection and processing of data; Technical Papers in Hydrology, UNESCO.
- Tumer, A.K., (1960), Rainfall losses in relation to runoff for small catchments; Jour. Institute of Engineers, Australia. 32., Jan-Feb.
- Tümak Hidrometeoroloji Çalışma Gurubu, (1987), Türkiye'nin yağış-şiddet-süre-tekerrür analizleri; TÜMAK Projesi, Proje No. 2, Ankara.
- Ulugür, M., (1969), A fluvial physiography as a factor in basin response; Ph.D. Thesis, Civil Eng. Dept., Colorado State University.
- Yilmazer, İ., (1985), Hydrogeological investigation of the Akkuyu II (Çamalanı) nuclear power plant site (İçel - Türkiye); Ph.D. Thesis, Geological Engineering Department, Middle East Technical University.
- Yilmazer, İ., (1991), Katmanlı ve eğimli bir jeolojik birimde yeraltısuyu beslenme havza sınırının belirlenmesi üzerine bir yaklaşım; Yağış, Sel, Heyalan Sempozyumu, TMMOB-Ankara.
- Yilmazer, İ., Erhan, F., Duman T. ve Aytekin, E., (1992), Mühendislik çalışmalarında süreksizlik araştırmalarının önemi; 3. Mühendislik Jeolojisi Sempozyumu, Uluslararası Mühendislik Jeolojisi Türk Milli Komitesi ve Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi.

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

Ergun KARACAN*

Feda ARAL*

Orhan CERİT**

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

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

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

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

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

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

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

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

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

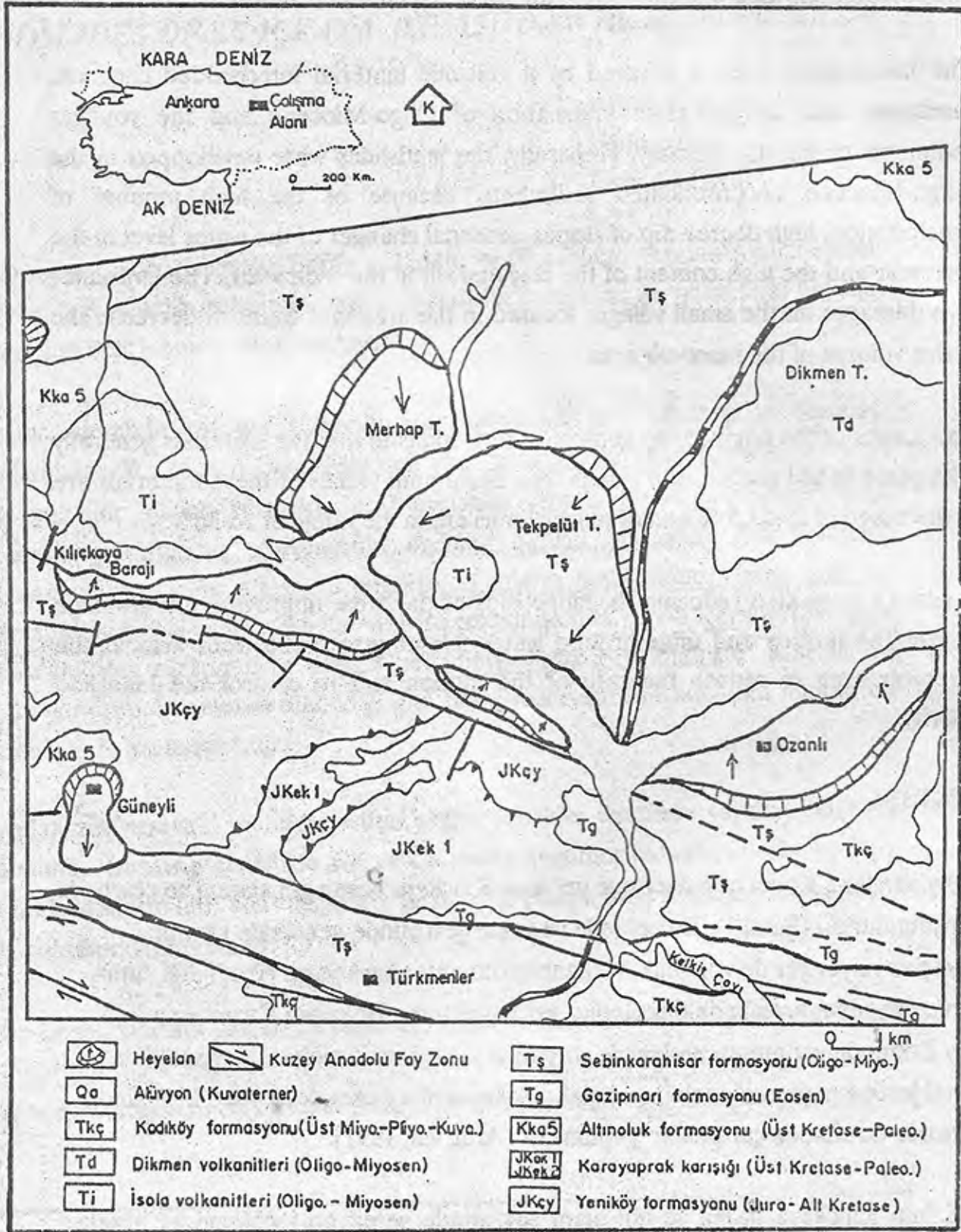
It may be suggested reducing the slope dips of the area, improving the drainage system for surface and underground water, planting with the trees around the reservoir area to reduce the rate of the motion and to control the landslide activity.

1-GİRİŞ

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

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

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



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

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

2. GENEL JEOLJİ

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

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

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

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

3. HEYELANLARIN GENEL ÖZELLİKLERİ

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

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

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

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

4. HEYELAN MALZEMELERİNİN MÜHENDİSLİK ÖZELLİKLERİ

Heyalanlı alanlardan alınan 19 adet örneğin 17 tanesinin indeks özellikleri T.S.E.'ne(1987) göre Cumhuriyet Üniversitesi Zemin Mekaniği Laboratuvarlarında belirlenmiş olup toplu sonuçlar çizelge 1'de verilmiştir. Bu çizelgeye göre; heyelan malzemelerinin tane özgül ağırlıkları (G_s) ortalama 2.75 gr/cm^3 civarındadır. Heyelan malzemelerinin ince bileşenlerinin ortalama sıvılık sınırı (LL) %42, ortalama plastiklik sınırı (PL) %24, ortalama plastiklik indeksi (PI) %17.60, ortalama aktiflik katsayısı $A=3.58$ ve ortalama tek eksenli büzülme oranı %10.60 olarak belirlenmiştir. Ortalama aktiflik sayısına göre heyelan malzemelerindeki killer Skempton'ın (1953) Çizelge 5'de verilen aktiflik sınıflamasında, aktif killer grubuna girmektedir.

