



MÜHENDİSLİK JEOLJİSİ

TÜRK MİLLİ KOMİTESİ

BÜLTENİ

1313
SAYI
MAYIS
1992
YIL

İÇİNDEKİLER

- ♦ MÜHENDİSLİK JEOLJİSİ TÜRKİYE 1992
- ♦ KAYA KÜTLESİ SINIFLAMALARININ KARŞILAŞTIRILMASI ÜZERİNE ATATÜRK BARAJINDAN BİR ÖRNEK
AN EXAMPLE FROM THE ATATÜRK DAM FOR THE CORRELATION OF ROCK MASS CLASSIFICATION
- ♦ AKİFERLERDE BARAJLAMA YÖNTEMİ İLE REZERVUAR OLUŞTURULMASI VE TÜRKİYE'DE UYGULANABİLİRLİĞİ
DUE TO RECHARGE IN AQUIFERS BY GROUND WATER DAMS AND ITS APPLICATION IN TURKIYE
- ♦ KUYULARDA YERALTISUYUNUN FİLTREYE GİRİŞ HIZI
ENTRANCE VELOCITY INTO WELL SCREEN
- ♦ KAYA MEKANİĞİ PROBLEMLERİNİN ÇÖZÜMÜNDE MODEL MALZEMESİ TASARIMI VE ÜRETİLMESİ
DESIGN AND REPRODUCTION OF MODEL MATERIAL FOR THE SOLUTION OF ROCK MECHANICS PROBLEMS
- ♦ ALKALİ KARBONAT REAKSİYONUNUN GELİŞİM MEKANİZMASI VE NEDENLERİ
MECHANISM AND REASONS OF ALKALI CARBONATE REACTION
- ♦ KUMTAŞLARINDA "POROZİTE-YOĞUNLUK-BASINÇ ÇEKME DAYANIMLARI" ARASINDA ÇIKARILAN İSTATİSTİKSEL BAĞINTILAR
FOR SANDSTONES DETERMINATION OF STATISTICAL RELATIONSHIP BETWEEN STRENGTH (COMPRESSIVE-TENSILE) AND POROSITY-DENSITY
- ♦ YERALTISUYU BESLENME HAVZA SINIRININ DOĞRU BELİRLENMESİNİN HİDROJEOLJİK VE JEOTEKNİK ARAŞTIRMALARDAKİ YERİ
PROPER CONTRUCTION OF GROUNDWATER RECHARGE AREA BOUNDARY AND ITS IMPORTANCE IN HYDROGEOLOGICAL AND GEOTECHNICAL INVESTIGATIONS
- ♦ HAYMANA (ANKARA) DOĞUSUNDAKİ KİREÇTAŞLARININ MÜHENDİSLİK VE TEKNOLOJİK ÖZELLİKLERİ
ENGINEERING AND TECHNOLOGICAL PROPERTIES OF THE LIMESTONES EXPOSING IN THE EAST OF HAYMANA (ANKARA)
- ♦ KAYAÇLARIN KRİP ÖZELLİKLERİ VE BEYPAZARI TRONASININ KRİP DAVRANIŞININ ARAŞTIRILMASI
THE INVESTIGATION OF THE TIME DEPENDENT BEHAVIOUR OF BEYPAZARI TRONA DEPOSIT
- ♦ AKDEĞİRMEN (AFYON) BARAJ YERİ VE TÜNEL GÜZERGAHINDAKİ KAYAÇLARIN JEOTEKNİK ÖZELLİKLERİ
GEOTECHNICAL PROPERTIES OF AKDEĞİRMEN DAMSITE AND TUNNEL LINE ROCKS
- ♦ PENMAN YÖNTEMİ KULLANILARAK POTANSİYEL BUHARLAŞMANIN HESAPLANMASI İÇİN BİLGİSAYAR PROGRAMI
A COMPUTER PROGRAM FOR CALCULATION OF POTENTIAL EVAPOTRANSPIRATION BY USING PENMAN'S METHOD

E. YÜZER

O. GÜRPINAR

A. UĞURLU

İ. GÜRER

H. KAHYAOĞLU

O. DUMLU

Y. MAHMUTOĞLU

M. VARDAR

M. ERDOĞAN

E. ARIOĞLU

N. TOKSÖZ

İ. YILMAZER

R. KILIÇ

E. YEŞİLYURT

H. BAYRAKTAR

M. VARDAR

F. ARAL

H. T. YALÇIN

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. A. Mesut ÇETİNÇELİK (DSİ - TED BAŞK. YARD. - ANKARA)

YAYIN DANIŞMA KURULU

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

YAZIŞMA ADRESİ

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

Prof. Dr. Okay Eroskay
İst. Üniv. Mühendislik Fak.
Uygulamalı Jeoloji Anabilim Dalı
Avcılar Kampüsü 34840 AVCILAR - İSTANBUL

Basıldığı Yer

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



MÜHENDİSLİK JEOLJİSİ

TÜRK MİLLİ KOMİTESİ

BÜLTENİ

13
MAYIS
1992
VIL

İÇİNDEKİLER

- ♦ MÜHENDİSLİK JEOLJİSİ TÜRKİYE 1992 E. YÜZER
- ♦ KAYA KÜTLESİ SINIFLAMALARININ KARŞILAŞTIRILMASI ÜZERİNE ATATÜRK BARAJINDAN BİR ÖRNEK O. GÜRPINAR
AN EXAMPLE FROM THE ATATURK DAM FOR THE
CORRELATION OF ROCK MASS CLASSIFICATION A. UĞURLU
- ♦ AKİFERLERDE BARAJLAMA YÖNTEMİ İLE REZERVUAR OLUŞTURULMASI VE TÜRKİYE'DE UYGULANABİLİRLİĞİ İ. GÜRER
DUE TO RECHARGE IN AQUIFERS BY GROUND
WATER DAMS AND ITS APPLICATION IN TURKIYE H. KAHYAOĞLU
- ♦ KUYULARDA YERALTISUYUNUN FİLTREYE GİRİŞ HIZI O. DURLU
ENTRANCE VELOCITY INTO WELL SCREEN
- ♦ KAYA MEKANİĞİ PROBLEMLERİNİN ÇÖZÜMÜNDE MODEL MALZEMESİ TASARIMI VE ÜRETİLMESİ Y. MAHMUTOĞLU
DESIGN AND REPRODUCTION OF MODEL MATERIAL FOR THE
SOLUTION OF ROCK MECHANICS PROBLEMS M. VARDAR
- ♦ ALKALİ KARBONAT REAKSİYONUNUN GELİŞİM MEKANİZMASI VE NEDENLERİ M. ERDOĞAN
MECHANISM AND REASONS OF ALKALI CARBONATE REACTION
- ♦ KUMTAŞLARINDA "POROZİTE-YOĞUNLUK-BASINÇ ÇEKME DAYANIMLARI" ARASINDA ÇIKARILAN İSTATİSTİKSEL BAĞINTILAR E. ARIOĞLU
FOR SANDSTONES DETERMINATION OF STATISTICAL RELATIONSHIP
BETWEEN STRENGTH (COMPRESSIVE-TENSILE) AND
POROSITY-DENSITY N. TOKSÖZ
- ♦ YERALTISUYU BESLENME HAVZA SINIRININ DOĞRU BELİRLENMESİNİN HİDROJEOLJİK VE JEOTEKNİK ARAŞTIRMALARDAKİ YERİ İ. YILMAZER
PROPER CONTRUCTION OF GROUNDWATER RECHARGE AREA
BOUNDARY AND ITS IMPORTANCE IN HYDROGEOLOGICAL AND
GEOTECHNICAL INVESTIGATIONS
- ♦ HAYMANA (ANKARA) DOĞUSUNDAKİ KİREÇTAŞLARININ MÜHENDİSLİK VE TEKNOLOJİK ÖZELLİKLERİ R. KILIÇ
ENGINEERING AND TECHNOLOGICAL PROPERTIES OF THE
LIMESTONES EXPOSING IN THE EAST OF HAYMANA (ANKARA) E. YEŞİLYURT
- ♦ KAYAÇLARIN KRİP ÖZELLİKLERİ VE BEYPAZARI TRONASININ KRİP DAVRANIŞININ ARAŞTIRILMASI H. BAYRAKTAR
THE INVESTIGATION OF THE TIME DEPENDENT BEHAVIOUR
OF BEYPAZARI TRONA DEPOSIT M. VARDAR
- ♦ AKDEĞİRMEN (AFYON) BARAJ YERİ VE TÜNEL GÜZERGAHINDAKİ KAYAÇLARIN JEOTEKNİK ÖZELLİKLERİ F. ARAL
GEOTECHNICAL PROPERTIES OF AKDEGİRMEN DAMSITE AND
TUNNEL LINE ROCKS
- ♦ PENMAN YÖNTEMİ KULLANILARAK POTANSİYEL BUHARLAŞMANIN HESAPLANMASI İÇİN BİLGİSAYAR PROGRAMI H. T. YALÇIN
A COMPUTER PROGRAM FOR CALCULATION OF POTENTIAL
EVAPOTRANSPIRATION BY USING PENMAN'S METHOD

MÜHENDİSLİK JEOLJİSİ TÜRK MİLLİ KOMİTESİ BÜLTENİ

İÇİNDEKİLER

MÜHENDİSLİK JEOLJİSİ TÜRKİYE 1992

E. YÜZER

KAYA KÜTLESİ SINIFLAMALARININ KARŞILAŞTIRILMASI
ÜZERİNE ATATÜRK BARAJINDAN BİR ÖRNEK
AN EXAMPLE FROM THE ATATÜRK DAM FOR THE
CORRELATION OF ROCK MASS CLASSIFICATION

O. GÜRPINAR
A. UĞURLU

AKİFERLERDE BARAJLAMA YÖNTEMİ İLE REZERVUAR
OLUŞTURULMASI VE TÜRKİYE'DE UYGULANABİLİRLİĞİ
DUE TO RECHARGE IN AQUIFERS BY GROUND
WATER DAMS AND ITS APPLICATION IN TURKİYE

İ. GÜRER
H. KAHYAOĞLU

KUYULARDA YERALTISUYUNUN
FİLTREYE GİRİŞ HIZI
ENTRANCE VELOCITY INTO WELL SCREEN

O. DURLU

KAYA MEKANİĞİ PROBLEMLERİNİN ÇÖZÜMÜNDE
MODEL MALZEMESİ TASARIMI VE ÜRETİLMESİ
DESIGN AND REPRODUCTION OF MODEL MATERIAL FOR THE SOLUTION OF
ROCK MECHANICS PROBLEMS

Y. MAHMUTOĞLU
M. VARDAR

ALKALİ KARBONAT REAKSİYONUNUN GELİŞİM MEKANİZMASI
VE NEDENLERİ
MECHANISM AND REASONS OF ALKALI CARBONATE
REACTIN

M. ERDOĞAN

KUMTAŞLARINDA "POROZİTE-YOĞUNLUK-BASINÇ ÇEKME
DAYANIMLARI" ARASINDA ÇIKARILAN İSTATİSTİKSEL BAĞINTILAR
FOR SANDSTONES DETERMINATION OF STATISTICAL
RELATIONSHIP BETWEEN STRENGTH (COMPRESSIVE-TENSILE)
AND POROSITY-DENSITY

E. ARIÖĞLÜ
N. TOKSÖZ

YERALTISUYU BESLENME HAVZA SINIRININ DOĞRU
BELİRLENMESİNİN HİDROJEOLOJİK VE JEOTEKNİK ARAŞTIRMALARDAKİ
YERİ
PROPER CONTRUCTION OF GROUNDWATER RECHARGE AREA BOUNDARY
AND ITS IMPORTANCE IN HYDROGEOLOGICAL AND GEOTECHNICAL
INVESTIGATIONS

İ. YILMAZER

HAYMANA (ANKARA) DOĞUSUNDAKİ KIREÇTAŞLARININ MÜHENDİSLİK
VE TEKNOLOJİK ÖZELLİKLERİ
ENGINEERING AND TECHNOLOGICAL PROPERTIES OF THE
LIMESTONES EXPOSING IN THE EAST OF HAYMANA (ANKARA)

R. KILIÇ
E. YEŞİLYURT

KAYAÇLARIN KRİP ÖZELLİKLERİ VE BEYPAZARI TRONASININ
KRİP DAVRANIŞININ ARAŞTIRILMASI
THE INVESTIGATION OF THE TIME DEPENDENT BEHAVIOUR
OF BEYPAZARI 'TRONA DEPOSIT'

H. BAYRAKTAR
M. VARDAR

AKDEĞİRMEN (AFYON) BARAJ YERİ VE TUNEL GÜZERGAHINDAKİ
KAYAÇLARIN JEOTEKNİK ÖZELLİKLERİ
GEOTECHNICAL PROPERTIES OF AKDEĞİRMEN DAMSITE AND
TUNNEL LINE ROCKS

F. ARAL

PENMAN YÖNTEMİ KULLANILARAK POTANSİYEL BUHARLAŞMANIN
HESAPLANMASI İÇİN BİLGİSAYAR PROGRAMI
A COMPUTER PROGRAM FOR CALCULATION OF POTENTIAL
EVAPOTRANSPIRATION BY USING PENMAN'S METHOD

H. T. YALÇIN

Olumlu bir işe başlamaktan çok devam ettirmenin önemli olduğunu, bu nedenle altından kalkılabilecek ve sürekliliği korunabilecek işlere girişmemizi Sevgili Hocamız Prof. Dr. K. ERGUVANLI biz yakınındakilere sık sık öğütlerdi. Kendi uygulamalarında da bu gerçeği daima gözönünde tutmaya gayret ederdi.

Nitekim, Mühendislik Jeolojisi Türk Milli Komitesi Tarafından bir bülten çıkarılması düşünüldüğünde, bunun yılda 2, 3 hatta 4 sayı çıkarılmasını savunanlara hocamız "...hele yılda bir sayı çıkaralım, ama kalitesini ve sürekliliğini koruyalım, ondan sonra düşünüyoruz!" demişti.

Geçen 12 sene içinde her sayıyı çıkarmak, bir önceki seneye göre başta ekonomik nedenler olmak üzere, daha güç olunca hepimiz hocamıza hak verir olmuştuk. Ama ne sayıdan, ne kaliteden ödün vermeden de bugünlere gelebildik! Ancak bugünkü durumda, elimizdeki 13. sayıyı ya hiç çıkaramayacak, ya da kaliteden özveride bulunacak yol ayırımına ulaştık...! Kuşkusuz neden, parasal...!

Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dekanlığının anlamlı destekleri ile 13. sayıyı, ofset tekniğinde basılmış olarak sizlere ulaştırabiliyoruz. Gelecek sayılarda tekrar eski baskı kalitesine ulaşmayı dilerken, Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dekanı, Sayın Prof.Dr. Aziz ERTUNÇ'a yardımları için teşekkürlerimizi sunuyoruz.

İçinde bulunduğumuz yıllarda ülkemizdeki başta GAP ile ilgili olanlar ve otoyollar gibi dünya ölçüsündeki projelerin uygulanmaya geçirilmesi ile, alternatif çözümlerin karar aşamalarında Mühendislik Jeolojisinin ayırdedici yaşamsal öneminin daha iyi anlaşıldığını kıvançla görüyoruz. Bu kıvancımız, anılan projelerin Devlet Su İşleri ve Karayolları, Genel Müdürlükleri gibi, Türkiye Cumhuriyetinin 40 yılını dolduran öz kuruluşlarının da meslektaşlarımız tarafından üretilmiş olması ile daha da artıyor.

IAEG'nin bu yılki konsey toplantısı ve bilimsel kongresi 13-15 ekim 1991 tarihlerinde Tunus-Sfax Üniversitesinde yapılmıştır. Ülkemizi bu toplantıda Yönetim Kurulu Üyemiz Sayın A. Mesut ÇETİNGELİK temsil etmiştir. Kendisine bu toplantılara katılma olanağı sağlayan Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğüne teşekkürlerimizi sunarız.

KAYA KÜTLESİ SINIFLAMALARININ KARŞILAŞTIRILMASI ÜZERİNE ATATÜRK BARAJINDAN BİR ÖRNEK

AN EXAMPLE FROM THE ATATÜRK DAM FOR THE CORRELATION OF ROCK MASS CLASSIFICATION

Okay GÜRPINAR *

Atiye UĞURLU **

ÖZ: Güneydoğu Anadolu Bölgesinin kalkınmasında önemli bir rolü olan Atatürk Barajı projesi kapsamında, sağ ve sol yamaçlarda geçirimsizliği sağlamak amacıyla enjeksiyon perdelerinin enjeksiyon galerileri ile oluşturulması düşünülmüştür.

Bu araştırmanın amacı, Atatürk Barajı sol sahil L1 ve L3A enjeksiyon galerileri güzergahı boyunca kaya kütleleri sınıflama değerlerinin yüzey ve yeraltında değişimlerini saptamak ve bu değerlere dayanarak belirlenen destekleme türlerini karşılaştırarak uygun sınıflama sistemini önermektir.

ABSTRACT: The formation of grout curtain to provide impermeability in the left and right abutments, is thought by grouting galleries, on the contents of the Atatürk Dam project which plays an important role in the development of the Southeast Anatolian Region.

The purpose of the paper, is to determine the variation of rock mass classification values in the surface and underground rock formation along L1 and L3A grouting gallery alignments on the left bank of the Atatürk Dam and based on these values to correlate the supporting designs in the galleries, thus to propose a suitable classification system.

1- GİRİŞ

Fırat havzasında yapımı gerçekleştirilen Atatürk Barajı, Şanlıurfa ilinin Bozova ilçesine yaklaşık 24 kilometre uzaklıkta bulunmaktadır. Doruklar KB - GD gidişli ve birbirlerine paralel olup yapı gidişleri ve litoloji, morfoloji çoğun uyumludur.

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

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

Atatürk Barajı'nın projesi aşamasında, geçirimsizliğin sağlanması için yaklaşık II kilometrelik enjeksiyon perdesi öngörülmüştür. Bu amaçla yamaçlarda enjeksiyon perdelerinin yapımı dört kademedeki enjeksiyon galerileri vasıtasıyla sağlanacaktır.

Oldukça sık süreksizlikler içeren killi kireçtaşlarında açılan LI ve L3A galerilerinde stabilitenin sağlanması için kaya ortamının tanımı ve sınıflaması düşünülmüştür. Bu amaçla galeri güzergahları boyunca yüzeyde ve yeraltında farklı verilere dayanan RSR, RMR ve Q sınıflama sistemleri uygulanmış ve bulunan değerlerin karşılaştırılması yapılarak destekleme türleri saptanmıştır.

2- JEOLÖJİ

Baraj yerindeki en yaşlı birim Üst Kretase yaşlı dolomitik kireçtaşlarından oluşan Karababa formasyonudur. Bunun üzerinde uyumlu olarak yine Üst Kretase yaşlı killi kireçtaşları ile temsil olunan Karaboğaz formasyonu bulunmaktadır. Bu birim Üste doğru, karbonatlı kiltası, kiltası, kumtaşı ve killi kireçtaşı ardalanması ile temsil edilen Üst Kretase yaşlı Germav formasyonuna geçer. Germav formasyonu üzerinde yine uyumlu olarak bulunan Eosen-Miyosen yaşlı Midyat formasyonu ise tebeşirimsi - resifal kireçtaşlarından oluşmaktadır. Pliyosen'e ait karasal, az tutturulmuş çökeller ise yöredeki daha yaşlı birimler üzerinde diskordan olarak bulunmaktadır(Şekil I).

İnceleme alanında önemli bir kıvrım ile Karababa boğazını kateden iki önemli fay olan Bozova ve Çeviktepe fayları ile çoğun bunlara bağımlı olarak gelişmiş ikincil faylar ve eklemler mevcuttur.

Karaboğaz formasyonuna ait killi kireçtaşları, bileşimlerinin yanı sıra tektonizma etkileri altında kazanmış oldukları, değişen yoğunlukta makro veya mikro ölçekteki süreksizliklerden dolayı güzergah boyunca yayılım gösteren bünye özellikleri birbirinden farklı kaya ortamlarını oluşturmaktadır. Tüm bunların yanında kireçtaşlarında süreksizliklere bağımlı olarak gelişen erime şekilleri de bünye özelliklerinin yer yer farklılıklar göstermesine sebep olmuştur.

Oldukça sık süreksizlikler içeren killi kireçtaşlarında açılan LI ve L3A galerilerinde stabilitenin sağlanması için kaya ortamının tanımı ve sınıflamasının gereği doğmuştur.

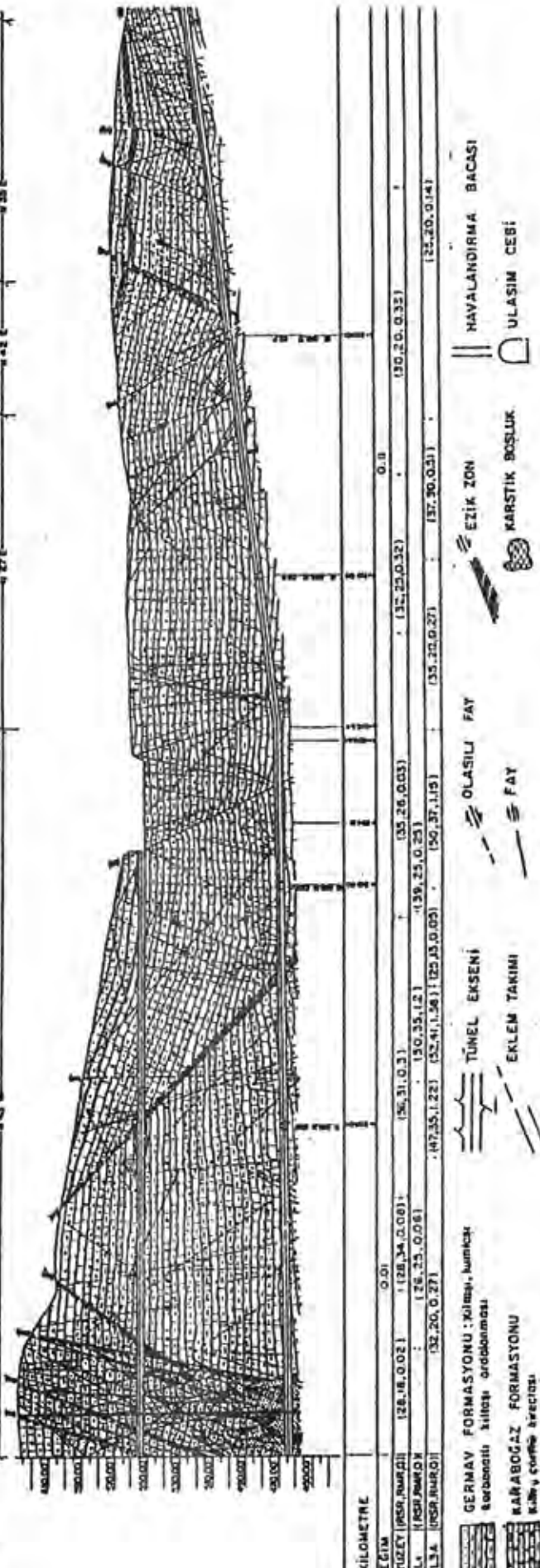
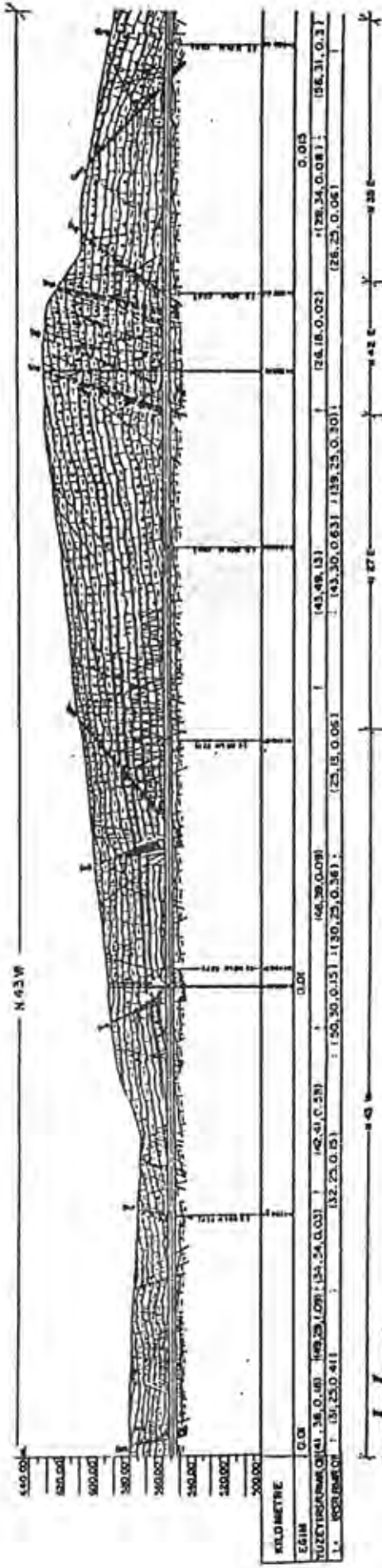
Kaya ortamları için geliştirilmiş birbirinden farklı parametrelere dayalı birçok sınıflama yapılmıştır. Herbir sınıflama kaya ortamını farklı kaynaklardan derlenen veriler yardımı ile tarif eder ve herbir sınıftaki kaya ortamı için değişik çalışma tekniklerini, yöntemlerini ve destekleme sistemlerini önerir. Bunlardan Wickham, Tiedemann ve Skinner (1972) tarafından önerilen RSR (Rock Structure Rating) Bieniawski (1973) tarafından yapılan RMR (Rock Mass Rating) ve Barton, Lien ve Lunde (1974) tarafından geliştirilen Q sınıflama sistemleri galeri güzergahları boyunca yüzeyde ve yeraltında ayrı ayrı uygulanmıştır. Bu sınıflamalar LI ve L3A galeri güzergahlarında tünel açımından önce kaya sınıfına göre destek sistemlerini önermek kayanın kazılabilirliği hakkında fikir edinmek ve tünel açma yöntemini belirlemek amacıyla önce yüzeyde uygulanmıştır. Ancak yüzeydeki ve yeraltındaki kaya ortamlarının yer yer farklılıklar sunmasından dolayı tünel açımı ile birlikte yeniden sınıflama yoluna gidilmiş ve sınıflamalardan yer yer yüzeydeki kaya sınıfının yeraltında değiştiği saptanmıştır. Burada amaç yüzeyde belirlenen RSR, RMR ve Q değerlerinin derine doğru değişimlerini

tespit etmenin yanı sıra önerilen destek sistemleri arasında bir karşılaştırma yapılmasıdır.

Arazi çalışmaları sırasında kaya ortamının davranışının farklılık gösterdiği yerler ile bunların ilişkili bulunduğu yapısal deformasyonların ve litolojilerin farklılıklar gösterdiği yerlerde kabaca bir ayırım yapılmış ve buralarda RSR, RMR ve Q sistemleri uygulanmıştır. Kaya kütlesi sınıflamalarında, öncelikle sınıflamaların uygulandığı kısım belirtilmiş, daha sonra sınıflama parametreleri tanımlanarak sınıflama değerleri bulunmuştur. Sınıflamalar yapılırken genel koşullar ele alınmıştır. Burada öncelikle her üç sınıflama sisteminin yüzeyde ve yeraltında uygulanmasından bahsedilerek elde edilen sonuçlar ve destekleme sistemleri birbiri ile karşılaştırılacaktır.

3.1- RSR Sistemi ile sınıflama

RSR parametrelerinin hepsi arazideki ölçüm ve gözlemlere dayanmaktadır. RSR A parametresi, kayanın kökeni, sertliği, faylı veya kıvrımlı oluşuna göre sayısal olarak tespit edilmiştir. Galeriler güzergahındaki kayalar, kökenlerinin sedimanter olup çoğun yumuşak ve ayrılmış olmaları sebebiyle tip 4 olarak kabul edilmiştir. Bunun yanı sıra bu tip kayaların jeolojik yapıları sebebiyle RSR A parametresi 6-10 olarak belirlenmiştir. Daha sonra eklem aralığı, eklem yönlenimi ve galeri açma yönüne göre RSR B parametresi için 9-28 arasında bir sayısal değer tespit edilmiştir. Sonuçta ise RSR A, RSR b, eklem durumu ve su akım miktarı birlikte değerlendirilerek RSR C parametresi için sayısal değer 9-22 olarak saptanmıştır. Tüm bu verilere göre yüzeydeki RSR değerleri 26-56, yeraltındaki RSR değerleri ise 23-52 arasında değişmektedir (Şekil 2).



Şekil 2: Sol sahil L1 ve L3A Enjektasyon galerilerinin boyuna kesitleri ve kaya kütle niteliği sınıflamaları.

3.2- RMR Sistemi ile sınıflama

Bu sınıflamaya göre Karaboğaz formasyonunun tünel güzergahındaki nitelikleri aşağıdaki gibi değerlendirilmiştir. Aşağıdaki parametrelerden ilki laboratuvar deneyleri, diğerleri ise arazideki gözlem ve ölçümlere göre belirlenmiştir.

Tek eksenli basınç dayanımı.....	4
RQD.....	3-13
Eklem ara uzaklığı.....	5-20
Eklemlerin durumu.....	6-12
Yeraltısuyu durumu.....	4-10
Düzeltilme puanı.....	(-5)-(-1)

Bu sınıflamaya göre yapılan puanlamalar sonucunda RMR değerlerinin yüzeyde 18-49, yeraltında ise 13-41 arasında olduğu tespit edilmiştir. Buna göre Karaboğaz formasyonu "Çok zayıf-orta kaya" niteliğindedir (Şekil 2).

3.3- Q Sistemi ile sınıflama

Galeri güzergahındaki Karaboğaz formasyonunda bu sınıflama sisteminin tüm parametreleri arazideki gözlem ve ölçümler ile aşağıdaki gibi değerlendirilmiştir.

RQD.....	%0-75
Jn.....	6-12
Jr.....	0.5-1
Ja.....	0.75-2
Jw!.....	0.66
SRF.....	2.5-10

Yapılan bu puanlamalara göre galeri güzergahlarındaki Q değerlerinin yüzeyde 0.02-1.3, yeraltında ise 0.05-1.42 değerleri arasında olduğu tespit edilmiştir. Bu so-

nuçlara göre galeri güzergahlarındaki Karaboğaz formasyonu "Çok fazla zayıf - zayıf kaya" sınıfındadır (Şekil 2).

4- YÜZEYDEKİ RSR, RMR VE Q DEĞERLERİNİN DERİNLİKLE DEĞİŞİMLERİ

Yüzeyden 50 metre derindeki sol sahil LI galerisinin çıkış ağzından itibaren güneye doğru %11 eğim ile yaklaşık 100 metre aşağıdaki L3 galerisi ile L3A galerisi boyunca uygulanan RSR, RMR ve Q değerlerinin yüzeyden galeri derinliğine doğru olan değişimlerini açıkça göstermek için birer diyagram hazırlanmıştır(Şekil 3,4,5). Bu diyagramların, düşey eksenleri üzerinde, yüzeyden elde edilen RSR, RMR ve Q değerleri, yatay eksenleri üzerinde ise galeri kotunda tespit edilen RSR, RMR ve Q değerleri yerleştirilmiştir. Orijinden başlayıp lineer bir şekilde devam eden doğru üzerinde bulunan tüm noktalar yüzey ve galeri kotunda tespit edilen sınıflama değerlerinin birbirine eşit olduklarını ifade eder. Noktaların lineer doğrudan uzaklaşması bu değerlerin galeri kotunda değişim gösterdiğini ifade eder. Bu diyagramlarda her bir galeri için ayrı bir işaret kullanılmış ve bu işaretler grafik üzerine yerleştirilmiştir.