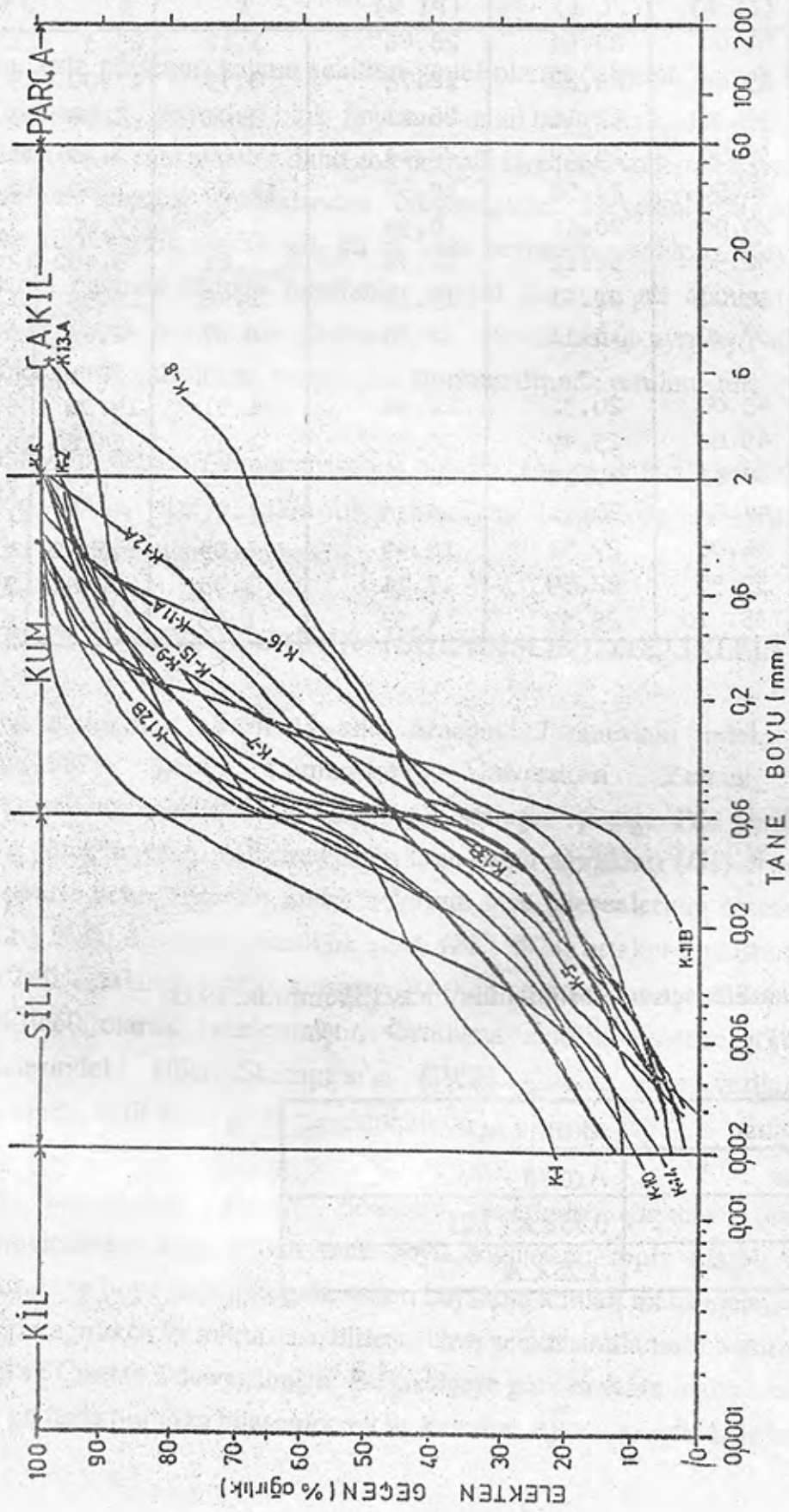
Heyelan kesiminden alınan örnekler üzerinde yapılan tane boyu çözümlemelerinden elde edilen tane boyu dağılımları toplu olarak şekil 2'de verilmiştir. tane boyu dağılım eğrilerinden heyalana katılan malzemeleri oluşturan bileşenlerin ağırlıkça % miktarları, birleştirilmiş zemin sınıflamasına göre grupları,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

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

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

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

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



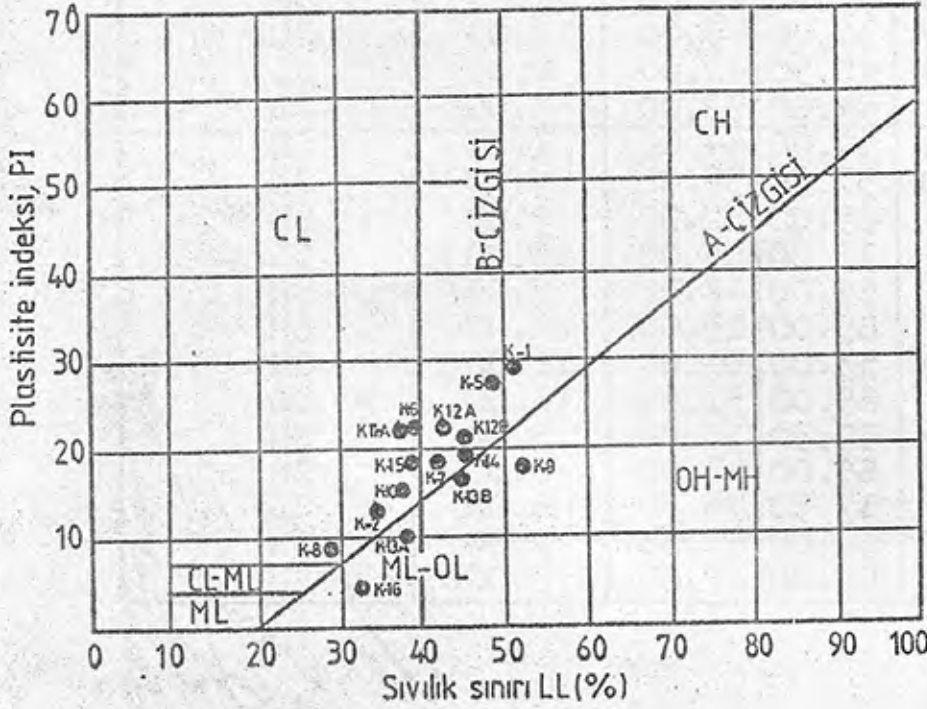
Şekil 2: Heyelan örneklerinin tane boyu dağılım eğrileri

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

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

Çizelge 4: Heyelan malzemelerinin kil minerallerinin dağılımı

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

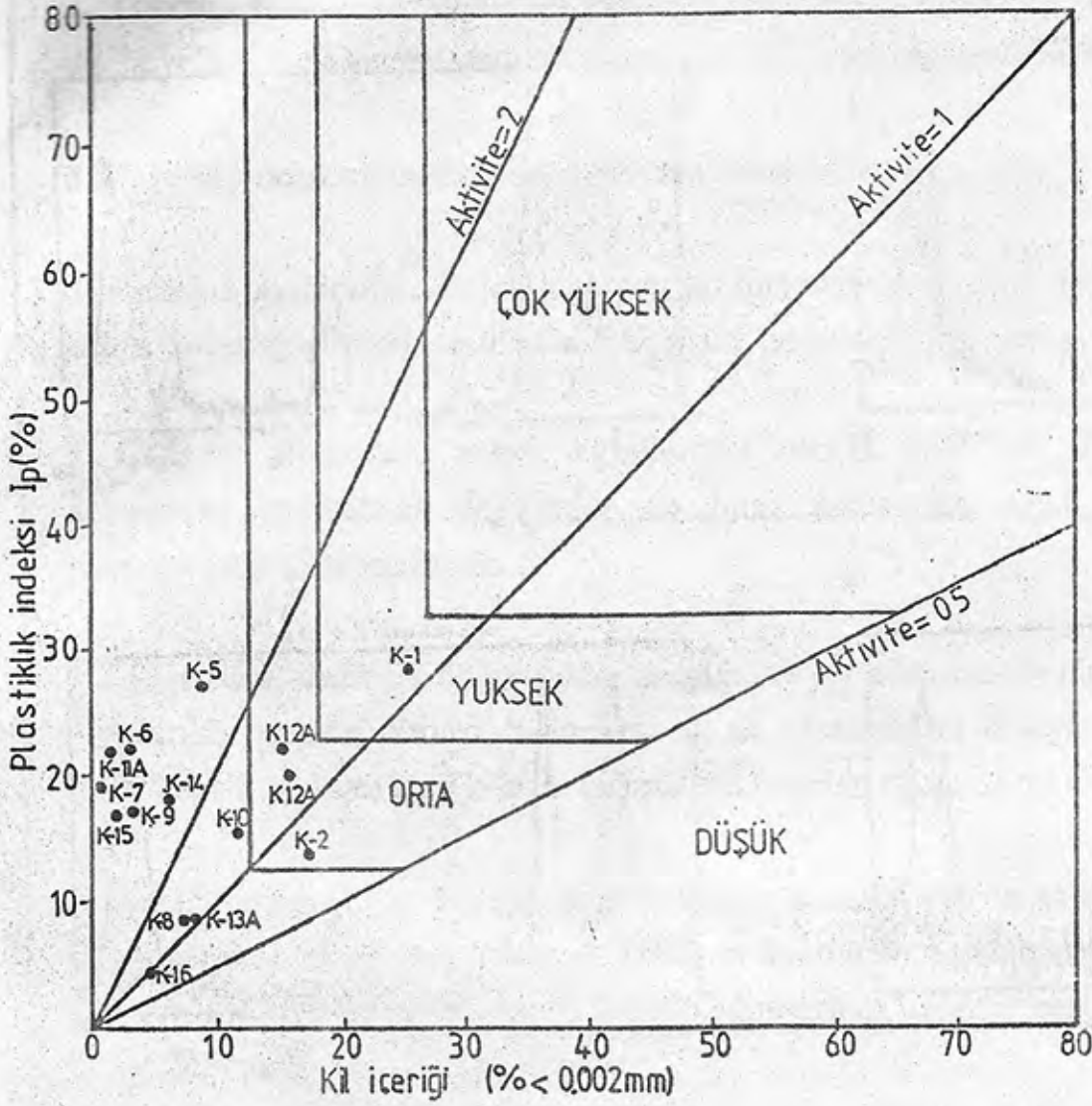


Şekil 3: Heyelan örneklerinin ince taneli bileşenlerinin plastisite çizelgesi üzerindeki dağılımı