RSR değeri 20'den küçük olan kayalarda kuvvetli iksa gerektiğinden Şekil 3'teki diyagramda seçilen limit değeri 20'dir. Bu limit içinde bulunan değerler arasında;

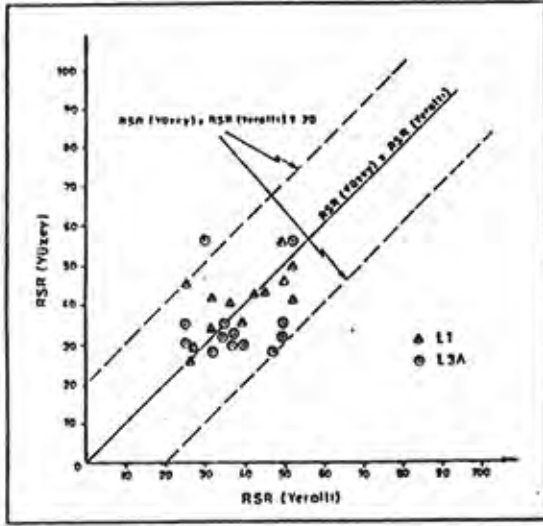
$$RSR (Yüzey) = RSR (Yeraltı) + 20$$

gibi bir ilişki vardır. Elde edilen noktaların %96'sı seçilen limit için de kalmaktadır. Buradan RSR değerlerinin derine doğru büyük değişiklik göstermediği anlaşılmaktadır.

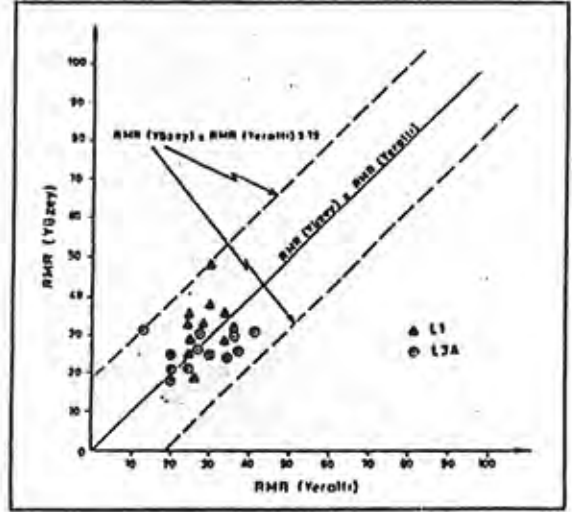
RMR sisteminde çok zayıf kaya sınıfı limit olarak alınmıştır. Bu limit değerden çizilen doğrular arasında kalan değerler arasında;

$$RMR (Yüzey) = RMR (Yeraltı) + 19$$

gibi bir bağıntı vardır (Şekil 4). Yine noktaların tamamının seçilen limit içerisinde kaldığı görülmektedir. Buradan da yüzeydeki RMR değerinin ortalama 50 metre derindeki galeri kotunda büyük değişim göstermediği sonucuna varılmıştır.



Şekil 3: Yüzey ve yeraltında tespit edilen RSR değerlerinin ilişkisi

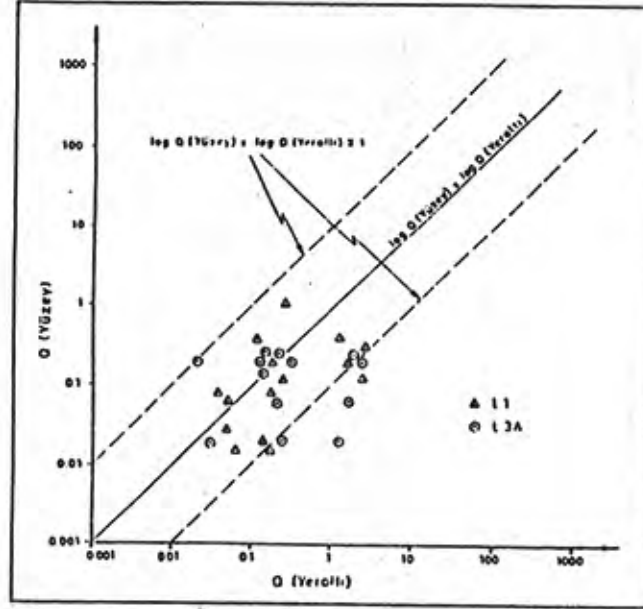


Şekil 4: Yüzey ve yeraltında elde edilen RMR değerlerinin ilişkisi

Q sisteminde ise son derece zayıf kaya sınıfının sınırını oluşturan değerden lineer doğruya iki ayrı paralel doğru çizilmiştir (Şekil 5). Bu paralel doğrular arasında kalan bölgelerde yeraltında ve galeri kotunda tespit edilen Q değerleri arasında;

$$\log Q (Yüzey) = \log Q (Yeraltı) + 1$$

ilişkisi bulunmaktadır. İşaretlenen tüm noktaların %79'u bu sınırlar içinde %21'i ise bu sınırların dışındadır. Bu da Q değerinin yer yer yeraltında değişim gösterdiğini ifade eder.



Şekil 5: Yüzey ve Yeraltında tespit edilen Q değerlerinin ilişkisi

5- RSR RMR VE Q SINIFLAMA SİSTEMLERİ İLE BULUNAN DESTEK ÖNLEMLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

Araştırmanın amaçlarından biri de sınıflamalarda elde edilen destek önlemlerinin karşılaştırılmasıdır. L1 ve L3A galerilerinin bu sınıflamalardan belirlenen destek önlemleri, yeraltı ve yüzey için Çizelge 1,2,3,4'de gösterilmiştir.

GİRİŞTEN UZAKLIK (km)	RSR	RMR	Q
0+009	2.7 inç pük. beton 3.6 ft kaya bul. 3.8 ft çelik iken	B(Utg)1:4.5m, d1:1.5m S(nr) 100 - 150mm (nr) 1.50m	B(Utg)1m + nr veya c1m
0+160	3.8 inç 2.8 ft " " " " " " " "	" " " " " " " "	B(Utg)1m + S (nr) 5cm
0+200	2.9 inç 3.4 ft " " " " " " " "	" " " " " " " "	B(Utg)1m + S 2-3 cm
0+265	4.8 inç 2.1 ft " " " " " " " "	" " " " " " " "	S(nr)7.5-15cm
0+370	3.7 inç 2.6 ft " " " " " " " "	B(Utg)1:1', d1:2m S(nr) 50 - 100mm	B(Utg)1m+nr veya c1m
0+515	3.3 inç 2.9 ft " " " " " " " "	B(Utg)1:4.5m, d1:1.5m S(nr) 100 - 150mm (nr) 1.50m	S(nr)7.5-15cm
0+581	3.6 inç 2.5 ft " " " " " " " "	" " " " " " " "	B(Utg)1m+S2-3cm
0+791	6.7 inç 1.9 ft " " " " " " " "	B(Utg)1:5m, d1:1.5m S(nr) 150 - 200mm (nr) 0.75m	S(nr)7.5-15cm
0+924	5.9 inç 1.8 ft " " " " " " " "	B(Utg)1:4.5m, d1:1.5m S(nr) 100 - 150mm (nr) 1.50m	S(nr)7.5-15cm
1+062	2.2 inç 1.6 ft " " " " " " " "	" " " " " " " "	B(Utg)1m+S(nr) 5cm
1+137	4.8 inç 2.2 ft " " " " " " " "	" " " " " " " "	S(nr)7.5-15cm

(a)

GİRİŞTEN UZAKLIK (km)	RSR	RMR	Q
0+059- 0+072	2.6 inç pük. beton 3.3 ft kaya bul. 4.0 ft çelik iken	B(Utg)1:4.5m, d1:1.5m S(nr) 100 - 150mm (nr) 1.5m	Destek gerekmez
0+202	5.8 inç 2.0 ft " " " " " " " "	" " " " " " " "	B(Utg)1m+nr veya c1m
0+351	5.3 inç 2.2 ft " " " " " " " "	" " " " " " " "	B(Utg)1m+S(nr) 5cm
0+419	2.8 inç 3.2 ft " " " " " " " "	" " " " " " " "	Destek gerekmez
0+458	5.8 inç 2.0 ft " " " " " " " "	" " " " " " " "	B(Utg)1m+S(nr) 5cm
0+630	7 inç 0.8 ft " " " " " " " "	B(Utg)1:5m, d1:1.5m S(nr) 100 - 200mm (nr) 0.75m	S(nr)7.5-15cm
0+691	3.6 inç 2.6 ft " " " " " " " "	B(Utg)1:4.5m, d1:1.5m S(nr) 100 - 150mm (nr) 1.5m	B(Utg)1m+nr veya c1m
0+734	4.2 inç 2.8 ft " " " " " " " "	" " " " " " " "	B(Utg)1m+S(nr) 5cm
0+979	6.2 inç 2.0 ft " " " " " " " "	" " " " " " " "	S(nr)7.5-15cm
1+064	2.8 inç 3.2 ft " " " " " " " "	" " " " " " " "	B(Utg)1m+S 2- 3cm
1+137	4.2 inç 2.3 ft " " " " " " " "	" " " " " " " "	B(Utg)1m+S(nr) 5cm

(c)

GİRİŞTEN UZAKLIK (km)	RSR	RMR	Q
2+271	5.3 inç pük. beton 2.2 ft kaya bul. 1.4 ft çelik iken	B(Utg)1:4.5m, d1:1.5m S(nr) 100 - 150mm (nr) 1.50m	B(Utg)1m+S(nr) 5cm
2+772	5.8 inç 2 ft " " " " " " " "	B(Utg)1:5m, d1:1.5m S(nr) 150 - 200mm (nr) 0.75m	B(Utg)1m+S(nr) 5cm
1+674	5.3 inç 2.2 ft " " " " " " " "	B(Utg)1:4.5m, d1:1.5m S(nr) 100 - 150mm (nr) 1.50m	B(Utg)1m+S(nr) 5cm
1+496	4.8 inç 2.2 ft " " " " " " " "	" " " " " " " "	S(nr)7.5-15cm
1+319	2.2 inç 3.6 ft " " " " " " " "	" " " " " " " "	B(Utg)1m+S(nr) 5cm
1+261	5.9 inç 1.8 ft " " " " " " " "	" " " " " " " "	S(nr)7.5-15cm
1+161	5.9 inç 1.8 ft " " " " " " " "	B(Utg)1:5m, d1:1.5m S(nr) 150 - 200mm (nr) 0.75m	" " "

(b)

GİRİŞTEN UZAKLIK (km)	RSR	RMR	Q
2+348	7 inç pük. beton 0.8 ft çelik iken	B(Utg)1:5m, d1:1.5m S(nr) 100 - 200mm (nr) 0.75m	S(nr)7.5-15cm
2+316	4.8 inç pük. beton 2.3 ft kaya bul. 1.8 ft çelik iken	B(Utg)1:4.5m, d1:1.5m S(nr) 100 - 150mm (nr) 1.50m	S(nr)7.5-15cm
2+228	2.8 inç 3.2 ft " " " " " " " "	" " " " " " " "	B(Utg)1m+S2-3cm
2+169	4.2 inç 2.3 ft " " " " " " " "	" " " " " " " "	B(Utg)1m+S(nr) 5cm
1+808	7 inç 2.8 ft " " " " " " " "	B(Utg)1:5m, d1:1.5m S(nr) 100 - 200mm (nr) 0.75m	B(Utg)1m+S(nr) 5cm
1+721	3.2 inç 3.3 ft " " " " " " " "	B(Utg)1:4.5m, d1:1.5m S(nr) 100 - 150mm (nr) 1.5m	B(Utg)1m+nr veya c1m
1+611	4.8 inç 2.2 ft " " " " " " " "	B(Utg)1:5m, d1:1.5m S(nr) 100 - 200mm (nr) 0.75m	B(Utg)1m+S(nr) 5cm
1+510	2.8 inç 3.2 ft " " " " " " " "	B(Utg)1:4.5m, d1:1.5m S(nr) 100 - 150mm (nr) 1.5m	B(Utg)1m+S 2-3cm
1+441	7 inç 0.8 ft " " " " " " " "	B(Utg)1:5m, d1:1.5m S(nr) 100 - 200mm (nr) 0.75m	S(nr)7.5-15cm
1+395	2.6 inç 3.5 ft " " " " " " " "	B(Utg)1:4m, d1:2m S(nr) 50 - 100mm	Destek gerekmez
1+345	3.2 inç 3 ft " " " " " " " "	B(Utg)1:4.5m, d1:1.5m S(nr) 100 - 150mm (nr) 1.5m	B(Utg)1m+S 2-3cm
1+161	5.3 inç 2.2 ft " " " " " " " "	B(Utg)1:5m, d1:1.5m S(nr) 100 - 150mm (nr) 1.5m	B(Utg)1m+S(nr) 5cm

(d)

Çizelge 1: a: Yüzeyde LI, b:Yüzeyde L3A, c: Yeraltında LI
d: Yeraltında L3A galerileri boyunca uygulanan
RSR, RMR, Q sistemlerinden elde edilen ver-
rilerin karşılaştırılması.

6- SONUÇLAR

RSR, RMR ve Q değerlerinin yeraltına nazaran yüzeyde düşük çıkması, yüzeydeki ayrışmadan, yeraltındaki değerlerin yüzeye göre düşük çıkması ise o kesimlerdeki ezik-milonitik kaya ortamından kaynaklanmaktadır.

Özellikle çelik iksalı destek türlerinin saptanmasında başarı ile uygulanan RSR sınıflamasında galeri güzergahındaki yapısal öğeler (kıvrım, fay, eklem v.b.7 gözlemsel verilere göre değerlendirilmiştir.

RMR sınıflamasında arazi gözlemleri ve laboratuvar verileri değerlendirilmiştir. Güzergah boyunca derlenen numuneler üzerinde yapılan nokta yükleme, tek ve üç eksenli basınç deneylerinden, kayaların çok düşük ve düşük dirençli olmaları, RMR sınıflamasından elde edilen değerlerin düşük çıkmasına neden olmuştur.

Eklemlerin mühendislik özelliklerinin ayrıntıda değerlendirildiği Q sisteminde ise galerilerdeki bağıl blok boyutu, bloklararası kesme direnci ve aktif gerilme parametreleri sayısal olarak değerlendirilmiştir. Ayrıca alterasyon ve tektonizmanın etkisiyle gelişen ezik zonlar, eklem yüzeylerindeki pürüzlülük ve dolgu malzemeleri ayrıntıda incelenerek uygun destekleme türleri saptamıştır.

Yapılan sınıflamaların karşılaştırılması sonucunda enjeksiyon galerileri güzergahındaki kaya ortamlarının özelliği ve kısa sürede gerçekleştirilebilmesi dolayısıyla en uygun sınıflamanın Q sistemi olacağı sonucuna varılmıştır.

7- TEŞEKKÜR

Yazarlar D S İ XVI. Bölge Müdürlüğü elemanlarına sağladıkları imkanlardan dolayı içten 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 African Institution of civil engineers, V.15, n.12, pp.335-344
- BIENIAWSKI, Z.T. (1984) Rock Mechanics Design in Mining and tunneling. A.A. Balkema/Rotterdam/Boston. pp. 109-126
- CAMERON-CLARKE, I.S. and BUDAVARI, (1981) Correlation of rock mass classification parameters obtained from borecore and in-situ observations, Engineering Geology, V.17, pp.19-53
- E.G.W.P. (1977) The description of rock masses for engineering purposes, Engineering Geology, V.10, pp.355-388
- UĞURLU, A. (1990) Atatürk Barajı Enjeksiyon Galerilerindeki Kaya Niteliğinin Mukayeseli Sınıflaması, İ.Ü. Fen Bilimleri Ens. Yüksek Lisans Tezi.