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

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

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



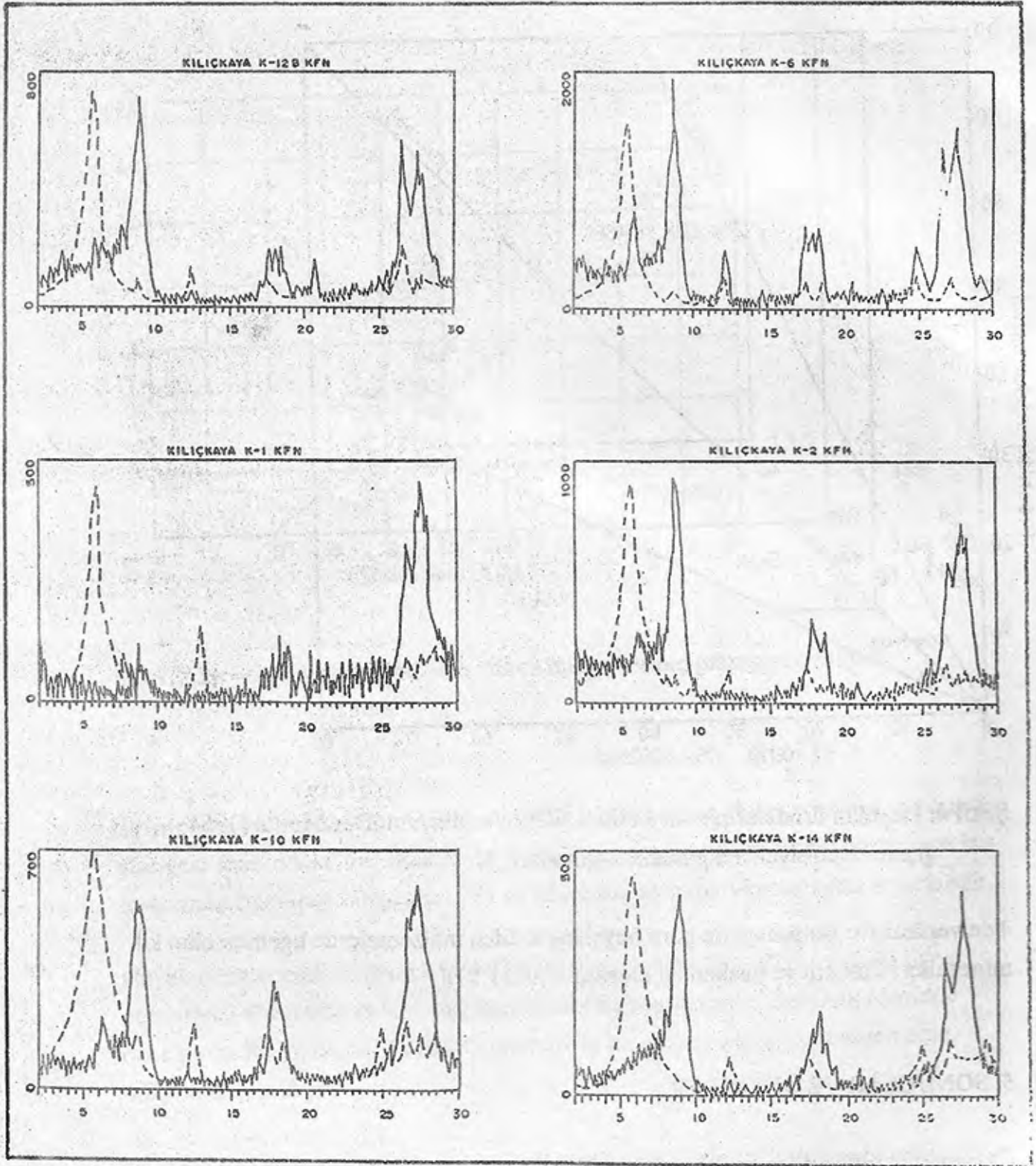
Şekil 4: Heyelan örneklerinin ince taneli bileşenlerinin Van Der Merve (1964) şişme potansiyeli abağındaki dağılımları

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

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Çalışmadan elde edilen sonuç ve öneriler aşağıda özetlenmiştir.

1. İnceleme alanındaki heyelanların genellikle Oligo-Miyosen yaşı



Şekil 5: Heyelan malzemesi kil örneklerinin x-ışınları difraktogramları

Şebinkarahisar formasyonundaki pekişmemiş birimlerde geliştiği belirlenmiştir.

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

3. Heyelan malzemelerinde egemen olan bileşen silt ve kumdur.

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

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

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

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

6. TEŞEKKÜR

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

7. YARARLANILAN KAYNAKLAR

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

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

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

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

Ankara, 1535

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

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

TÜNELLERDE YERALTISUYU VE YERALTISUYU HAREKETLERİ GROUNDWATER IN TUNNELS AND GROUNDWATER MOVEMENT

Turgut SAFA

ABSTRACT

One of the major problems to be met during tunnel excavation is groundwater. In a tunnel which is going to be excavated in the crust of the earth. In order to determine the coming groundwater through the discontinuous surfaces, cavities and cracks; it is necessary to investigate seriously the surface geology and surface geology by drilling boreholes and to take into account the results then. For this study some boreholes would be drilled on the tunnel route at several distances up to the below level of tunnel bottom. These holes should be determined according to the tunnel size and after completion of drilling the boreholes. They are kept workable for further measurements of the groundwater levels which may change during the summer and winter. In addition, the amount and movement of groundwater to be encountered in the tunnel would be tried to find out by carrying out tracers tests releasing the radioactive painted water through the boreholes.

It is extremely important to learn the temperature, chemical composition and amount of groundwater and what the pressure would be on to the tunnel lining. Since the drainage of groundwater flowing into the tunnel and providing the imperviousness of concrete lining is necessary.

The factors determining the groundwater existence in the tunnel:

1- Lithological factors:

a-Igneous rocks: However they are in general impervious at the deeper levels. Can be pervious and cracked at the upper levels.

b-Sedimentary rocks: This group which accured as a result of an accumulation, acts an important role generally on behaviours of groundwater movements.

c-Metamorphic rocks: These kinds of rocks are accepted as impervious rocks.

2- Structural factors: Water conveyance capability through the cracks and faults is quite possible in the rocks especially affected by tectonism severely. Bedding and schistosity planes cause the movement of groundwater.

Groundwater circulation, due to the pressure of cavity water affects negatively the tension condition of the subsurface rock and the rock behaves as plastic, approaching the limit of fracture.

Groundwater movements cause volume increasing and expanding of clay minerals due to changing of anhydrite into gypsum which is called swelling of the base, that causes important problems. Drainage works require to enhance the stability of subsurface rock structure.

During excavation works, the water come through the tunnel base and the one used for the construction is planned to drain in such a way that it shouldn't upset the tunnel works.

1. GİRİŞ

Tünelin geçeceği güzergah yapılan detay jeoloji çalışmaları ile tesbit edilir. Yapısal faktörler, kayaçların türü ile yeraltısularını taşıma ve iletme dereceleri, yeraltısuyunun tünel güzergahı ile olan ilişkileri araştırılarak saptanır.

Bir tünel açımı esnasında karşılaşılabilecek en büyük sorunlardan biri de yeraltısuyudur. Yerkabuğu içinde açılan bir tünelde, gerilmelerde olduğu gibi, yeraltısuyu da tünelin içine doğru akar. Tünel ise bir dren, bir drenaj galerisi görevi yapmaya başlar. Bunun sonucu olarak açılan bir tünel yörenin su rejimini büyük ölçüde değiştirebilir.

Yüzey jeolojisi araştırmaları yapılırken tünel güzergahının bulunduğu seviyenin YAS'nun altında olup olmadığı tünel üst kotlarında veya tünel kotunun altındaki su kaynaklarının(pınar) yerleri ve debileri tesbit edilmelidir. Yüzey jeolojisine paralel olarak yeraltı jeolojisi araştırmaları da stabilite ve yeraltısuyunun belirlenmesi amacıyla gerçekleştirilir. Bu çalışma için tünel güzergahı üzerinde tünel boyutunun esaslarına göre muhtelif aralıklarda tünel seviyesinin altına inilecek şekilde sondajlar yapılır. Sondaj delgileri bittikten sonra açılan kuyular, yeraltı su seviyelerinin yaz kış değişimlerini ölçmek için muhafaza edilir. Ayrıca bu kuyulardan radyoaktif boya verilmek suretiyle izleme deneyleri yapılarak, yeraltısuyunun hareketi ve tünel açımı sırasında karşılaşılabilecek yeraltısuyunun miktarı bulunmaya çalışılır.

Yüzey jeolojisi ve sondajlar vasıtası ile yapılan yeraltı jeolojisinin ciddi olarak araştırılarak ortaya konulmasındaki amaç, tünellere sürüksizlik yüzeyleri, boşluklar ve damarlar boyunca gelecek yeraltısularını belirlemektir. Yapılan araştırmalar ve çalışmalar sonucunda akiferler ile su getirecek litoloji ve yapı araştırılıp bulunmalıdır.

Suların sıcaklığı ve kimyasal bileşimi de debisi kadar önemlidir. Jibslü, anhidritli, kömürlü formasyonlardan geçen suların bünyesinde bulunan CaSO_4 , NaSO_4 , MgSO_4 , H_2S , CO_2 gibi bileşikler beton ve çeliği etkileyecek problem çıkarabilirler. Bu bakımdan çevrede bulunan nehir, dere ve kuyu sularının bütün özellikleri ilk etüdler sırasında ayrıntılı bir şekilde araştırılıp ortaya konulmalıdır.

Yeraltısuyu tünele sızıntı damlama, az veya çok şiddette yahutta basınçlı (akım) şeklinde boşalır. İlk etüdler sırasında bölgenin yeraltısuyu durumu ayrıntılı olarak araştırılıp öğrenilmeli, yeraltısı seviyesinin derinliği ile su miktarları mutlaka bilinmelidir. Mümkünse tünelin, yeraltı su seviyesinin üzerinde açılması gereklidir.

Tünelin içine akacak su miktarı ve kaplama üzerine gelecek basıncın ne olabileceğinin bilinmesi son derece önemlidir. Çünkü boşalan suyun debisine göre alınacak tedbirlerle uzaklaştırılması yüksek maliyete neden olurken, bazen tünel güzergahını değiştirme gereği duyulabilir.

2. TÜNELLERDE YERALTISUYUNU DENETLEYEN FAKTÖRLER

1- LİTOLOJİK FAKTÖRLER: Orijinlerine göre magmatik, sedimenter ve metamorfik olmak üzere 3 grubda toplanan kayalardan her biri oluştukları ortam ve zaman ile etkilendikleri kuvvetlerin tür ve şiddetlerine göre çeşitli özellikler kazanmışlardır.

A- Magmatik kayalar: Magmatik kayalar bulundukları ortama göre derinlik, porfir, yüzey kayaları olmak üzere 3 grubda toplanır.

Granit, siyenit, diyorit, gabro gibi derinlik kayaları sağlam ve geçirimsizdirler. Bunlarda genel olarak Q, L, S şeklinde çatlak aralıkları kapalı soğuma

Suların sıcaklığı ve kimyasal bileşimi de debisi kadar önemlidir. Jibslü, anhidritli, kömürlü formasyonlardan geçen suların bünyesinde bulunan CaSO_4 , NaSO_4 , MgSO_4 , H_2S , CO_2 gibi bileşikler beton ve çeliği etkileyecek problem çıkarabilirler. Bu bakımdan çevrede bulunan nehir, dere ve kuyu sularının bütün özellikleri ilk etüdlar sırasında ayrıntılı bir şekilde araştırılıp ortaya konulmalıdır.

Yeraltısuyu tünele sızıntı damlama, az veya çok şiddette yahutta basınçlı(akım) şeklinde boşalır. İlk etüdlar sırasında bölgenin yeraltısuyu durumu ayrıntılı olarak araştırılıp öğrenilmeli, yeraltısı seviyesinin derinliği ile su miktarları mutlaka bilinmelidir. Mümkünse tünelin, yeraltı su seviyesinin üzerinde açılması gereklidir.

Tünelin içine akacak su miktarı ve kaplama üzerine gelecek basıncın ne olabileceğinin bilinmesi son derece önemlidir. Çünkü boşalan suyun debisine göre alınacak tedbirlerle uzaklaştırılması yüksek maliyete neden olurken, bazen tünel güzergahını değiştirme gereği duyulabilir.

2. TÜNELLERDE YERALTISUYUNU DENETLEYEN FAKTÖRLER

1- LİTOLOJİK FAKTÖRLER: Orijinlerine göre magmatik, sedimentar ve metamorfik olmak üzere 3 grubda toplanan kayalardan her biri oluştukları ortam ve zaman ile etkilendikleri kuvvetlerin tür ve şiddetlerine göre çeşitli özellikler kazanmışlardır.

A- Magmatik kayalar: Magmatik kayalar bulundukları ortama göre, derinlik, porfir, yüzey kayaları olmak üzere 3 grubda toplanır.

Granit, siyenit, diyorit, gabro gibi derinlik kayaları sağlam ve geçirimsizdirler. Bunlarda genel olarak Q, L, S şeklinde çatlak aralıkları kapalı soğuma

eklemleri oluşmuştur. Derinlik kayaçlarında en önemli sorun ayrışmadır. Ayrışma; kırık, ezilme ve hidrotermal zonlarda yüksek derecede ve oldukça derinlere kadar erişmektedir. Bu özelliklerinden dolayı, geçirimsizlik yönünden önemli bir sorun yaratmamalarına rağmen, ayrışma zonuna yakın gelişmiş kırık ve çatlaklarında az miktarda çok düşük debili yeraltısuyu bulunabilir.

Porfirler ise genelde derinlik kayaçlarının özelliklerini taşırlar. Eklem ve soğuma çatlakları kapalıdır. Bu özelliklerinden dolayı geçirimsiz kabul edilirler.

Yüzey kayaçları olarak adlandırılan bazalt, trakit, andezit, dasit, tuf aglomera ve lavlar değişik doku ve bileşimdedir. Çoğu kez soğuma çatlaklarına bağlı olarak sütunsu veya prizmatik görünüm kazanırlar. Bunlar ise çabuk soğuma sonucu gazların ani çıkışı nedeniyle boşluklu, kırıklı olurlar.

Bu tür kayaçların permeabilite değerleri yüksektir. Bazalt, tuf ve lavlar arasında bulunan ayrılmış ya da sürüntü maddeleriyle doldurulmuş kısımlar tünexsu tipinde ya da geçirimsiz perde şeklinde basınçlı yeraltısuyunu oluşturlar. Çatlaksız ayrılmamış olduklarında poroziteleri çok düşük olup su depolama ve taşıma özellikleri yok denecek kadar azdır.

B- Sedimenter kayaçlar: Bu grup genelde yeraltısuyu hareketlerinin davranışında önemli bir yer tutar. Sedimenter kayaçlar orijinine, litolojisine ve yapısal özelliklerine bağlı olarak yeraltısularının taşınması ve depolanmasında farklı özellikler gösterirler.

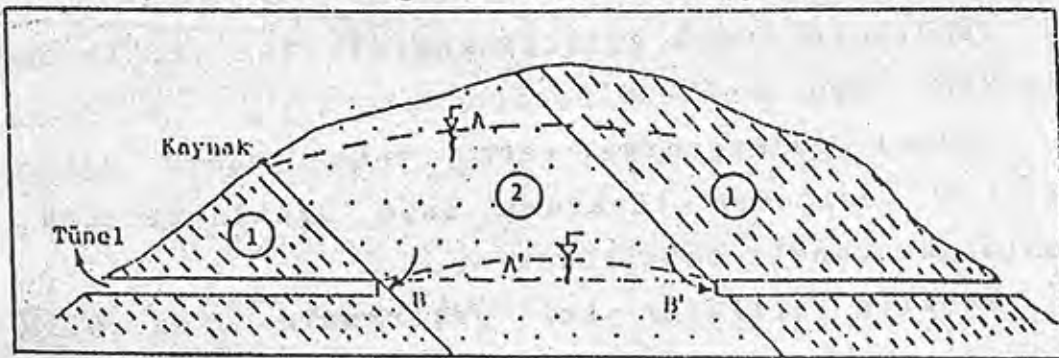
Kumtaşı, arkoz, grovak, konglomera gibi kayaçlarda yeraltısuyu hareketi tanelerin çimentolanma derecesine, boyutuna, şekline ve dizilişine bağlı olup iyi bir akifer özelliğine sahiptirler. Kil marn ve şeyllerin geçirgenlikleri çok düşüktür ve çoğu kez

geçirimsizdirler. Bunların arasında kumtaşı tabakalarının bulunması geçirgenliği arttırır. Kilttaşları plastik özellikler gösterdiklerinden yükler altında açık, çatlak ve fisürlerin oluşmasına imkan vermez. Marn ve şeyller ancak içerdikleri çatlak, fisür ve ezilme zonlarından dolayı düşük derecede geçirimli olabilirler.