AKİFERLERDE BARAJLAMA YÖNTEMİ İLE REZERVUAR OLUŞTURULMASI VE
TÜRKİYE'DE UYGULANABİLİRLİĞİ

DUE TO RECHARGE IN AQUIFERS BY GROUNDWATER DAMS AND ITS APPLICATION
IN TURKEY

İbrahim GÜRER, Haldun KAHYAĞLU (*)

ÖZET

Türkiye'nin yaklaşık dörtte üçü kurak ve yarı kurak iklim koşullarının etkisi altında olduğundan yeraltı barajlarının denenmesi halinde, yüzey depolama yapılarındaki buharlaşmadan dolayı oluşan su kaybı ve siltasyondan ötürü, aktif depolama hacmi gibi sorunlar ile karşılaşılmayacağı düşünülmektedir. Ayrıca bu tür barajlar karstik alanlarda denizaltı kaynaklarının denize boşalımıyla kaybedilen suyun kazanılması ve tuzlu su girişiminin önlenmesinde de kullanılabilirler. Araştırmada öncelikle Türkiye genelinde kurak bölgeler saptanmış ve uygulama için uzun dönem ortalama yıllık yağış toplamı 306 mm. uzun dönem ortalama yıllık buharlaşma-terleme toplamı 952 mm. olan Konya Ereğlisi yakınında bir alan seçilmiştir. Bu alanda halen içme ve kullanma suyu gereksinimi sığ kuyular aracılığıyla sağlanmaktadır. Yüzey ve yüzeyaltı bütçelerinin belirlenmesinden sonra yeraltısuyu depolamasının yapılabileceği birim olarak, çoğunlukla çakıl boyutlu, pekişmemiş malzemeden oluşan ve 9.5 km² yüzey alanına sahip alüvyon akifer saptanmıştır. Bu akiferde depolama amacıyla üç adet yeraltı barajı boyutlandırılıp, proje maliyeti hesaplanmıştır. Böylece bu yeraltı rezervuarındaki su, içme ve sulama suyu olarak kullanılabilir ve mevcut sığ kuyular her mevsim su verebilecek duruma dönüşecektir.

ABSTRACT

In Turkey where the arid and semi-arid climates are in its three quarters groundwater dams may be alternative solutions to the problems which arise from the loss of water due to high evaporation rates and decrease of active storage volume due to siltation in surfacewater storage structures such as barrages and small earth dams which are widely used in Turkey. In addition groundwater dams may also be used to prevent the salt water intrusion and to gain the fresh water which discharges into sea through the submarine springs in coastal karstic aquifers. Arid regions of Turkey have been determined in the first stage of the investigation and an area near to Konya Ereğli where long term annual precipitation is 306 mm. and evapo-transpiration is 952 mm. has been chosen. At present domestic and irrigation water demands are met from groundwater by means of shallow wells. Surface and groundwater budgets have been calculated then an alluvium aquifer which is composed, generally, of gravel size and unconsolidated material and having a surface area of 9.5 km² has been chosen for subsurface water storage. Dimensions of three subsurface dams for storage in this aquifer have been determined and the cost of the project have been calculated. Thus the water in the subsurface storage will be able to reply the domestic and irrigation water demands and the existing shallow wells will yield water continuously.

(*)Hacettepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Beytepe-Ankara.

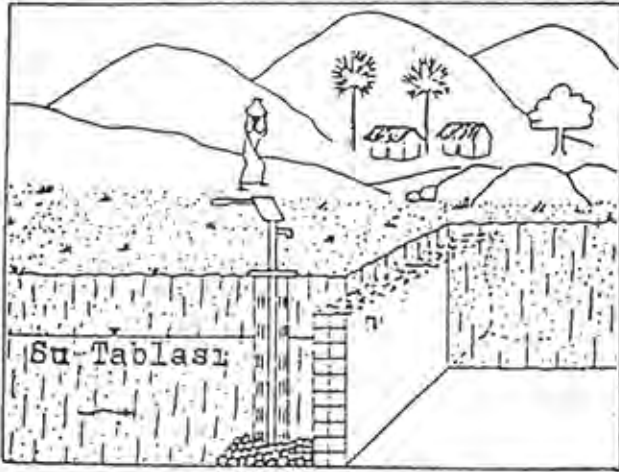
1. TANIMLAR

Yeraltısuyu barajları, yeraltısuyunun akışını kesen ve böylece suyun yeraltında depolanmasını sağlayan yapılardır. Yeraltısuyunun başka yöne yönlendirilmesi yoluyla komşu akiferlerin beslenmesinde veya yeraltısı seviyesinin yükseltilmesiyle pompaj maliyetlerinin azaltılmasında da kullanılabilirler. Yeraltısuyu barajları, yeraltı barajları ve kum depolama tiptir.

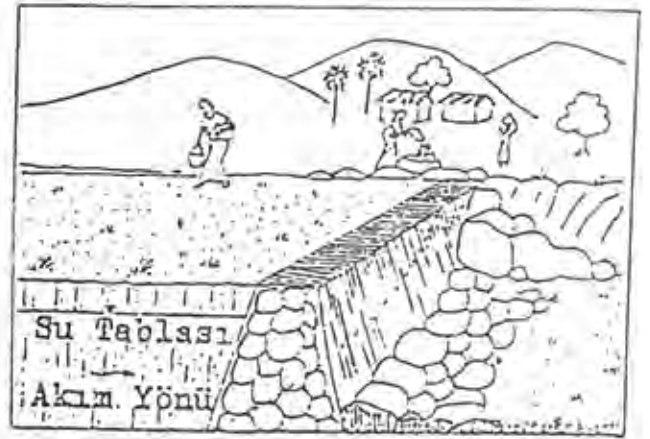
Yeraltı barajları, bir vadi boyunca altta yeralan geçirimsiz birime kadar bir hendek açılıp, hendek içine geçirimsizlik perdesi inşası ve hendeğin tekrar doldurulması ile yapılır (Şekil-1).

Kum depolama tip barajlar ise, bir dere yatağı üzerine duvar yapılması ve şiddetli yağışlarla gelen sedimanların bu duvar arkasında birikmesi ile oluşur (Şekil-2).

Yeraltı barajları bu iki tip barajın birleşimi şeklinde de yapılabilirler.



Şekil-1:Yeraltı Barajlarının Genel Prensipleri (Nilsson, 1988)



Şekil-2:Kum Depolama Tip Barajların Genel Prensipleri (Nilsson,1988)

2.FİZİKSEL ETMENLER

Yeraltısuyu barajlarının yüzey depolama yapıları ile karşılaştırılması halinde, maliyetlerinin daha düşük olması, yüzey depolama yapılarında görülen buharlaşma ile su kaybı ve siltasyonla aktif hacimde azalmanın olmaması, su kalitesinin daha yüksek olması ve depolamanın yapıldığı akifer üzerindeki arazinin çeşitli amaçlar için kullanılabilmesi gibi avantajlara sahiptir.

Klimatolojik koşullar yeraltısuyu barajlarının yapımında belirleyici etkindir. Türkiye'nin kuraklık haritası incelendiğinde yaklaşık dörtte üçünün kurak ve yarı kurak iklim sınıfına girdiği görülmekte olup bu alanlar Türkiye'de yeraltısuyu barajları yapımına uygun iklim bölgelerini oluşturmaktadır.

Yeraltısuyu tablasına ve akifer malzemesinin kapilaritesine bağlı olarak yeraltısuyundan sınırlı oranlarda buharlaşma olmaktadır. Örneğin doygun kum yüzeyinden olan buharlaşma, serbest su yüzeyinden olan buharlaşmadan yaklaşık %8 daha az olarak saptanmıştır (Hellwig, 1973). Tane boyunun fonksiyonu olarak buharlaşma oranı değişimi Şekil-3'de görülmektedir. Ayrıca malzemenin boylanması buharlaşma kayıpları üzerinde etkilidir.

Yeraltı barajları, alttan geçirimsiz ya da çok düşük permeabiliteye sahip bir temel kaya ile sınırlı olan dar vadiler veya nehir yatakları olduğundan, temel kayanın topoğrafyası, depolamanın ekonomik olup olmayacağını ve yapılacak barajın inşa yöntemini saptamada yardımcı olur. Bu alanlar, hem maliyetin azaltılması hem kaçakların önlenip, rezervuar hacminin arttırılması için uygundur. Yeraltısuyu tablasının hidrolik eğimine bağlı olan yeraltısuyu akışı topoğrafik eğimin bir fonksiyonudur. Örneğin dünyada bugüne kadar yapılan uygulamalarda topoğrafik eğim genelde %0.2 ile %4.0 arasında değişmektedir (Nilsson, 1988). Bu nedenle yeraltısuyu barajları için en uygun yerler dağlarla ovalar arasında yeralan düşük eğimli geçiş bölgeleri olmaktadır. Yeraltısuyu barajlarının yapılabileceği akiferler kum, çakıl, yerinde bozunmuş birimler ve derin alüvyonlardır. Çakıl büyüklüğündeki malzemenin, tane boyu dağılım ve sıkışmasına bağlı olarak akiferlerin özgül verimleri % 5 ile % 50 arasında değişebilir. Yeraltısuyu barajları daha çok derin olmayan serbest akiferlerde yapılmakta ve buralardaki baraj derinlikleri 3 m. ile 9 m. arasında değişmektedir (Nilsson, 1988). Yeraltısuyu depolama hacminin belirlenebilmesi için yeraltısuyu akım yönünün, yeraltısuyu tablası değişimlerinin, akiferin permeabilitesinin ve diğer hidrolik parametrelerin saptanması gereklidir. Bunun için seviye değişimlerinin uzun bir dönem izlenerek hidrolik eğimin belirlenmesi, ve sulama amaçlı bir proje ise, sulamadan dönen suyun miktarının da belirlenmesi gereklidir. Depolama oluşacak yerdeki geçirimsiz birim çeşitli kırık ve çatlaklar boyunca sızma şeklinde kayıplardan dolayı her zaman % 100 geçirimsiz olmayabilir. Bu çatlak ve kırıklar jeolojik bir etüd ile önceden saptanabilir.

Sediman taşınımı, kum depolama tipi barajlarda önem kazanmaktadır. Bu tip barajların membasında biriken sediman miktarı, havzadaki toplam sediman yükünün ancak küçük bir parçasını oluşturduğundan detay bir araştırmaya gerek yoktur. Granit, kumtaşı ve kuvarsit içeren havzalara oranla, gnays ve mikaşist içeren havzalarda yapılan kum depolama tipi barajlar daha başarılı sonuçlar vermektedir (Nilsson, 1988).

3. PLANLAMA

Yeraltı barajları ve kum depolama tip barajlar için ön araştırma ve planlama yöntemleri aynıdır. Ön çalışma olarak yöreye ait topoğrafik, jeolojik, hidrojeolojik, toprak sınıflaması ve diğer ilgili haritalar elde edilir. Ayrıca yöreye ait hava fotoğrafları ve son yıllarda gelişen uydu görüntüleri de yörenin jeolojisi, yeraltısuyu koşulları, yüzey akışı, erozyon ve sedimantasyon süreçleri hakkında önemli bilgiler verebilir. Bölgeye ait meteorolojik veriler analiz edilerek kurak aylar, yüzey ve yeraltı bütçeleri hesaplanarak emniyetli verim saptanır. Depolamanın amacı, sulama suyu elde etmekse, bölgenin sulama suyu gereksinimi de hesaplanmalıdır.

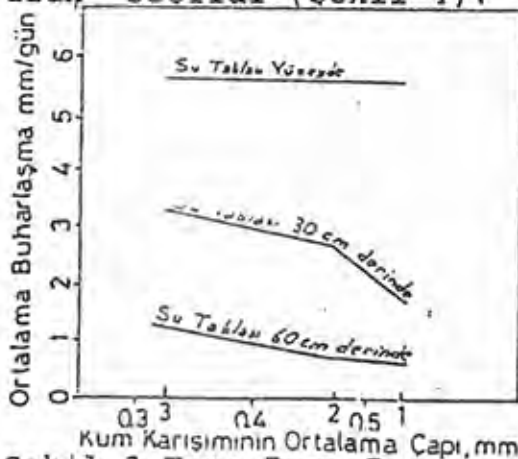
Arazide yapılması gereken çalışmalar, jeolojik, jeofizik ve kuyu log çalışmaları, depolamanın yapılacağı birimin hidrojeolojik etüdü, depolanan suyun hidrojeokimyasal analizleri, hidrolojik çalışmalar (yağış, yüzey akışı, sızma ve akarsu debilerinin ölçümü) ve araziden alınan örneklerin elek analizi yapılarak tane boyu dağılım eğrilerinin saptanması şeklinde özetlenebilir.

Planlama aşamasında yeraltısuyu barajı tipi ve gerekli kuyuların lokasyonları saptanmalıdır. Yörenin nüfus verilerinin analizi ile en az 30 yıllık bir süreç için nüfus tahminleri yapılarak projenin gelecekte oluşacak koşullara uyumu belirlenir. Sulama amaçlı projelerde, kuru tarımdan sulu tarıma geçildiğinde elde edilecek net gelir artışı da hesaplanmalıdır. Son olarak proje inşaat maliyeti hesaplanır.

4. UYGULAMA

4.1. Genel

Yeraltı barajları uygulaması olarak beş alternatif lokasyon üzerinde çalışılmıştır. Konya Ereğli'nin 28 km kuzey batısında, 33°39' ve 33°51'N ile 38°15' ve 38°20' E arasında yeralan ve mevcut su tesisi bulunmayan Kesmez ve Akören köylerinin bulunduğu alan secildi (Şekil-4).



Şekil-3: Tane Boyu Dağılımının Fonksiyonu Olarak Buharlaşma (Hellwig, 1973 ve Nilsson, 1988)



Şekil-4: Proje Alanı Lokasyon Haritası

Proje Alanı

Bu alanda depolamanın çakıl boy lu malzemeden oluş an ve temel de bazaltla sınırlı alüvyon akiferde yapılabileceğ i anlaşılmıştır. Sözü edilen yöre, klimatolojik verilere göre, yarı kurak karasal iklim özelliğ i göstermekte olup, yıllık toplam yağış ı 306.0 mm., yıllık toplam buharlaşma-terleme miktarı ise 952.8 mm.'dir (DSİ, 1972). Önerilen bu proje ile yöre halkı iç me ve kullanma suyu gereksinimlerini karşılamak amacıyla kendilerinin yaptıkları 10 siğ kuyu sadece yağışlı dönemde değ il, her dönemde su verebilecek duruma dönüşebilecektir (Şekil-5).

Topoğ rafik açıdan depolamanın yapılacağı alüvyon birim genelde 1080 - 1100 m kotları arasında yer almakta olup, ortalama eğ imi %2.0'dır. Ekonomik açıdan, proje alanında tarım yapılabilecek arazi çok az olup, mevcut tarım arazilerinde de genellikle kuru tarım yapılmaktadır. Ayrıca, hayvancılıkta yaygındır. Mevcut su temin ve dağıtım sistemi açısından, Kesmez köyünde iç me suyu sağlayan küçük bir çeş me dışında, her iki köyde de başka bir tesis yoktur (KHGM, 1988).