Kireçtaşları, içerdikleri süreksizlikler ve bunlara bağlı gelişmiş karst sistemleri nedeni ile geçirimli kayalardır. Bu nedenle kireçtaşlarında açılan tüneller yeraltı su seviyesinin altında ise büyük debili sularla karşılaşmak normaldir. Ayrıca kil ve evaporit türü kayalar fiziksel ve kimyasal özellikleri sebebiyle tünele su taşıyan kayalarla bir arada bulunursa önemli problemlere yolaçar.

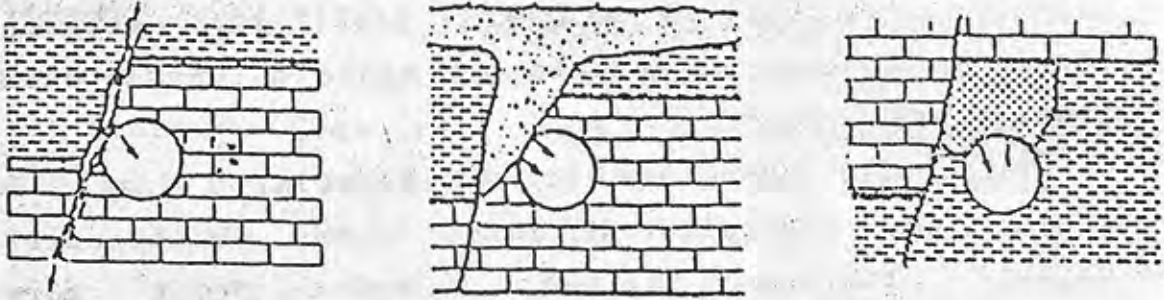
C- Metamorfik kayalar: Bu tür kayaların önemli bir kesimi geçirimsizdir. Mikaşist veya kloritşistlerin değişik bantlar halinde kalkşist veya mermer bulundurmaları ile geçirimli hale gelebilirler. Mermerlerde erime sonucu oluşmuş değişik boyutta mağaralara rastlamak mümkündür. Tünel açımı esnasında şist-mermer dokanağında büyük debili sularla karşılaşılabilir.

Litolojik faktörler de stratigrafik konumda önemlidir. Ayrışmış yüksek poroziteli geçirimli kayaların daha az geçirimli kayalarla kontaklarında yeraltısuyu boşalımı gerçekleşebilir(Şekil 1).



Şekil 1- Farklı litolojideki sahalarda tünel açılması ve yeraltı su seviyesine etkisi. 1- Geçirimsiz kayaç, 2- Geçirimli kayaç, A- Tünel açılmadan önceki Y.A.S. seviyesi, A'-Tünel açıldıktan sonraki Y.A.S. seviyesi, B, B'- Tünel açılmasıyla su akımının artması (tünelin drenaj galerisi gibi çalışması).

2- YAPISAL FAKTÖRLER: Kayaçlar oluşurken veya oluştuktan sonra birtakım süreksizlikler meydana gelir. Bunlar magmatik kayaçlarda; kırık, çatlak ve eklemler; sedimenter kayaçlarda tabaka ve eklemler, Metamorfik kayaçlarda ise şistozite ile çatlak kırıklardır. Kayaçlar bu tür özelliklerinin artmasına veya azalmasına göre permeabiliteleri değişerek yeraltısuyu taşımalarını etkiler. Kayaçların sahip olduğu bu süreksizlik sistemleri faylanmalar neticesinde daha da artarak kayanın porozitesinin ve permeabilitesinin artmasına sebebiyet verirler(Şekil 2).



Şekil 2- Fay zonlarının yeraltısuyunun dolaşımındaki etkisi.

Süreksizliklerin doğrultu ve eğim yönlerinin tünel güzergahına yeraltısuyunun taşınmaları ile ilgisi vardır.

.Süreksizliklerin doğrultuları tünel güzergahına paralel, eğimleri de düşey ve düşeye yakın ise tünel açılımı boyunca geçirimli kayaçların suyunu kazı boşluğuna ileteceklerdir.

.Doğrultu tünel güzergahına dik ise yeraltısuyunun bulunduğu zon tünele ulaştıracaktır.

.Tünel güzergahını verrev veya yataya yakın bir açı ile kesiyorsa tünelden suyu uzaklaştıracak, bir kısmını da tünele boşaltacaktır.

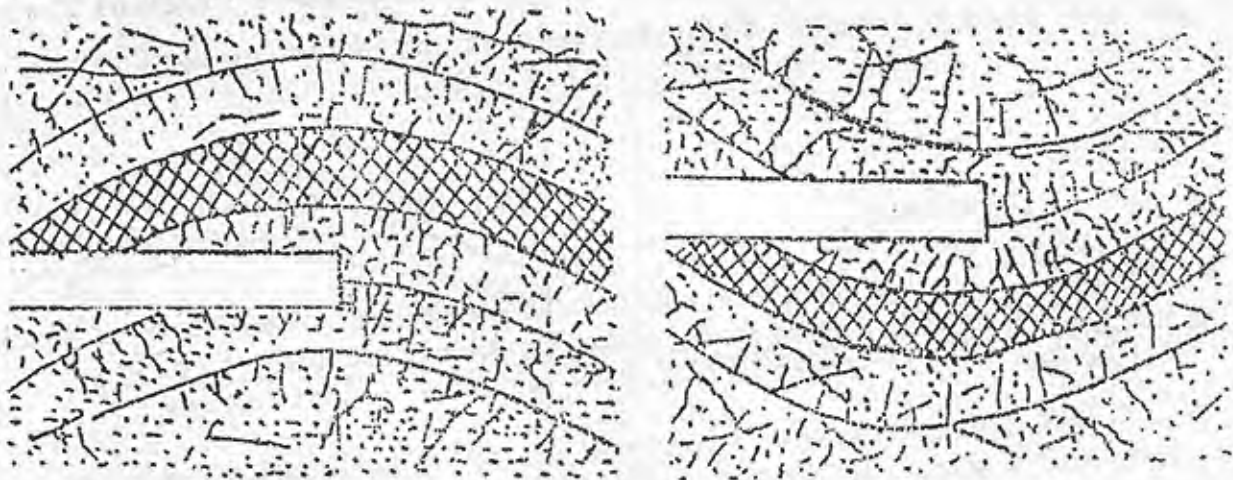
Tünelin açıldığı kot geçirimsiz olsa bile üst kotlarda akifer özelliğinde bir birim varsa bu birim faylar aracılığıyla suyunu tünele ulaştıracaktır. Ayrıca

da faylanmalar neticesinde geçirimli, geçirimsiz birimler tünel güzergahında aynı kotta olabilirler. Birçok fay hattı yeraltısuyu dolaşımı için iyi bir sınır teşkil eder. Fay zonlarının geçirgenliğini tahmin etmek zor olup, zon boyunca gelişen kohezyonlu malzemeler nedeni ile geçirimlilik değişimler gösterir.

Kıvrımların da yeraltısuyunu tünel içine önemli ölçüde taşıyabilme özelliği vardır.

Antiklinalde açılan bir tünel güzergahında az permeabilitesi olan kayaçlar yüksek permeabiliteli kayaçların üzerinde ise yeraltısuyu problemi olmayacaktır. Bunun tersi bir istiflenme olursa antiklinalin kanatlarında yeraltısuyu problemi ile karşılaşılacaktır.

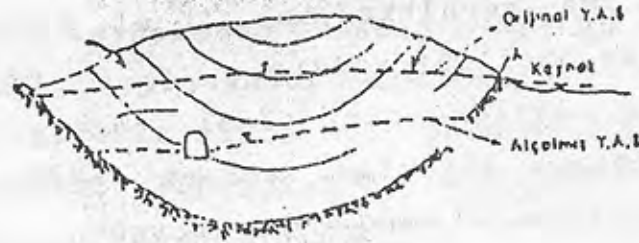
Senklinalde açılan bir tünel güzergahında düşük permeabiliteli kayaçlar yüksek permeabiliteli kayaçlarla örtülüyorsa senklinal ekseninde yeraltısuyu ile karşılaşılacaktır. Tam tersi bir istiflenme olursa senklinal kanatlarında yeraltısuyu dolaşımı olacaktır(Şekil 3).



Şekil 3- Antiklinal ve Senklinalde yeraltısuyu dolaşımı.