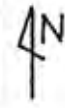
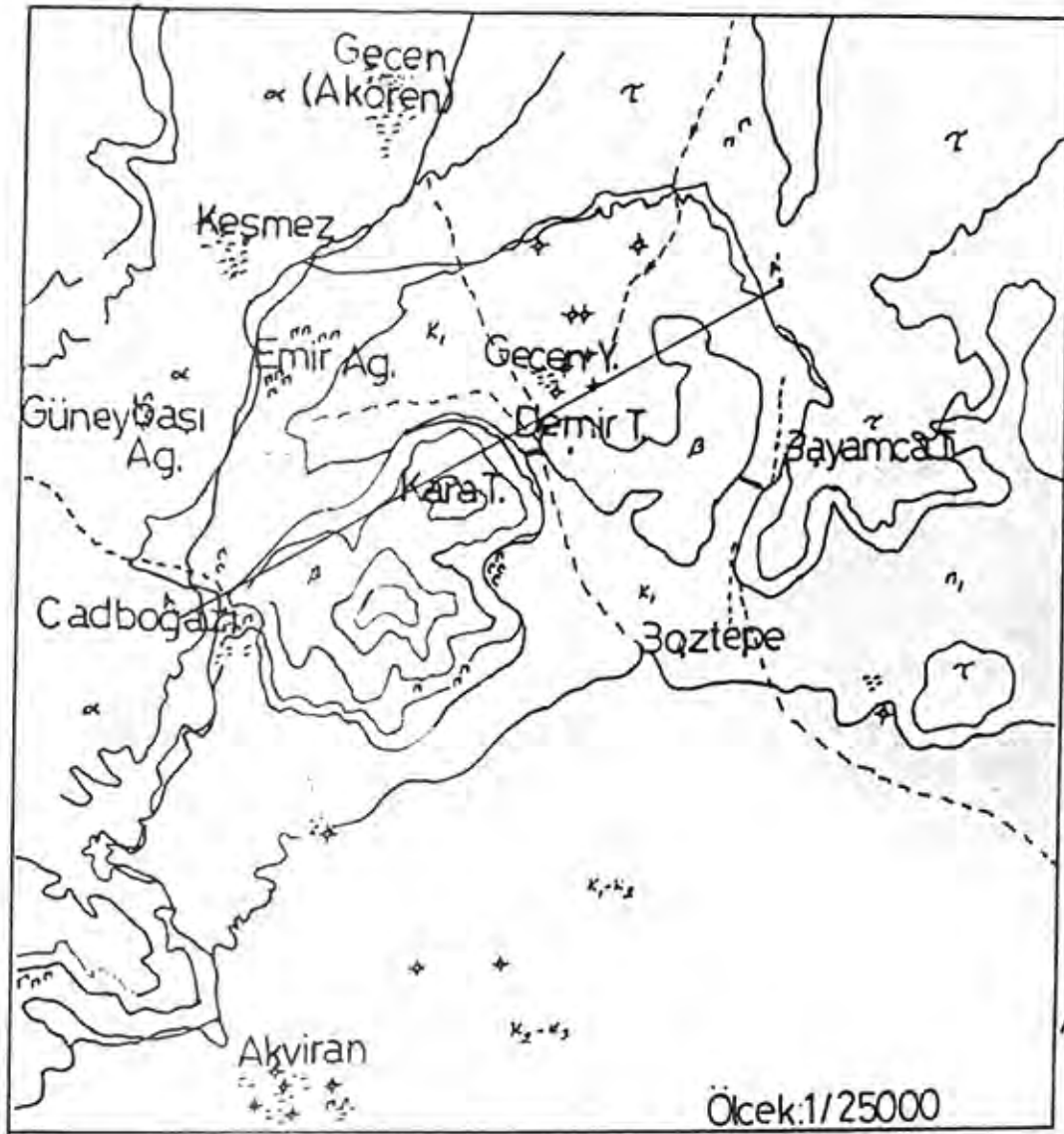
4.2.Nüfus

Kesmez ve Akören köylerinin 1950 - 1985 dönemi nüfus verileri kullanılarak yapılan nüfus projeksiyonu ile su gereksinimlerini belirlemek için su tüketim projeksiyonu yapılmıştır (Tablo-1).

Tablo-1:Nüfus ve Su Tüketim Projeksiyonu

Köy	Nüfusu		İç me Suyu Tüketimi (m ³ /yıl)	
	1989	2020	1989	2020
-----	-----	-----	-----	-----
Akören	823	1994	12016	29112
Kesmez	510	1238	7446	18075
	Hayvan Sayısı		Hayvan Su Tüketimi (m ³ /yıl)	
	1989	2020	1989	2020
-----	-----	-----	-----	-----
Büyükbaş:	500	800	9125	14600
Küçükbaş:	1500	2400	8213	13140
TOPLAM:			39800 m ³ /yıl	74927 m ³ /yıl

Akören köyünün, 2020 yılındaki nüfusu 1994, Kesmez köyünün ise 1238 kişi olarak tahmin edilmiştir. Bu rakamlar bu köylerin bugünkü nüfuslarının 2.8 katıdır. Nüfusun 2.8 kat artmasına karş ılık, su tüketimi 1.9 kat artacaktır. Bunun nedeni, proje alanında sul u tarıma geçildiğ inde mevcut yer alar sulanabilir araziye dönüşecek ve böylece de hayvancılık sektöründe küçülme olacağı tahmin edilmektedir. Halen, proje alanında bulunan yeraltı suyu siğ kuyular yoluyla değ erlendirilmektedir.

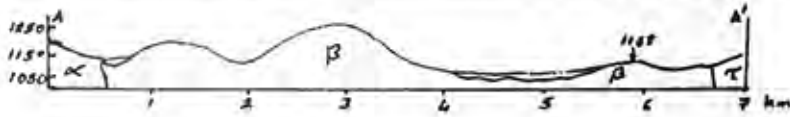


AÇIKLAMALAR

- | | | |
|-----|---------------------|--------------|
| K1 | Çakıl | } Kuvaterner |
| K2 | Kum | |
| K3 | Kil | |
| n1 | Kireçtaşı | |
| α | Andezit | |
| β | Bazalt | |
| τ | Tuf | |
| ≡ | Eşyükseklik eğr. | |
| --- | Köy | |
| ~ | Ahır | |
| + | Sığ kuyu | |
| --- | Gecici akarsu | |
| ~ | Formasyon sınırı | |
| A | Jeolojik kesit yönü | |

KISALTMALAR

Ag: Ahır
T: Tepe
Y: Yayla



Şekil-5:Proje Alanı Hidrojeoloji Haritası

4.3. Jeoloji ve Hidroloji

Genel jeoloji açısından incelendiğinde proje alanında magmatik kayalar grubundan andezit, bazalt ve bol sünger taşı içerdiğinden çok hafif olan bazaltik tüfler görülmektedir (DSİ, 1972). Sedimanter kayaç olarak kalınlığı genelde 6 - 7 m. (proje alanının ortasında 10 m.) arasında değişen alüvyon bulunmaktadır. Alüvyon çakıl boyulu malzemeden oluşmakla beraber az miktarda kum ve kilde içermektedir. Proje alanında DMİ'ye ait Ereğli, Karapınar ve Gölören, DSİ'ye ait Kamışkıkuyu ve Savran meteoroloji istasyonları bulunmakta ise de, hidrolojik analizler için ortalama kotu 1080 - 1100 m arasında değişen ve proje alanını en iyi şekilde temsil edecek Ereğli meteoroloji istasyonu, 1044 m'de kurulu ve en uzun veriye sahip olduğundan kullanılmıştır.

Kümülatif sapma ve yıllık toplam yağış grafikleri incelendiğinde, ıslak dönem ve kurak dönem arasında 6 - 8 yıl periyodlu bir geçiş olduğu görülebilir. Bölgede 1988 ve 1989 yıllarında kurak geçtiği gözönüne alınırsa, 1990 yılından itibaren ıslak döneme geçiş beklenebilir.

Ereğli istasyonu yağış-şiddet-süre tekerrür analiz sonuçları Tablo-2'de verilmiştir. Rezervuarın beslenmesi için yağışın şiddetli ve çok kısa süreli bir sağanak halinde gelmesi dezavantaj olsa da, yeterli beslenmenin olacağı hesaplanmıştır.

Tablo-2: Tekerrür Yıllarına Karşılık Yağış Şiddetleri

Tekerrür Yılı	2	5	10	25	50	100
Yağış Şiddeti (mm/saat)	13.5	24.0	30.0	39.0	48.0	55.0

Yüzey su bütçesi Thornthwaite yöntemi ile hesaplanmıştır. Zeminin başlangıç nem içeriği 100.0 mm olarak alındığından Mayıs'dan Ekim'e kadar buharlaşma-terleme aylık yağışlardan fazla olduğu için, bu aylar boyunca gerçek buharlaşma-terleme yağacak yağış kadardır. Islak dönemin başlangıcı Ocak ayıdır. Ocak ve Şubat'ta beslenme sırasıyla 14.0 mm ve 10.0 mm olacaktır. Diğer aylarda ise yeraltısuyu beslenemeyecektir. Proje alanı ve yeraltısuyu barajlarının yapılacağı üç yerde de mevsimlik akarsular bulunmaktadır, fakat kaynak bulunmamaktadır.

4.4. Hidrojeoloji

Yeraltısuyu barajlarıyla oluşturulacak yeraltısuyu rezervuarına ne kadar su geleceğini belirlemek için, yeraltısuyu bütçesi hesaplanmış ve Tablo-3'de verilmiştir. Rezervuarın beslenmesi, yağıştan sızma (Q_{ip}), yüzey akıstan sızma (Q_a) ve sulamadan dönen suyla (Q_1) olmaktadır. Boşalım ise, buharlaşma-terleme yoluyla (Q_e), yapay boşalım (Q_w) ve bazalta sızma (Q_b) yoluyla gerçekleşmektedir.

Tablo-3:Yeraltısuyu Bütçesi

Beslenme	Boşalım
Q _{ip} : 72600.0 m ³ /yıl	Q _e : 194090.0 m ³ /yıl
Q _a : 265320.0 m ³ /yıl	Q _w : 39800.0 m ³ /yıl
Q _i : 9675.5 m ³ /yıl	Q _b : 113705.5 m ³ /yıl
TOPLAM :347595.5 m ³ /yıl	347595.5 m ³ /yıl

Yeraltısuyu rezervuarı olarak kullanılacak olan serbest akiferin porozitesi %21, permeabilitesi 95 m/gün ve transmissivitesi 664 m²/gün'dür. Depolamanın yapılacağı birimde tuzluluk açısından bir tehlike sözkonusu değildir. Yeraltısuyu kirlenmesi açısından proje alanı ve yakın civarında organik kökenli kimyasal kirleticiler (Nitrit, Nitrat ve gübrelerden gelen Fosfat vb.) beklenebilir. Kirlenmeye çözüm olarak fosseptik çukuru önerilmektedir.

Rezervuar emniyetli veriminin yaklaşık % 30'u içme-kullanma suyuna ayrılacaktır. Geriye kalan kısım sulama suyuna verilebilir. Proje alanında halen kuru tarım yapılmakta olup, sulu tarıma geçildiğinde doğacak gelir artışları hesaplanmıştır. Proje alanında yapılan toprak sınıflamasına göre 18.75 hektarlık alanda sulu tarım yapılabilecektir.

4.5.Zirai Ekonomi

Bitki paterni proje alanına yakın olan DSİ-İvriz sulamalarından alınmıştır. Bu paterne göre yapılan sulama suyu hesaplamaları sonucunda 18.75 hektarlık alan için toplam 48377.4 m³/yıl su gerektiği bulunmuştur. Tarımsal net gelir artışı 1991 yılı birim fiyatlarına göre 60 milyon TL'dir.

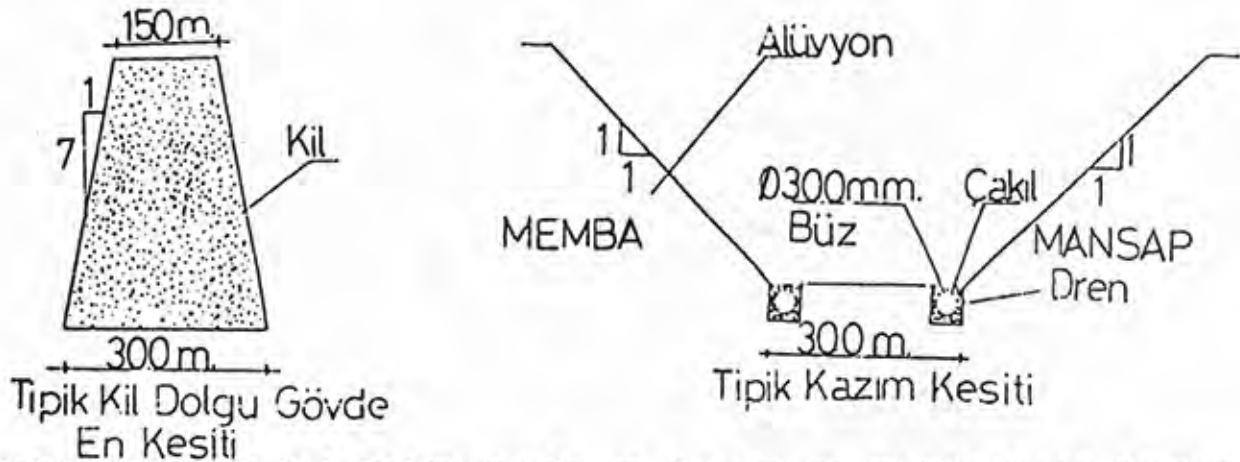
4.6.İnşaat

Yüzey alanı 12.1 km² olan alüvyon akiferde depolama amacıyla üç adet yeraltı barajı önerilmiştir. Bu barajların tümü kil dolgu olarak yapılacağından barajların inşasına Eylül ortasında başlanılmalıdır. Çünkü Eylül ortası kurak dönemin sonu olduğundan akiferde su seviyesi minimum olmaktadır. Bu da drenaj harcamalarını azaltarak, kolay ve hızlı bir inşaat programı sağlayacaktır. Önerilen yeraltı barajlarının gövde karakteristikleri Tablo-4'de verilmiştir.

Tablo-4:Yeraltı Barajları Gövde Karakteristikleri

Baraj No	Kret Uzunluğu (m)	Max. Derinlik (m)	Kil Dol. Hac.(m)
1	50.00	6.0	512.0
2	225.00	5.5	1812.0
3	300.00	5.5	2336.0

Kazım sırasında alüvyon için 1/1'lik, dolguda ise kil için 7/1'lik şev eğimleri kullanılacaktır. Tipik kil dolgu gövde en kesiti ve tipik kazım kesiti Şekil-6'da verilmiştir.



Şekil-6: Tipik Kil Dolgu Gövde En Kesiti ve Tipik Kazım Kesiti

Proje maliyeti KHGM'in 1991 yılı birim fiyatlarıyla üç baraj için 300 milyon lira olarak bulunmuştur. Mevcut 10 adet sığ kuyu ek olarak, 173500 m³/yıl olan emniyetli verim üzerinde çekim yapmak koşuluyla, yeni kuyular açılabilir.

SONUÇLAR

Özellikle kurak ve yarı kurak bölgelerde yeraltısuyu barajları, su ihtiyacının karşılanması ve yeraltısuyunun geliştirilmesi için ekonomik bir çözümdür. Yaklaşık dörtte üçü kurak ve yarı kurak iklim sınıflamasına giren Türkiye'de bu yapılar, büyük geliştirme projelerinde toplam yapım maliyetini azaltmak amacıyla da kullanılabilirler. Bununla beraber, yeraltısuyu barajları, evrensel uygulamalar olmayıp, ancak konvensiyonel tekniklerin uygulanmadığı veya yetersiz kaldığı bölgeler için alternatif çözümlerdir.

KAYNAKLAR

DSİ, 1972, "Ereğli - Bor Ovası Hidrojeolojik Etüd Raporu", 71 s., Ankara.

KHGM, 1988, Hizmet Haritası, Ankara.

Nilsson, A., 1988, "Groundwater Dams For Small Scale Water Supply", IT Publications, 69 p. London.

**KUYULARDA YERALTISUYUNUN
FİLTREYE GİRİŞ HIZI**

(ENTRANCE VELOCITY INTO WELL SCREEN)

Orhan DURLU*

ÖZ: Laboratuvar deneyleri, bir su kuyusunda sürtünme kayıpları, kabuklanma ve korozyonu azaltabilmek için yeraltısuyunun kuyuya giriş hızının 3 cm/san'den az olması gerektiğini göstermiştir. Bu sınırlama yalnızca kuyu filtresinin hidrolik özelliklerinden kaynaklanır ve() akiferin su verme özelliği için bir ölçü değildir. Bu nedenle bu hız özellikle fakir (zayıf) akiferlerde kritik hız olarak kullanılmaz.

Bu çalışmada, akiferlerdeki yeraltısuyunun kritik hız değerinden istifade ederek kuyulara kritik giriş hızı konusu incelenmiştir.

ABSTRACT: Laboratory tests prove that entrance velocity of groundwater into water-well, should be below the 3 cm/sec. limit in order to reduce friction loss, incrustation and corrosion. It must be known that this limitation is a hydraulic characteristic of the screen. It is not a measure of the yielding ability of the aquifer. For this reason, this velocity can not be used as critical velocity for poor aquifers.

In this study using critical groundwater velocity, critical entrance velocity into well is discussed.