Ayrıca yeraltısı seviyesinin altında açılan bir tünelde yeraltı kazı boşluğuna gelecek olan su, hesapların çok üzerinde olacakve su seviyesi tünel

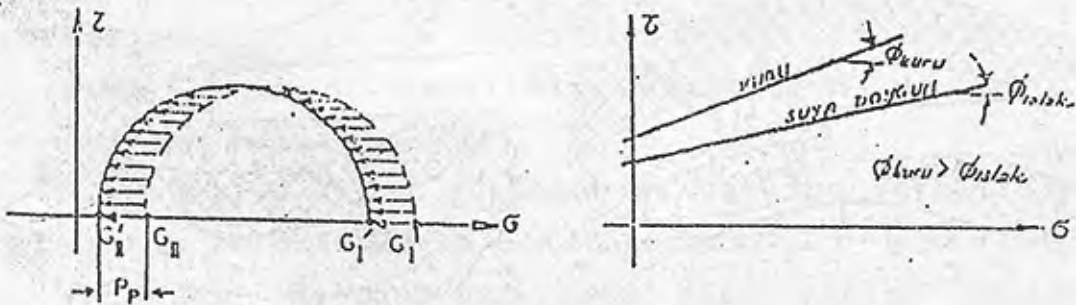
kotuna düşene kadar devam edecektir. Tünel çevresindeki boşalımların sirkülasyonu da önemlidir. Çünkü tünel kazısı sadece yeraltı su rejimini değil aynı zamanda yöredeki yeryüzü sularının(kaynakların) akımını da etkiler. Tünel civarında bulunan kaynakların tünel açıldıktan sonra kurudukları çok defa gözlenmiştir(Şekil 4).



Şekil 4- Yeraltı su düzeyinin tünel açımı ile değişmesi.

3. TÜNEL İNŞAASINDA YERALTISUYUNUN STABİLİTEYE ETKİSİ

Tünel kotundaki yeraltı suyu varlığı kaya bünyesinde boşluksuyu basıncı oluşturur ve stabilite problemleri doğurur. Boşluksuyu basıncında yeraltı kaya yapısının dayanımı düşer, önemli deformasyonlar meydana gelir(Şekil 5).



Boşluk suyu basıncı (P_p) etkisiyle gerilme durumu olumsuz yönde bozulur. σ_1 σ_1' ne; σ_{II} , σ_{II}' ne kayar. Böylece çember kırılma koşuluna yaklaşır.

Killi, marnlı ve yarı zemin niteliğindeki kayalarda su etkisi ile dayanımın azaldığı gözlenir. Özellikle içsel sürtünme açısı büyük ölçüde düşer.

Şekil 5- Boşluk suyu basıncı ve çatlak suyu basıncı etkileri.

Mağmatik kayalarda ayrışmanın meydana geldiği kırık zonlarda feldspat ve ferromanganez mineralleri killere dönüşürler. Çatlaklarda dolaşan yeraltısuyu ile temas ettiklerinde önemli stabilite sorunu meydana getirirler.

Marn ve şeyl gibi geçirgenlikleri düşük kayalar kumtaşı, kireçtaşı gibi tabakaları içerebilirler. Tünel kazısı sırasında geçirimli tabakalardaki su akımı kil içeriği fazla olan marn ve şeylde deformasyonlar meydana getirecektir.

Şistlerle kontak durumundaki mermerlerde su hareketleri şistlerin duraylılığını önemli şekilde etkileyecektir. Ayrıca şistoziteye bağlı damlamalar şeklinde gelişen su akımları da aşırı sökülmelere sebebiyet verir.

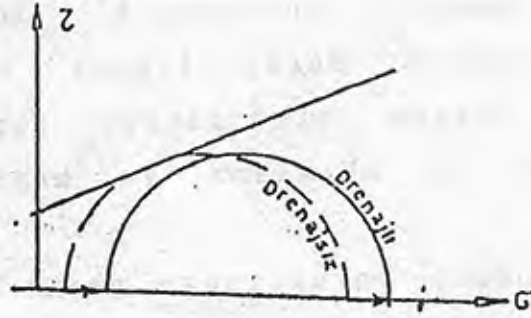
Fay natlarındaki yeraltısuyu akımı fay zonlarında gelişen ezik milonitik malzemeyi tünel boşluğuna hareket ettirerek, göçüğe sebebiyet verecektir.

Jips ve evaporitli kaya zonlarında yeraltısuyu hareketleri, tünellerde anhidritin jip'e dönüşmesiyle hacim artışına ve kil minerallerinin şişmesine neden olurlar ki buna Taban Kabarması denir. Önemli stabilite problemlerini ortaya çıkarırlar. Kil minerallerinin su emerek hacminin artması, suyun kil tanecikleri arasında toplandığı ve adına şişme dediğimiz fiziksel bir işlemdir.

Kil oranının yüksek olduğu kayalarda açılan tünellerde YAS hareketi olmasa bile, eğer ortam rutubetli ise birim havadaki nemi alarak şişer ve stabiliteyi bozar. Bunun tersi de olabilir. Birim suya doygun ve açıldığı ortam kuru ise bünyesindeki suyu dışarı atar, kuruyarak hacmi küçülür ve stabilitesi bozulur. İnce çatlaklı kompakt bir kaya için, yeraltısuyu hareketinin oluşturacağı basınç sonucu

meydana gelen deformasyon önemsiz olmasına karşın çok çatlaklı bir kaya için yeraltısuyu hareketinden doğan basınca bağlı gelişen deformasyonlar önemli olup, kaya yenilmelerine sebebiyet verir.

Stabilitenin arttırılması: Yeraltı kaya yapısının stabilitesini arttırmak için drenaj yapmak gerekir. Kaya yapısında yeterli drenaj sağlanarak gerilme farkı değişmeksizin gerilme durumu olumlu şekilde değiştirilir (Boşluk suyu basıncı ortadan kaldırılır) (Şekil 6).

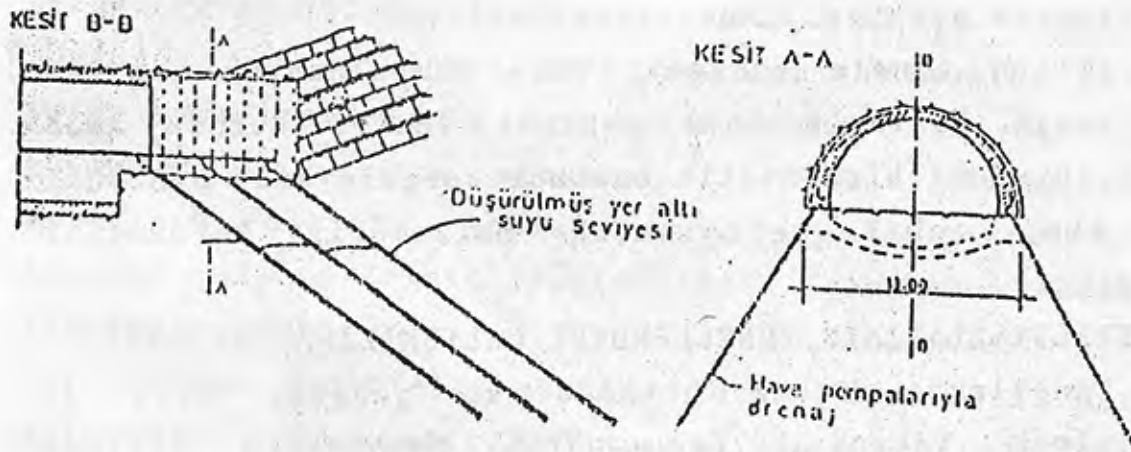
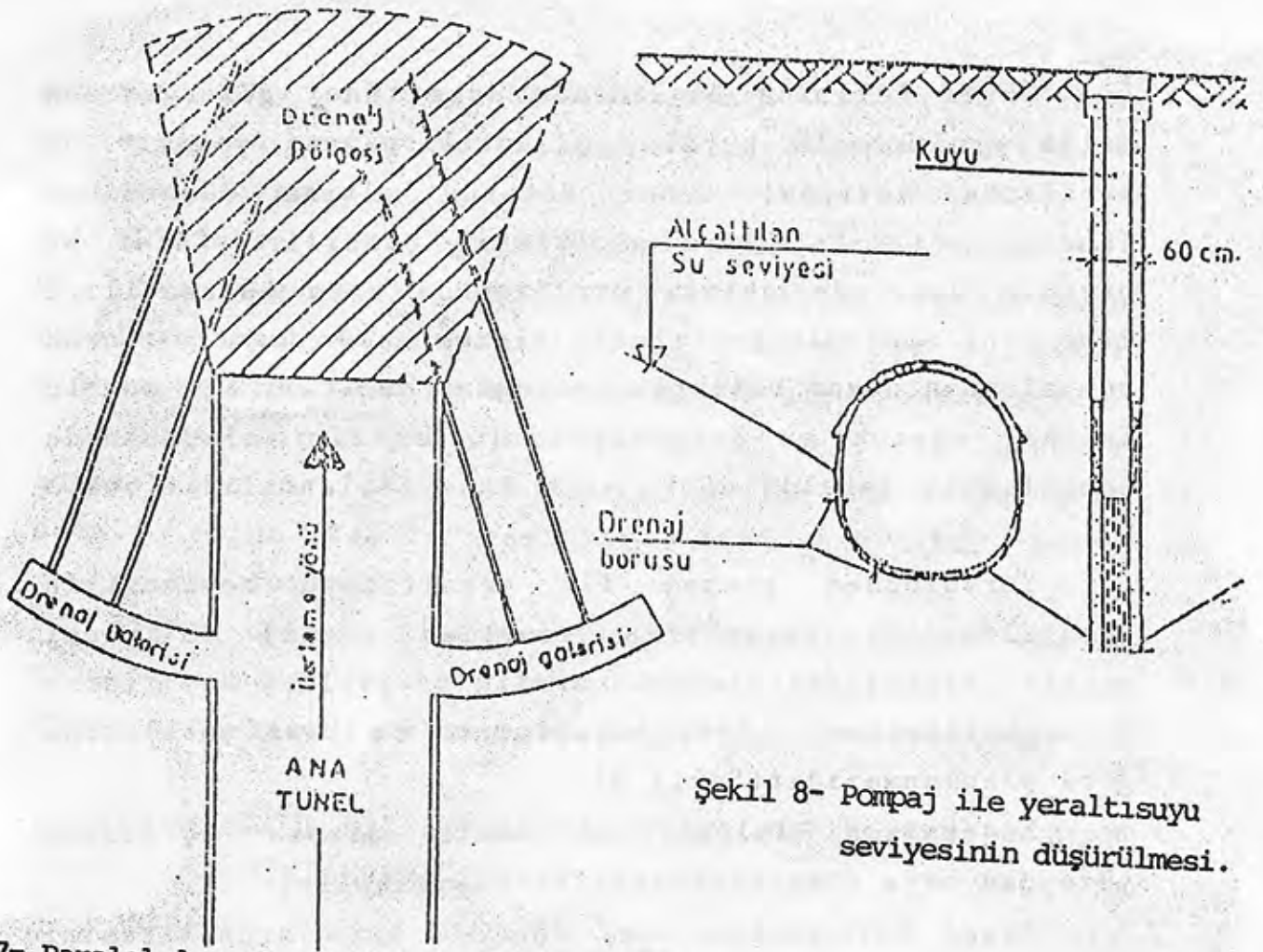


Şekil 6- Kaya yapısında yeterli drenaj sağlanarak gerilme farkı değişmeksizin gerilme durumu olumlu şekilde değiştirilir. (Boşluk suyu basıncı ortadan kaldırılır).

Tünel açımında yeraltısuyu etkisini azaltmak veya ortadan kaldırmak için diğer bir metod da enjeksiyon işlemidir.

Tünelcilik alanında elde edilmiş tecrübeler göstermiştir ki tünel stabilitesini arttırmak için enjeksiyon yapmak ile drenaj yapmak arasında bir fark yoktur. Her iki yöntemde de su basıncını yok etmek amaçlanmaktadır. Bu iki yöntem tek başlarına uygulanabildikleri gibi birlikte de tatbik edilebilirler.

Drenajlar, özellikle kayanın basınç altında suya doygun ve düşük mukavemette olduğu aşırı eklemlili, ince çatlaklı ve çatlak araları çok zayıf dolgulu olduğu hallerde daha etkin olmaktadır (Şekil 7).



Tünel kazısına başlamadan önce tünel güzergahında belli aralıklarla kuyular açılarak pompaj yapılır ve yeraltısu seviyesi tünel kotunun altına düşürülür. Tünelin açıldığı birim geçirimsiz olabilir. Fakat bu birimin üzerinde akifer özelliğinde kaya bulunabilir. Yine aynı sistemle geçirimsiz birime kadar kuyu açılarak pompalamaya devam edilerek çatlaklar vasıtası ile tünele intikal edecek su önlenmiş olur. Bu tip çalışmalarda pompalamaya genelde dört hafta önce başlanmalıdır(Şekil 8).

Yeryüzünden pompaj ile yeraltısuyu seviyesinin düşürülemediği durumlarda tünelden drenaj delikleri açılır. Drenaj deliklerinin aralık ve yerleri kayaçların permeabilitesine, tünel boyutlarına ve kazı şartlarına göre planlanmalıdır(Şekil 9).

Enjeksiyon işlemi de amaca ulaşma açısından yüzeyden veya tünel içerisinden yapılabilir.

Diğer bir yöntem ise, tünelde kaya stabilitesini kötü yönde etkileyen ve kazıyı zorlaştıran yeraltısuyunun dondurulmasıdır. Bu yöntem ile yeraltısuyu durdurulabilmekte ve kendisini tutan kaya ortamı elde edilebilmektedir(Tuzlu su kullanarak dondurma ve azot kullanarak dondurma).

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

4. YERALTISULARININ TÜNELLERDEKİ ÇALIŞMALARA ETKİLERİ

Tünellerde susuz ortamda ve genelde kuru da çalışılmak istenir. Fakat YAS tablasının altında çalışıldığında yeraltısuyunun etkileri kaçınılmazdır. Tünellerde çıkan suyun deşarj edilerek dışarıya atılması gerekir. Aksi takdirde tünellerin içini su basar ve

stabilite problemleri meydana getirip, çalışmaların durmasına sebebiyet vermiştir. Bu kesimde segment uygulaması yapılarak ilerlenmiş olup, maliyeti önemli ölçüde arttırmıştır.

Kınık tüneline yeraltısuyu hareketlerinden meydana gelen stabilite problemleri şöyledir:

1- Km 0+537 - 0+851 tünel bu bölgede kil+tüf ve yer yer bunlarla ardalanmalı olarak sileksit tabakaları içinde ilerlenilmiştir. Sileksit ile kil dokanaklarında sızıntıyla birkaç litreye varan su temasıyla akıcı hale gelen kilin duraysızlığı nedeniyle aşırı derecede boşalmalar ve göçükler oluşmuştur. Bu bölgede en büyük sorun kilin su ile temasta şişmesi ve akıcı hale gelmesidir.

2- Km 2+080 tünel tüf ve aglomera biriminde ilerlemeye devam edilmiştir. Aglomeralardaki faylanma ve buna bağlı çatlaklı yapı iletkenliği artırarak 400 lt/s varan su boşalımı gerçekleşmiştir. Kayada stabilite açısından bir problem olmamıştır. Tünel tabanında 70 - 100 cm yükselen su sebebiyle çalışma zorluğu meydana gelmiştir.

3- Km 5+260 - 5+340: Tünel killi marn içerisinde senklinalde ilerlerken faylanma ile bol su taşıyan sileksit - silisifiye kireçtaşları ile karşılaşılınca 14 atü'lük basınçlı 60 lt/s lik su boşalımı olmuş; göçük meydana gelmiştir. 5+340 da kesilen fayı geçmek için by-pass yapılmıştır.

4- Km 7+833: Tünel kahverengi kille, siltli killi birimde ilerlerken 20 lt/s lik ani bir boşalımla faylanma neticesinde sileksit ve marnlı kireçtaşından oluşan birime girmiştir. 1500 m³ lük bir göçük olmuştur. Tünel güzergahı 50 m sola alınmış ve 2.5 yıl işin gecikmesine sebebiyet vermiştir.

5- Km 7+784: Paleosene ait şişen kilden Miyosene

ait faylı dokanakla tüfe girilmiştir. Yarı geçirgen tüfden sonra da parçalı ve çatlaklı sileksitlere geçilecektir. Silekset kantağına yaklaşıldığında 17 atmosferlik basınçlı ve 186 lt/s debili su nedeniyle tüf ve marndan oluşan toplam 5 m kalınlığındaki tabakalar kırılmış ve göçük meydana gelmiştir.

Ayaş tüneline Erkeksu ağzında 0+769 km'de trakiandezitlerin faylanmaya bağılı altere olduğı, tünel giriş aynasında yeraltısuyuna bağılı olarak stabilite sorunları meydana gelmiştir.

Aslantaş barajı T₁ tüneli 0+664 - 0+693 km arasında meydana gelen göçük. Tünelin ilerlediğı birim Fliştir. Fliş çamurtaşı, kil ve kumtaşı istifinden meydana gelmektedir. Kumtaşı bantları istifin %20 si oranındadır. Tünel eksenini kesen fay nedeni ile kumtaşı içindeki yeraltısuyu tünel kotuna kazı yüzeyine çıkarak çamurtaşı ve kiltasının dayanımını düşürerek göçüğe sebebiyet vermiştir.