KONU:

Kuyu projeleri hazırlanırken en önemli konulardan biri kullanılacak filtre uzunluğunu bilmektir. Kuyu açılırken alınan sediman örnekleri üzerinde

* Y.Müh. Uzman, İTÜ Maden Fakültesi, Jeoloji Müh. Bölümü, 80626-Maslak-İSTANBUL

yapılan elek analizleri sonucunda kullanılacak filtrenin yarık aralıkları tespit edilir. Bu bilgi ile çapı belli bir filtrenin üzerindeki yarık (açıklık) alanlarının toplamı imalatçı firmadan elde edilebilir. Bir filtrenin örneğin bir metresindeki açıklık alanı, yeraltısuyunun filtreye giriş hızı ile çarpılır ise o filtrenin bir metresinden alınabilecek su miktarı hesaplanır. Bu değer kuyudan alınması tasarlanan debi değerine bölündüğünde kullanılması gereken filtre uzunluğu bulunur. Uygulamada çok defa, yanlış bir tutum uygulanmakta, akifer cinsine bakılmaksızın, standart olarak 3 cm/sn'lik giriş hızı kullanılarak filtre uzunluğu tespit edilmeye çalışılmaktadır. Örneğin 1 m. filtre için açıklık alanı (yarık alanlarının toplamı) 578 cm² olan 6"lik bir filtreden, giriş hızı 3 cm/sn alınırsa, 1 m. filtreden 1.734 lt/sn. su alınabileceği bulunur. Bu çalışma, örneğin permeabilitesi çok düşük, bu nedenle sadece birkaç litre/saniye su beklenen ve kalınlığı 50-100 m. olan bir akiferde yapıldığı farzedilirse, kullanılacak toplam filtre uzunluğunun (50-100 m. kalınlığındaki bu akifer için) yaklaşık 1-2 m. olduğu hesaplanır. Bu çözümün geçersiz olduğu ortadadır.

YERALTISUYUNUN FİLTREYE GİRİŞ HIZI:

Yeraltısuyunun filtreye giriş hızı, yeraltısuyunun kritik (maksimum) hızı dikkate alınarak şöyle hesaplanabilir: (Şekil: 1).

$$\pi R_k \cdot \frac{\sqrt{k}}{15} \cdot h_k = \pi R n v_m h_f$$

$$\frac{\sqrt{k}}{15} : \text{Yeraltısuyu için maksimum hız (1)}$$

NOT: K=permeabilite (m/sn) ve v (m/sn) dir.

Bu hız akımın laminerden türbulansa dönuşdüğü ve akifer taneciklerinin sürüklenmeye başladığı hızdır (1).

K: Permeabilite

R_k: Kuyu delik çapı

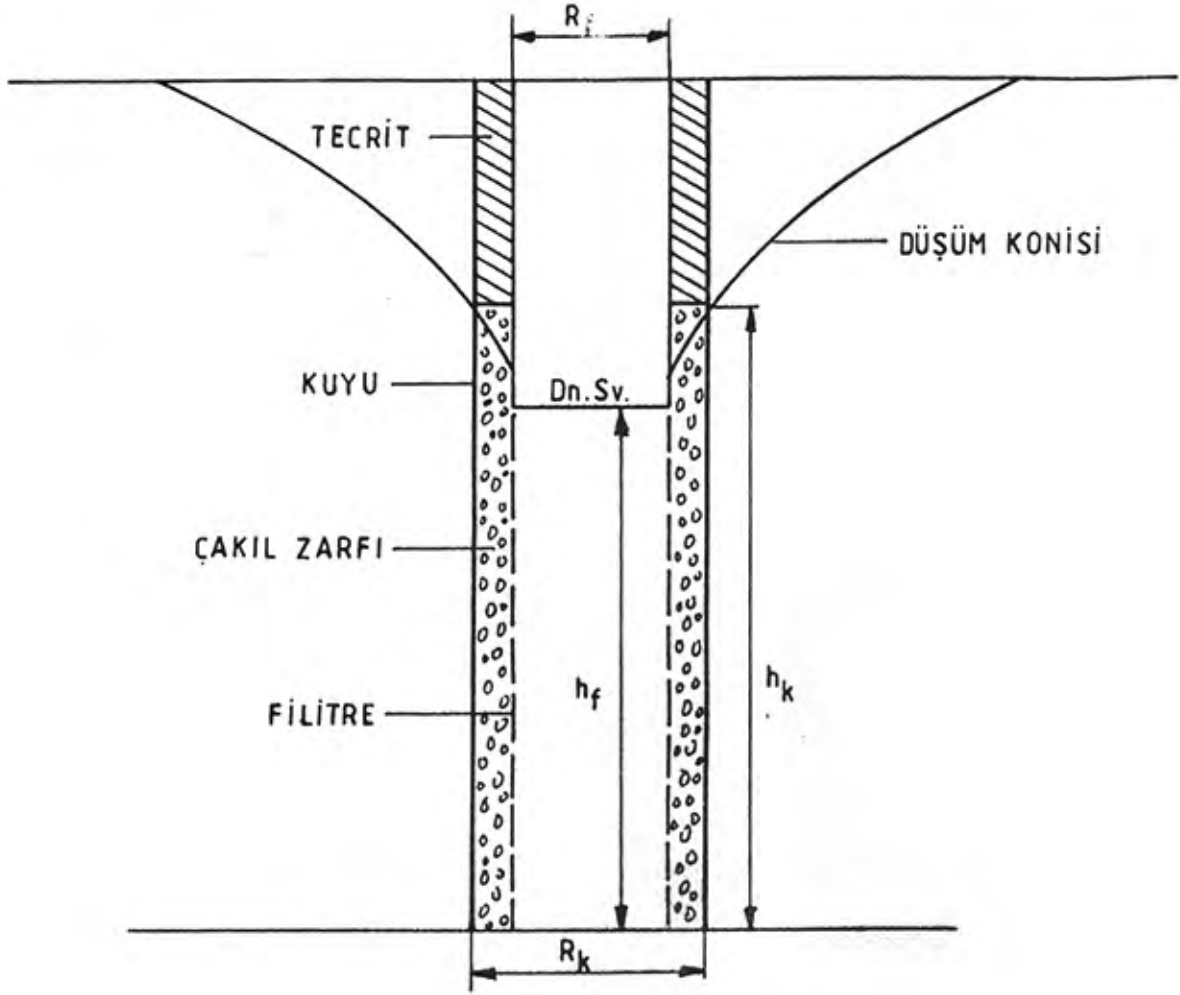
R: Filtre çapı

n: Filtre açıklık oranı = $\frac{\text{Filtredeki yarık alanlarının toplamı}}{\text{Filtrenin yanal alanı}}$

v_m: Filtreye giriş hızı (Akiferdeki kritik hıza tekabül eden)

h_k: Kuyudaki doygun kalınlık

h_f: Filtre uzunluğu



ŞEKİL.1

$$v_m = \frac{R_k}{R} \cdot \frac{\sqrt{k}}{15 n} \cdot \frac{h_k}{h_f} \dots\dots\dots(1)$$

bulunur.

Bir kuyunun kritik hıza göre projelendirilmesi çok risklidir. Ayrıca zamanla filtre çevresindeki akifer malzemesindeki muhtemel tıkanmalar nedeni ile akiferin permeabilitesinde (dolayısı ile kritik hızda) küçülme olabilir. Filtredeki tıkanma ise ayrıca açıklık alanının azalmasına ve filtreye giriş hızının kritik filtre hızını aşmasına neden olabilir. Bu nedenle kuyuların projelendirilmesi esnasında kullanılması planlanan yeraltısuyunun filtreye giriş hızı (v_p), v_m değerinden küçük seçilmelidir.

Bu çalışmada:

$$v_p = \frac{h_f}{h_k} \cdot v_m \text{ seçilerek } \left(\frac{h_f}{h_k} < 1 \right)$$

$$v_p = \frac{R_k}{R} \cdot \frac{\sqrt{k}}{15 n} \dots\dots\dots(2)$$

elde edilmiştir.

YAKLAŞIK FORMOL:

Bilindiği gibi genellikle kuyu ile filtre arasında çakıl zarfı bulunur ve çakıl zarfı ortalama 4 inç alınır.

$$R_k = R + 4 \text{ inç}$$

yazılabilir.

$$R = 6 \text{ inç } R_k = 10 \text{ inç } \text{ ve } \frac{R_k}{R} = 1.66$$

$$R = 8 \text{ inç } R_k = 12 \text{ inç } \text{ ve } " = 1.5$$

$$R = 10 \text{ inç } R_k = 14 \text{ inç } \text{ ve } " = 1.4$$

Bu değerler dikkate alınarak $\frac{R_k}{R} = 1.5$ alınmıştır.

- DSİ'de muhtelif tarihlerde kullanılan filtrelerde açıklık alanı ve açıklık yüzdeleri şöyledir (Tablo: 1).

TABLO: 1

ÇAP	AÇIKLIK ALANI (cm ²)	AÇIKLIK ORANI (%)
6 inç (B tipi)	578	11.5
6 inç (A tipi)	518	7.5
8 inç (B tipi)	945	13.5
10 inç (A tipi)	893	11
12 inç (B tipi)	1256	13.8

Son zamanlarda kullanılmaya başlanan PVC filtrelerinde ise açıklık oranı % 9-11 arasında değişmektedir.

Akiferin, aynı çaptaki küre şeklindeki taneciklerden teşekkül ettiği kabulü ile yapılan teorik çalışmada ise, akıma dik yöndeki açıklık oranı % 21.5'dir (kesitteki küreler arasındaki boşluk alanlarının toplam alana oranı)

Bu değerler dikkate alınarak ortalama açıklık oranı (n) % 10 ve $\frac{R_k}{R} = 1.5$ alınır ise (2) formülünden:

$$v_p = \sqrt{k} \text{ elde edilir.}$$

Bu durumda örneğin permeabilitesi $K = 10^{-4}$ m/sn (8.6 m/gün) olan bir akiferde filtreye giriş hızı:

$$v_p = \sqrt{k} = 10^{-2} \text{ m/sn} = 1 \text{ cm/sn alınabilir.}$$

Bu şartlarda literatürde filtreye maksimum giriş hızı olarak tanımlanan 3 cm/sn.'lik hıza; yaklaşık olarak permeabilitesi (K) (yukarıdaki formül kullanılarak)

$$0.03 = \sqrt{k} \quad k = 9 \times 10^{-4} \text{ cm/sn} = 78 \text{ m/gün}$$

olan akiferlerde raslanabileceği ortaya çıkar. Bu nedenle permeabilitesi 78 m/gün'den küçük akiferlerde bu hız (3 cm/sn) filtreye giriş hızı olarak kullanılmamalıdır.

Adı geçen hızın filtrede:

- a) Sürtünme kayıplarının ihmal edilir seviyede kalması,
- b) Kabuklanma ve korozyonun minimum olabilmesi için laboratuvar ve arazi deneyleri ile bulunan değer olduğu, akiferin su iletme kapasitesi ile ilgili olmadığı unutulmamalıdır (2).

Akiferin hidrolik katsayılarının bilinmediği durumlar da, homojen ve izotrop akiferler için, filtre uzunluğu akifer doygun kalınlığının 1/3'ü seçilebilir. Basıncılı akiferlerde bu oran % 70 - % 100 (ince akifer) olabilir.

Yukarda anlatılan yöntemle ve bu kriterlerle bulunan değerlerin karşılaştırılması da faydalı olur. Ayrıca filtrelerin kuyuda eşit aralıklarla yerleştirilmesi gerekir. Gereğinden az filtre kullanılması veya filtrelerin kuyunun belli bir kısmında yoğunlaştırılması yeraltısuyunun hızını artıracak gibi kısmi penetrasyon (eksik kuyu) problemine de neden olacağı ve debiyi düşüreceği unutulmamalıdır.

SONUÇ VE ÖNERİLER:

- a) Kuyularda kullanılacak filtre uzunluğunun tahmininde yararlanılan 3 cm/sn'lik giriş hızı, özellikle düşük permeabiliteli akiferlerde hatalı sonuç verir.
- b) Suni çakıllama yapılan dar çaplı kuyularda, filtreye giriş hızı tahmin edilirken $v_p = \sqrt{k}$ formülünden istifade edilebilir. Bu formülde K: permeabilite m/sn olarak alınmalıdır. Bu şartla, v_p de m/sn olarak bulunur.
- c) Geniş çaplı sondaj kuyularında ise

$$v_p = \frac{R_k}{R} \cdot \frac{\sqrt{k}}{15 n} \quad \text{formülü önerilir.}$$

KAYNAKLAR:

- (1) Castany, G., 1965; Yeraltısuyuları Hakkında Pratik Uygulamalar.Tercüme Karacadag, K., Şeber, A. DSI, Ankara.
- (2) Johnson INC, 1966; Groundwater and Wells Saint Paul, Minnesota, USA.

**KAYA MEKANİĞİ PROBLEMLERİNİN ÇÖZÜMÜNDE
MODEL MALZEMESİ TASARIMI VE ÜRETİLMESİ**

**DESIGN AND REPRODUCTION OF MODEL MATERIAL FOR THE SOLUTION OF
ROCK MECHANICS PROBLEMS**

Yılmaz MAHMUTOĞLU^{*}
Mahir VARDAR^{**}

ÖZ: Mühendislik projelerinin hesaba dayanır sayısal bilgiler üzerine kurulması zorunluluğu, mühendislik disiplini ve görgüsünün ilk şartıdır. Proje güvenliği açısından, oluşturulacak yapının temellendirileceği veya yerleştirileceği ortamla olan etkileşimini yeterince iyi bilmek ve sözkonusu etkileşimin lineer, homojen ve elastik sistemlerle olan ilişkisini ve farklılığını ortaya koymak esastır.

Yerkabuğu içinde ve/veya üzerinde inşaa edilecek yapının temelle olan uyumunu denemek ve sistemin performansını ortaya koymak, gözden kaçabilecek proje eksik ve hatalarını elimine etmek açısından önemlidir.

Bu nedenle farklı nitelikteki teknik yerkabuğu ortamları ve mühendislik yapılarının davranış modelleri prototip karakteristikleri dikkate alınarak laboratuvar şartlarına indirgenip denenmektedir.

Bu yazıda kaya ortamların davranışının araştırılması sırasında kullanılabilecek model malzemesi türleri ve bu tür malzemelerin özellikleri tartışılmaya çalışılmıştır.

ABSTRACT: *It is necessary that the engineering projects must be based on numerical informations. For the project safety, influence between rock in which engineering structures will be constructed and the structure itself have to be well defined .*

On the other hand relationship or difference of rock behaviour with linear, homogeneous and elastic system must be studied. It is important to eliminate the project defects and mistakes which can be missed. Therefore in rock mechanics as other disciplines, before application project, frequently scaled physical model tests are used to take out the behaviour of rock and rock structure.

For this reason, it is intended to determine the materials which are generally used in modelling tests of engineering media.

I- GİRİŞ:

Fiziksel model deneylerin inşaat ve teorik kaya mekaniği çalışmalarında önemli bir yeri vardır. Doğal ortamların davranış modelleri araştırılırken genellikle ölçekli model deneyler (Scaled Model Tests) yaygın olarak kullanılmaktadır.

^{*} Arş.Gör. İTÜ Maden Fak. , Uygulamalı Jeoloji Anabilim Dalı, İst.

^{**} Prof.Dr. İTÜ Maden Fak . , " " " " "

Modelleme teorisine göre ortamla ilgili fiziksel büyüklükler boyut analizi (Dimensional Analysis) kuralları yardımıyla laboratuvar şart ve boyutuna indirgenir.

Statik olarak, çeşitli yapılardaki yenilme deneyleri için yalnız elastisite modülü, maksimum basınç direnci ve çekme dirençleri arasındaki oranlara ihtiyaç vardır. Buna rağmen özellikle değişik esneklikteki temeller üzerine oturtulan yapılar için yenilme problemleri hiperstatik olarak ele alınmalıdır.

Benzer durumlarda malzemelerin tüm fiziko-mekanik özellikleri, krip dahil, gözönüne alınması gerekir. Böyle durumlarda, yalnız malzemenin fiziko-mekanik özelliklerini teorik olarak üretmekle kendimizi sınırlamamız iyi bir yol değildir. Fakat fiziksel unsurları mümkün olduğunca dikkate almaya çalışmalıyız. Örneğin çimentolanmış çakıltaşının kullanılacağı bir modellemede en uygun malzemenin konglomeranın kendisinin olacağı açıktır.

Malzemelerin detay incelemesi için bunları iki temel gruba ayırmak pratik açıdan kolaylık sağlar.

Birinci grup malzemeler elastik davranış sınırlarını taşmayacak şekilde planlanan modellemelerde, ikinci grup ise kırılmaya kadar ki davranış modellemelerinde kullanılır.

II- MODEL MALZEMESİ TÜRLERİ VE KARIŞIM ORANLARI:

II. 1- Elastik Sınırlar İçerisinde Kalan Model Deneylerde Kullanılan Malzemeler:

Elastik deformasyonla sınırlı model deneyler için uygun bir dizi malzeme bilinmektedir. Bunlar arasında önemli olanlar, selüloz, lastik, termo-plastik ve çeşitli reçineleri sıralayabiliriz.

Bu malzemeleri sınırlayan en önemli özellik bunların 0.35-0.48 arasında değişen poisson oranlarıdır. Bu ise betonunkinden iki kat daha fazladır. Bu durum üç boyutlu masif model deneylerin sonuçlarını önemli ölçüde değiştirmektedir.

Bir çok durumda kullanılacak malzemenin farklı kalınlıkta-ki tabaka veya tabaka gruplarını temsil etmesi gerekir. Bunun için oluşturulacak malzemelerin, prototip tabaka geometrisi dikkate alınarak hazırlanan kalıplara göre oluşturulması zorunludur. Bunlar daha sonra uygun bir bağlayıcı ile yapıştırılırlar. Bu grup içinde selüloz, akrilik, fenik ve polistiren reçineler sayılabilir. Diğer durumlarda polimerizasyonla sertleşmenin sağlanması şartıyla dökümle bu tip model malzemeleri hazırlanabilir. Bunlara örnek ise silikon ve epoksi (epoxy) reçinelerdir. İkinci grup malzemelerin çok daha yaygın olarak kullanıldığı literatürden anlaşılmaktadır. Hatta bunların avantajları aşağıdaki şekilde sıralanabilir.

i) Polimerizasyon ısısının sınırlı gelişmesi ki bu olay homojen sertleşmenin sağlanması açısından önemlidir. Model malzemesinin homojenliğinin esas alınması durumunda bu tip malzemelerin kullanılması uygundur.

ii) Fotoelastik modellerde ayrı bir önemi olan iç gerilmelerin azaltılması için bu malzemeler kullanılabilir.

iii) Sertleştirici miktarının değiştirilmesiyle malzemenin deformasyon özelliğini ayarlama imkanı vardır.

Özellikle düzlemsel modeller için birbirine yapıştırılmış plakalar tercih edilebilir. Böyle hallerde çatlakların kendiliğinden kapanması ve yapışması için selülozun yapışkan

özelliğinden faydalanılır. Hatta plakalar şeklindeki selülozun üst üste konulmasıyla meydana gelen süreksizlik düzlemleri arasına asetonun sürülmesiyle bunların yapışması ve bir presle sıkıştırılmasıyla da mukavim olmaları sağlanır.

Diğer taraftan perspeks (plexiglas) plakalar uygun yapıştırıcılarla yapıştırılarak sıkılmaları koşuluyla, nem ve sıcaklık değişimlerine karşı daha duray, ateşe karşı daha az hassas oluşları nedeniyle teorik açıdan selülozdan üstün bir model malzemesi olabilmektedir. Bununla beraber döküm reçineleri teknolojik hazırlama güçlükleri haricinde geniş bir kullanım alanı sağlar. Bunlar aynı zamanda karışım içerisinde homojen dağıtılmak koşuluyla inert (pasif) malzemeler içerebilirler. Pasif Malzeme olarak silis kumu, manyetit, demir, alüminyum, kurşun oksit, talaştozu, saçma ve polistiren parçacıkları, vb. kullanılabilir. Bu taneler karışım polimerizasyon ısısını azaltır, büzülme ve iç gerilme oluşumunu engeller (Fumagalli, 1973).

Bu tip dolgu malzemelerinin kullanılmasıyla karışım mekanik ve fiziksel özellikleri değiştirilebilir. Alüminyum tozu ilavesi termal iletkenliği arttırır ve genellikle model yüzeylerine yerleştirilen deformasyon ölçerlerin neden olduğu ısının homojen olarak dağılmasını sağlar. Çünkü reçine yüzeylerine yerleştirilen deformasyon ölçerlerden dolayı oluşan ısı sık sık yerel ısı artışına neden olur ve deformasyon okumalarında zorluklar ve hatalar oluşturur.

Uygun olan dolgu malzemesi (talaş, kum, polistiren) oranının arttırılması ile çelik ve betonun poisson oranını elde etmek mümkündür.

II. 2- Kırılmaya Kadar Yüklenen Model Deneylerde Kullanılan Model Deney Malzemeleri:

Model malzemelerinin bir diğer türü uygun oranlardaki katkılar veya agregalarla çimento v.b. bağlayıcılardan yapılan harçlardır.

Bağlayıcı olarak çimento, alçı, kireç ve sentetik reçineler, dolgu veya agrega olarakta kum, pomzataşı, manyetit, barit, kurşun saçma, kurşun oksit, talaş ve polistiren kullanılabilir.

Aynı zamanda bentonit ve diatomit gibi doğal veya endüstriyel katkıları ilave ederek harcın plastiklik ve şekillendirilebilme özelliğini arttırabiliriz.

Bu grup malzemeler aynı zamanda elastik durum modellemesi için seçilen malzemeleri de içine alır. Karışım oranlarının uygun seçimiyle kırılmaya kadarki gerilme-deformasyon eğrisinden elde edilen maksimum basınç ve çekme dirençleri ve elastisite modülü arasında basit ilişkiler kurulabilir.

Teknik ve pratik açıdan birçok fayda sağlayacağı düşünülerek, bu tip deneylerde kullanılabilecek malzeme karışım oranları ve özellikleri aşağıda tariflenmeye çalışılmıştır.

II.2.1 - Mikro Beton

Malzeme ölçeği (m) bir olan modeller teorik olarak prototip malzemesinin aynısı olmaktadır.

Pratikte daha küçük malzeme ölçeğindeki modeller üzerinde çalışıldığından, modelin geometrik benzerlikten dolayı daha ince ve küçük boyutlara sahip olması sonucu malzeme üretiminde kullanılacak agrega boyutunun da daha küçük olması gerekmektedir.

Çimentoyla bağlanan özgül yüzeyin artması, çimento ve su oranlarındaki artmayı zorunlu kılar. Bunun sonucu olarak normal bir betonunki ile karşılaştırıldığı zaman 2-3 kez daha fazla büzülme olur. Bu durum daha yüksek iç kuvvete sahip yapısal elemanların oluşturulmasında önem kazanır.

Model malzemesinin üretiminde kullanılacak mikro - betonda agrega olarak kullanılacak tanelerin maximum boyutu (D_{max}) 'in seçiminde, normalde D_{max} 'ın 4 katı olan deformasyon ölçer ölçme uzunluğu ve yapısal unsurların boyutları dikkate alınmaktadır.

Dökümlerin ideal kompaksiyonunu sağlamak için kullanılacak agreganın kübik derecelenmesi önerilmektedir.

$$\% P = A - (100-A) \sqrt{\frac{d}{D_{max}}} \quad (1)$$

Burada A değeri 15-20 arasında değişir. Bu değer iyi sınırlanmış normal bir beton için 8-12 arasındadır.

Aynı zamanda plastikleştirici malzeme ilavesi ve vibratör kullanımı kompaksiyon ve işlenebilirlik açısından gereklidir. Deneyin dökümden minimum 28 gün sonra başlatılması gerekmektedir. Çünkü beton özelliklerinin % 85-90'ını ancak bu süre içerisinde kazanabilir. Deneyler süresince kontrol testleri zamana bağlı özelliklerdeki ufak değişimleri kalibre etmek açısından önemlidir.

Çoğu durumlarda E/η_{uc} oranının kesin olarak elde edilmesi ve/veya ayarlanması için en uygun karışım seçimi sırasında çimento oranları basitçe değiştirilerek yapılan üçlü karışım serilerinin hazırlanması önerilir. Sistemin gövde kuvvetlerini arttırmak için yoğunluğu fazla olan demir ve manyetit kumları agrega olarak kullanılır. Ulaşılabilecek maksimum karışım yoğunluğu agrega olarak kurşun kullanımıyla elde edilir. Bu durumda model malzemesinin yoğunluğu $4.5-5 \text{ ton/m}^3$ olabilmektedir. Ayrıca bu tür agrega kullanımı sırasında malzemenin mekanik davranışının ne olacağı da gözden ırak tutulmamalıdır.

II.2.2 -Diatomit ve Alçıya Dayalı Karışımlar

Değişen miktarlarda diatomit içeren su ve alçı karışımları özellikle elastik durum modellemelerinde geniş

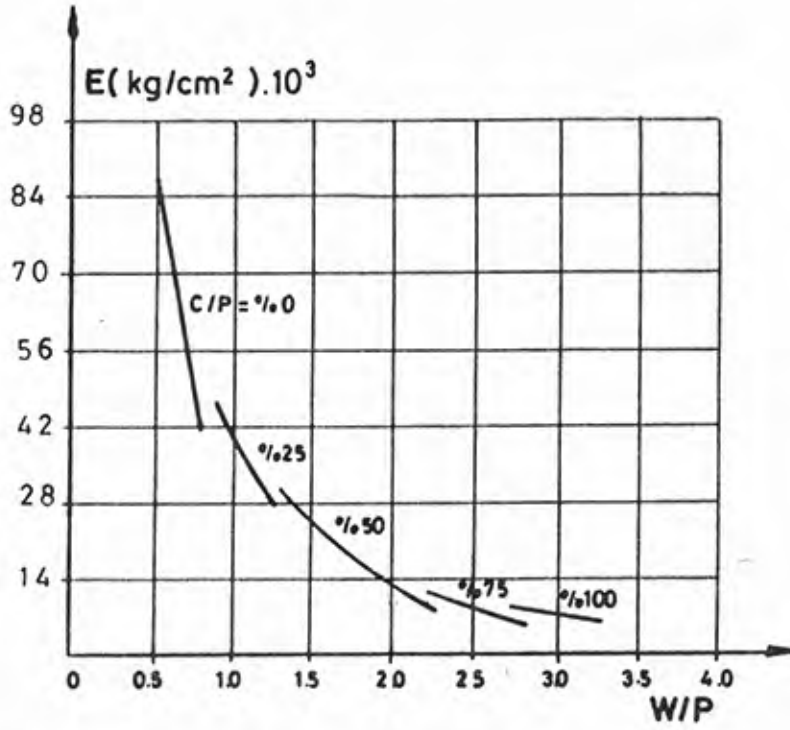
bir kullanım alanına sahiptir. Reçinelerle karşılaştırıldıklarında; $(5-100.10^3 \text{ kg/cm}^2)$ 'lik elastisite modülü, beton ve kayanınkine yakın poisson oranına sahip karışımların hazırlanabilmesi, açısından bu tip malzemelerin daha geniş kullanım imkanı sağladıkları bilinmektedir.

Alçının sertleşmesi $\text{CaSO}_4^{1/2} \text{H}_2\text{O}$ (hemihidrat)'ın su alarak $\text{CaSO}_4.2\text{H}_2\text{O}$ (bihidrat)'a dönüşmesi sonucu ortaya çıkar. Normal olarak bu olay karıştırma işlemi sırasında su içerisinde alçının dağılması sonucu gerçekleşir. Donma süresinin arttırılması ve gerekli su oranının aşılması durumunda sertleşmeden sonraki karışımın mekanik özellikleri önemli ölçüde azalır. Bunun sonucu belirli bir sınır değerini aşan su ilavesi bileşenler arasında dağılmalara neden olmaktadır. Böyle durumlarda karışıma diatomit ilavesi gerekir. Diatomit fosil bir iskelete sahip, yumuşak ve poroz olduğundan büyük bir özgül yüzey $(1.5.10^7 \text{ cm}^2/\text{kg})$ 'e sahiptir. Bu nedenle agrega yerine karışıma ilave edildiğinde suyu emer ve oluşturulacak malzemenin mekanik özelliklerinin ayarlanmasına imkan tanır.

Alçı karışımları karışıma giren malzeme oranları, karıştırma ve donma süresi gibi bir çok faktöre bağlı olarak değişik sertlikte model malzemesinin hazırlanabilmesini sağlar. Bu aslında su/alçı oranı (W/P) ile ayarlanır. Düşük W/P oranlarındaki karışımlar için bazen donma süresini arttıran yavaşlatıcılar kullanılır. Bu konuda ayrıntılı bilgi için Raphael (1968)'e bakınız.

Şekil: 1'deki grafikten de görüleceği gibi değişik karışımlardaki W/P oranı 0.5 - 0.8 arasında değişirken elastisite modülü $(100-50 .10^3 \text{ kg/cm}^2)$ arasında değişmektedir.

Alçıya oranla alçıya % 25, 50, 75 ve 100 diatomit ilavesiyle, W/P oranı 0.9-3.3 arasında değiştirilerek elastisite modülü 8000 kg/cm^2 'ye kadar düşürülebilir.



Şekil: 1- Su -Alçı Oranının Elastisite Modülüne Etkisi (Fumagalli, 1973).

II. 3- Çimento Harcı ve Pomzataşı:

Pomza içeren harçlar, geleneksel agregalar içeren mikrobetona karşılık gelmektedir. Yalnız bu karışımlarda agrega türü değişmektedir. Pomzataşı, Porozitesinin yüksek olması nedeniyle mekanik özellikleri daha düşük olan model malzemesi üretimine elverişli bir agrega niteliğindedir. Böylece benzetim parametrelerine dayanılarak 3-15 arasında değişen malzeme ölçeği (m) elde edilebilir. Pomza ve çimento içeren karışımlarla elastisite modülü ($10-100 \cdot 10^3 \text{ kg/cm}^2$) arasında değişen model malzemesi üretmek mümkündür.

Karışım içindeki iyi derecelenmiş silis kumlarının oranlarını belirli ölçüde arttırarak malzeme ölçeği 3 ila 1 olacak şekilde ayarlanabilir.

Aşağıda daha önce hazırlanarak denenmiş bazı karışımlarla ilgili teknik bilgiler verilmiştir.

Tablo : 1- A Tipi karışımın özellikleri

Bileşim	100 litre liparitik pomza parçacıkları (3-7 mm), 300 kg, kireç taşı tozu (300-1000 mesh/cm ²) 20 kg, diatomit, 3 kg. bentonit		
Oranlar sırasıyla	A ₁	A ₂	A ₃
Portland çimento(kg)	100	150	200
Su (kg)	140	160	180
W/P	1.4	1.1	0.9

Tablo : 2- B Tipi karışımın özellikleri

	100 litre Latium pomza (2-4 mm) 300 kg. kireç taşı (300-100 mesh/cm ²) 15 kg. diatomit, 2 kg. bentonit		
Oranlar sırasıyla	B ₁	B ₂	B ₃
Portland çimento(kg)	80	120	160
Su (kg)	88	120	144
W/P	1.1	1	0.9

Latium pomza tuf yapısında silisli bir volkanik kayaç olup yüksek porozite düşük basınç direncine sahiptir. Liparitik pomza ise saf silisli volkanik bir kayaç niteliğindedir.

Latium pomza, kil, obsidyen, pirit ve sülfür gibi istenmeyen malzemeler içerebilir. Bu nedenle ki kullanılmadan önce yıkanarak temizlenmesi gerekmektedir.

Yukarıda tanıtılan karışımlar normal betonun özelliklerini üretmek için kullanılır.

Literatürde bir takım ampirik denklemler yardımı ile çimento oranlarıyla kırılma direnci ve elastisite modülü arasında bazı bağıntılar üretilmiştir (Şekil: 2).