Köklüce Kuvvet Tüneli: 4+716 km'de su gelmeye başlaması üzerine aynaya duvar örülmüş ve yatay sondajlar yapılmıştır. Bu sondajların açılımı sırasında büyük bir su patlaması olmuş ve tijleri mızrak gibi 50 m ileriye fırlatarak büyük bir tehlike yaratmıştır. Suyun basınçlı 16 atü, debisi ise 87 lt/s olarak ölçülmüştür. Yapılan araştırma sonucunda kiltası-kumtaşı birimi içinde su taşıyan büyük bir kireçtaşı merceğinin bulunduğı ve suyun bu birim içinden geldiğı anlaşılmıştır.

6. YARARLANILAN KAYNAKLAR

AYDIN A.(1986) Kınık tüneline çıkan problemler ve bunların çözümü. Tünellerin projelendirilmesi ve inşaatı semineri, sayfa: 29-1

GENÇ D.(1985) Tünel açımı esnasında karşılaşılan jeolojik sorunlar. Tünelcilik ve jeoloji mühendislik odası yayını, no 20, sayfa 29-42.

ÖNALP A.(1982) Geoteknik Bilgisi. KTÜ yayını.

VARDAR M.(1981) Dicle-Kavşana baraj yerinde evaporitlerin erime ve kabarma davranışları. Doçentlik tezi, İTÜ yayını.

ŞEKERCİOĞLU E.(1991) Tünellerde zemin iyileştirmeleri. Mühendislik Jeolojisi Bülteni, sayı 12, sayfa 17-22.

PANPAL S.(1986) Tünellerde karşılaşılan jeoteknik problemler.Kınık tüneli. Tünellerin projelendirilmesi ve inşaatı semineri, sayfa 5-1.

ÖZENCİ R.(1986) Tünellerde kazıdan evvel yapılan kaya ıslah çalışmalarının İtalyadaki örnekleri. Tünellerin projelendirilmesi ve inşaatı semineri, sayfa 17-20.

MÜHENDİSLİK JEOLJİSİ TÜRK MİLLİ KOMİTESİ ÜYELERİ

AKIN, Nuran	DOYURAN, Vedat Prof. Dr.	ÖZKER, Ertan
AKMAN, M. Kemal	DURGUNOĞLU, Turan Prof. Dr.	ÖZSAN, H. Aydın Y. Doç. Dr.
AKYOL, Erdal	EĞİN, Dinçer Dr.	ÖZTÜRK, Kurultay Prof. Dr.
AKTAN, Edip	ERCAN, Ahmet Prof. Dr.	SAÇLITÜRE, A. Koray
ALGAN, Melih	ERDOĞAN, Eray Dr.	SAFA, M. Turgut
ALTUĞ, Saydun	ERDOĞAN, Mustafa Doç. Dr.	SAĞLAMER, Ahmet Prof. Dr.
ANIK, Ferruh	ERİŞ, İsmail	SARISU, Ali
ARAL, Feda Y. Doç. Dr.	EROSKAY, S. Okay, Prof. Dr.	SESÖREN, Atilla Doç. Dr.
AREL, Ersin	ERTUNÇ, Aziz Prof. Dr.	SOMEL, A. Namık
ARIOĞLU, Ergin Prof. Dr.	GENÇ, Deniz	SONKAYA, Muammer
AŞÇIOĞLU, Erman	GÖKTEN, Y. Ergun Doç. Dr.	SUNAR, Seyhan
ATAOĞLU, Erhan	GÖZÜBOL, A. Malik Y. Doç. Dr.	SÜMERHAN, Kaler
AYAN, H. Tamer	GÜL, Adnan	ŞAMİLGİL, Erman Prof. Dr.
AYDAY, Can Y. Doç. Dr.	GÜLÜN, Hasan	ŞEKERCİOĞLU, Erdal Dr.
BASAĞAN, M. Tanju	GÜNAY, Gültekin Prof. Dr.	ŞENYUVA, Tahsin Dr.
BASTEKİN, M. Tanju	GÜRPINAR, Okay Prof. Dr.	ŞİMŞEK, Orhan
BASTEKİN, A. Hamdi	GÜRSEL, Fatma	ŞİMŞEK, Şakir Doç. Dr.
BARGU, Simav Doç. Dr.	GÜVEN, M. Müfit	TARCAN, Gültekin
BAYKAL, Hasan Dr.	GÜZEL, Ahmet Y. Doç. Dr.	TARHAN, Fikret Prof. Dr.
BOYNUKALIN, Suat Y. Doç. Dr.	KALE, Saim	TAŞLICA, A. Hamdi
BULUT, Fikri Y. Doç. Dr.	KARACAN, Ergun Y. Doç. Dr.	TOĞROL, Ergün Prof. Dr.
BULUTLAR, Erdal	KARAHANOĞLU, Nurhan Doç. Dr.	TOPAL, Tamer
BUZLU, H. Baki	KARAOĞULLARINDAN, Talip	TOSUN, Hasan
BÜYÜK, Mehmet Dr.	KASAPOĞLU, Erçin Prof. Dr.	TÜRK, Necdet Doç. Dr.
BÜYÜKKÖSE, Nevzat	KETİN, İhsan Prof. Dr.	TÜRKEL, Erçin
CAĞLAR, İlyas Y. Doç. Dr.	KILIÇ, Recep Y. Doç. Dr.	TÜYSÜZ, Okan Y. Doç. Dr.
ÇORUK, Özkan Dr.	KILINÇ, Mehmet Dr.	UĞURLU, Atiye
ÇAYNAK, Selvin	KOCA, M. Yalçın	ULUSAY, Reşat Dr.
ÇETİNÇELİK, A. Mesut	KODAMANOĞLU, Tuncer Prof.	UYSAL, Bayram
ÇETİNER, Levent	KOŞAR, Ercan	ÜNSAL, Muammer
ÇOĞALAN, Hasan Hüseyin	KÖKEN, Tanju	ÜSTÜN, Olgun
ÇONCAR, Behiç	KÖSEOĞLU, Mesut Doç. Dr.	VARDAR, Mahir Prof. Dr.
DADAŞBİLGE, Kırhan	KUMBASAR, Vahit Prof.	YALÇIN, Tolga
DALGIÇ, Süleyman	MUT, Taner	YILDIRIM, Mustafa Y. Doç. Dr.
DEMİREL, Zeynel A. Dr.	MUTLUTÜRK, Mahmut Y. Doç. Dr.	YILMAZER, İlyas Dr.
DEMİRKOL, Cavit Prof. Dr.	ÖNALP, Akın Prof. Dr.	YÜZER, Erdoğan Prof. Dr.
DIĞIŞ, Aytaç	ÖZGÜZEL, Nuri	ZARİF, İ. Halil
DİLEK, Remzi Prof. Dr.	ÖZİŞ, Ünal Prof. Dr.	

KURUMSAL ÜYELER

- ◆ AFET İŞLERİ GENEL MÜDÜRLÜĞÜ
LODumlu - ANKARA
- ◆ ANKARA ÜNİVERSİTESİ
FEN FAKÜLTESİ - ANKARA
- ◆ BOTEK A.Ş.
MASLAK İŞ MERKEZİ - İSTANBUL
- ◆ CUMHURİYET ÜNİVERSİTESİ MÜHENDİSLİK
FAKÜLTESİ - SİVAS
- ◆ ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ MÜH. MİM. FAKÜLTESİ
BALCALI - ADANA
- ◆ DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ MÜHENDİSLİK - MİMARLIK
FAKÜLTESİ BORNOVA - İZMİR
- ◆ DSİ GENEL MÜDÜRLÜĞÜ
YÜCETEPE - ANKARA
- ◆ Eİİ GENEL MÜDÜRLÜĞÜ
ESKİŞEHİR YOLU 7. km - ANKARA
- ◆ ESAN A.Ş.
KARTAL - İSTANBUL
- ◆ EVRE MÜHENDİSLİK
KOŞUYOLU - İSTANBUL
- ◆ HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ
BEYTEPE - ANKARA
- ◆ İLLER BANKASI GENEL MÜDÜRLÜĞÜ
ULUS - ANKARA
- ◆ İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
AYAZAĞA - İSTANBUL
- ◆ İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ
AVCILAR - İSTANBUL
- ◆ KARAYOLLARI GENEL MÜDÜRLÜĞÜ
YÜCETEPE - ANKARA
- ◆ KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ MÜHENDİSLİK - MİMARLIK FAKÜLTESİ
TRABZON
- ◆ JEOLojİ MÜHENDİSLERİ ODASI
KIZILAY - ANKARA
- ◆ MTA GENEL MÜDÜRLÜĞÜ
ANKARA
- ◆ TEMEL ARAŞTIRMA A.Ş. STFA GURUBU
ALTUNİZADE - İSTANBUL