Her karışım için malzemelerin özelliklerinin aşıldığı bir çimento miktarı ($q_{\max}$) vardır. Bu çimento oranından sonra $E_{\max}$ ve $\sigma_{uc \max}$ değerleri önemli ölçüde değiştirilemez.

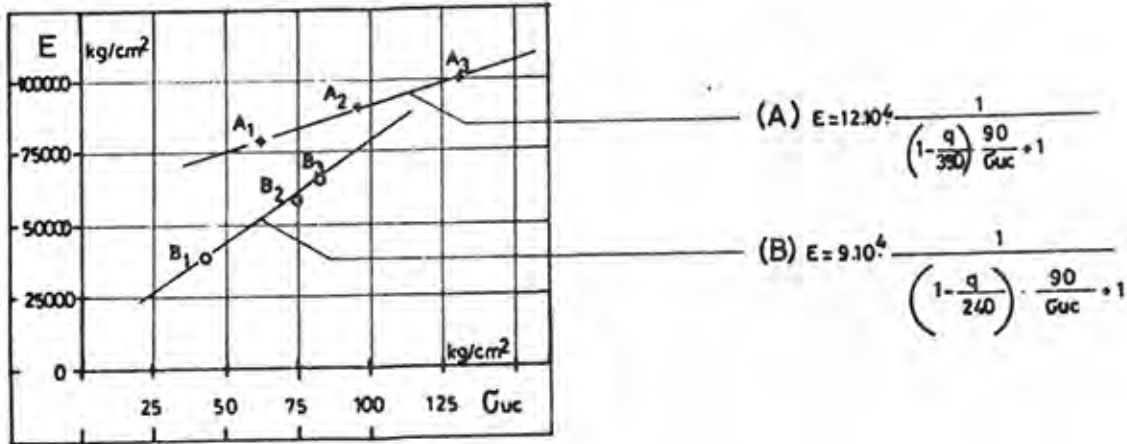
Şimdi bunlar arasındaki boyutsuz oranları tanımlarsak ;

$$V = \frac{E}{E_{\max}} \quad G = \frac{\sigma_{uc}}{\sigma_{uc \max}} \quad Q = \frac{q}{q_{\max}} \quad (2)$$

çimento oranının bir fonksiyonu olarak mekanik özelliklerin değişimini ampirik olarak ifade etme imkanı doğar;

$$V \left(\frac{1-Q}{\theta G} - 1 \right) = 1 \quad (3)$$

Buradaki θ malzeme karakteristiği ile ilgili bir sabittir.



Şekil 2- Çimento oranının bir fonksiyonu olarak elastisite modülü ve basınç direncinin değişim grafiği,

Yukarıdaki eşitlikler dikkate alınarak E modülünün hesabı aşağıdaki şekile sokulabilir ;

$$E = E_{\max} \cdot \frac{1}{\left(1-Q\right) \frac{\sigma_o}{\sigma_{uc}} - 1} \quad (4)$$

σ_o omza karışımları için 20-90 kg/cm², normal betonlar için 200-300 kg/cm² arasında değişir.

m. Ölçeğinin aşağıda verilen aralıkları için bu karışımların tüm modelleme alanlarında kullanımı mümkün olmaktadır.

A tipi karışım için $2.5 < m < 4$

B tipi karışım için $4 < m < 9$

Burada şu netice ortaya çıkmaktadır. Büyük ölçekli modelleme çalışmaları için A karışımı, daha küçük ölçekli çalışmalar için ise B tipi karışımı kullanılmalıdır.

1988 yılında İstanbul grovaklarının gevşemeye bağlı dayanım azalmalarını saptamak amacıyla laboratuvarda üretilen model malzemesinin özellikleri aşağıda verilmiştir.

Model malzemesi karışım bileşenleri ağırlıkça (%) olarak:

Pomza agregası (< 2 mm.)	: %60
Kireçtozu	: %30
Çimento (PÇ 325)	: %10
Su/çimento	: 2

Üretilen malzemenin teknik özelliklerini tam kazanabilmesi için 28 gün bekletilmiş sonuçta laboratuvarda yapılan deneyler sonucunda basınç direncinin 43-50 kg/cm² ve yoğunluğunun 1.7 gr/cm³ olduğu saptanmıştır.

YARARLANILAN KAYNAKLAR:

- BARTON, N.R., (1970), A low Strength Material of the Mechanical Properties of Intact Rock in Rock Mechanics Models, Proceedings of the Second Congress of the I.S.R.M., Beograd.
- CLARC, G.B., (1982), Geotechnical Centrifuges for Model Studies and Physical Property testing of Rock and Rock Structures; Colorado School of Mines.
- FUMAGALLI, E., (1974), The Significance of Model Testing in Problems of Foundations and Slopes; Ismes, Bergamo, Italy.

- FUMAGALLI, E., (1973), Statical and Geotechnical Models; Springer-Verlag, New York.
- FUMAGALLI, E., (1968), Model Simulation of Rock Mechanics Problems, Rock Mechanic in Engineering Practice; John Wiley and Sons, London.
- LANGHAAR, H.L., (1951), Dimentional Analysis and Theory of Models; John Wiley and Sons, London,
- MAHMUTOĞLU, Y., (1988), Çatlaklı Kayanın Sekonder Gevşemeye Bağlı Dayanımındaki Azalmanın Arazi ve Laboratuvar Çalışmalarıyla Araştırılması, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Master Tezi.
- MAHMUTOĞLU, Y., (1991), Çatlaklı Kayanın Alansal Gevşemeye Bağlı Dayanım Azalması, Müh.Jeol.Bül. Sayı: 12.

**ALKALİ KARBONAT REAKSİYONUNUN GELİŞİM MEKANİZMASI
VE
NEDENLERİ**

**MECHANISM AND REASONS OF ALKALI CARBONATE
REACTION**

Mustafa ERDOĞAN^{*}

ÖZ: Portland çimentosunun bileşimindeki alkaliler ile karbonat kökenli agregaların kimyasal tepkimesi sonucu, beton içinde karbonat jelleri oluşmaktadır. Reaksiyon ürünü olan bu jeller, su içeriğinin yükselişiyle orantılı olarak zamanla betonda içsel gerilme artışına neden olmaktadır. Söz konusu bu reaksiyonların beton üzerindeki olumsuz etkileri, yapıyı çevreleyen fiziksel koşullarla ilişkili olarak bazen uzun, bazanda kısa sürede açığa çıkmaktadır. Betonda çatlama, dökülme ve direnç azalması gibi olumsuz sonuçlara yol açan bu tepkimenin, özellikle, ince kristalli ve yüksek poroziteli dolomit agregalarında daha hızlı geliştiği belirlenmiştir.

Bu yazıda, alkali karbonat reaksiyonunun gelişim mekanizması üzerinde durulmuş, agreganın kimyasal, fiziksel, mineralojik ve petrografik özellikleri ile reaksiyon hızının artışını denetleyen diğer etmenler arasındaki ilişkiler açıklanmaya çalışılmıştır.

ABSTRACT: As a result of chemical reaction between alkali and carbonate originated aggregates that are found in the composition of portland cement, carbonate jellies occurs in concrete. The reaction products, jellies, cause increase of internal stress in concrete by increase of water content and time.

The negative effects of this reaction exist in concrete by surrounding physical conditions sometimes in short and sometimes in long time. The reaction especially happens rapidly with high porous and fine crystallized dolomites which causes negative results such as cracking, breaking and decrease of strength in concrete.

This paper examines the mechanism alkali-carbonate reaction. the relationship between chemical, physical, mineralogical and petrographical properties of aggregate and other effects that control the rate of reaction.

I- GİRİŞ:

Çimento içeriğinde yer alan sodyum ve potasyum gibi alkaliler ile karbonat bileşimli agregalar arasında zamanla gelişen kimyasal tepkimeler sonucu betonun parçalanmasına neden olan ge-

^{*} Y.Doç.Dr.- İTÜ aden Fak. Jeoloji Müh. Bölümü, 80626-Maslak-İSTANBUL

lişme alkali-karbonat reaksiyonu olarak bilinmektedir. Alkali-karbonat reaksiyonu, daha çok CaCO_3 bileşimli kalsit ile $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ bileşimli dolomit mineralleri ve bu minerallerden oluşan kayaçlar arasında gözlenmektedir. Bu nedenle, alkali-karbonat reaksiyonundan söz edildiğinde, alkali-kalsit ve alkali-dolomit reaksiyonları anlaşılmaktadır. Bu reaksiyonun başlama ve gelişimine ilişkin olarak yürütülen araştırmalar, alkali-karbonat reaksiyonunun her kalsit ya da dolomit bileşimli kayaçlarda oluşmadığını ortaya koymuştur. Alkali-karbonat reaksiyonunun gelişimi ve betondaki olumsuzlukların kendini göstermesi, yapının içinde bulunduğu fiziksel koşullara bağlı olarak, bazan altmış yıl gibi uzun bir zaman dilimine yayılmaktadır. Bu nedenlerden dolayı, kullanılması düşünülen karbonatlı agregaların potansiyel yönden reaksiyona yatkın olup olmadıklarının kullanım öncesinde araştırılmalıdır.

Bu yazıda, reaksiyonun gelişim mekanizması üzerinde durulmuş ve reaksiyonu denetleyen faktörler açıklanmaya çalışılmıştır.

2- ALKALİ-KARBONAT REAKSİYONU:

Yukarıda da değinildiği gibi bu yazıda alkali-karbonat reaksiyonu, alkali dolomit ve alkali-kalsit reaksiyonu olmak üzere iki ayrı bölümde incelenmiştir.

2. 1- Alkali-Dolomit Reaksiyonu:

Çimentodan kaynaklanan alkaliler ile agreganın kimyasal tepkimesi sonucu dolomitin bileşimi değişikliğe uğradığı için, bu reaksiyon dedolomitizasyon reaksiyon olarakta bilinmektedir. Bu tepkime, aşağıda belirtildiği şekilde gelişmekte ve reaksiyona neden olan alkali hidroksit (NaOH , KOH)'in türü çimento üretiminde yararlanılan hammaddeye bağlı olarak değişmektedir.

Agrega (dolomit) + hidrolik bağlayıcı (çimento) + su şeklindeki beton karışımında, alkali-dolomit reaksiyonu üç aşamada gelişmekte

ve reaksiyon sırasında brusit ($Mg(OH)_2$) ile bir tür alkali çift tuz olan geylusit ($Na_2Ca(CO_3)_2 \cdot 5H_2O$) açığa çıkmaktadır.

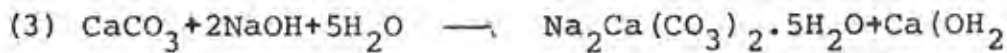


1 No'lu tepkime, atmosfere açık ve suya karşı korunmamış ortamlarda başlamaktadır.

Ortamda yeteri kadar suyun bulunmaması durumunda, çimento alkalisi ile dolomit agregası arasında 2 No'lu tepkime söz konusu olmaktadır.



2 No'lu eşitlikten de görüleceği gibi, su azlığı nedeniyle alkali çift (Geylusit) tuz bu tepkimede oluşmamıştır. Yapının çevrelendiği koşullarda suyun artması durumunda, 2 No'lu reaksiyonun sağ tarafında yer alan Na_2CO_3 bileşeni, düşük sıcaklıkta yeniden reaksiyon sıvısı içinde çözülerek Na^+ ve CO_3^{--} iyonları açığa çıkmaktadır. Böylece açıkta kalan Na^+ iyonu, sudan gelen OH^- iyonu ile birleşerek $NaOH$ 'ti yeniden oluşturmakta ve yeni oluşan $NaOH$, 3 No'lu tepkimeden de görüleceği üzere, 2 No'lu eşitliğin sağ tarafında yer alan $CaCO_3$ 'ti reakte etmektedir.

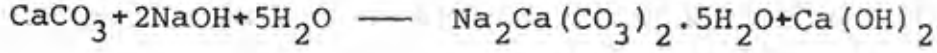


Böylece, nemli ortamda 2 ve 3 No'lu tepkimelerin zincirleme olarak bir birlerini izlemeleri sonucu, çift tuzlar açığa çıkmaktadır.

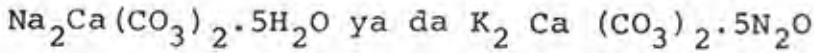
Betonun prizini (katılaşmasını) tamamlamasını izleyen süreç içinde bu reaksiyonlar sonucu oluşan brusit ($Mg(OH)_2$) ve geylusit ($Na_2Ca(CO_3)_2 \cdot 5H_2O$)'in hacmi, reaksiyona katılan maddelerin hacminden daha büyüktür. Diğer bir ifade ile çimento agregası arasında gelişen yukarıdaki reaksiyonlar sonrası açığa çıkan reaksiyon ürünlerinin oluşturduğu hacim artışı ve buna bağlı oluşan içsel gerilmelerin ulaştığı düzey, bazan beton direncini aşmaktadır.

2. 2- Alkali-Kalsit Reaksiyonu:

Yapılan araştırmalarda kalsitin de çimento alkalileriyle reaksiyona girdiği belirlenmiştir. Söz konusu bu reaksiyon, aşağıda belirtilen şekilde gelişmektedir.



Bu eşitlik gereği, kalsit alkali hidroksitler tarafından reaksiyona edilmekte ve tepkime sonucu alkali hidroksitin türüne (NaOH veya KOH) göre



çift tuzlar oluşmaktadır. Dedolomitizasyon reaksiyonunda olduğu gibi, oluşan alkali çift tuzların hacim artışları betonu etkilemektedir. Dedolomitizasyon reaksiyonundan farklı olarak, reaksiyonun zincirleme devamı için gereken Ca^{++} iyonunun önemli bir kısmı, reaksiyonun sağ tarafında görülen $\text{Ca}(\text{OH})_2$ tarafından tutulmakta ve çift tuz oluşumu nedeniyle reaksiyonun zincirleme devamı için gereken alkali hidroksit (NaOH, KOH) açığa çıkamamaktadır. Böylece reaksiyon, iyon dengelenmesi sonucu durmaktadır. Buradan da anlaşılacağı gibi, kuramsal olarak alkali-kalsit reaksiyonunun gelişme olasılığına karşın, oluşan tepkimenin beton açısından bir tehlikesi söz konusu olmamaktadır.

3- ALKALİ-KARBONAT TEPKİMESİNİ ETKİLEYEN NEDENLER:

a) Mineral boyutu:

Reaksiyonun hızının azalan kristal boyutu ile doğru orantılı olduğu belirlenmiştir. Kristal boyutu küçük ve kenetlenme derecesi zayıf olan kayalarda, alkali hidroksit çözeltisi, kristaller arasında kolayca dolaşarak reaksiyonu arttırmaktadır. Deneyler, kristal boyutunun 50 μ 'dan daha küçük olması durumunda reaksiyonun hızlandığını göstermiştir.

b) Dolomit İçindeki Kalsit Oranı:

Dolomit içinde yer alan kalsit kristallerinin dilinim düzlemleri boyunca reaksiyon sıvısı kolay dolaşmakta ve bu nedenle reaksiyon hızla seyretmektedir. Araştırmalarda, en yüksek reaksiyon hızının, % 55 dolomit ve % 45 kalsit oranında gerçekleştiği llmştr. Ayrıca reaksiyon sonunda brusit'in ortaya çıkması, bir bakıma Mg^{++} 'u reaksiyon ortamından çekmekte ve yerine aynı oranda $CaCO_3$ girmektedir. Alkalen zelti ile $CaCO_3$ arasındaki reaksiyon Na_2CO_3 oluşumunu sağladığından ve Na_2CO_3 düşük sıcaklıkta parçalanarak ortama, reaksiyonunun zincirleme devamı için OH^- ile birleşmeye hazır Na^+ iyonu verdiğinden, kalsit kristalleri dedolomitizasyonu sürekli kılmaktadır.

c) Agreganın Fiziksel zellikleri:

Porozitesi ve dolayısı ile su emme oranı yüksek olan agregalarda reaksiyon daha hızlı gelişmektedir. En tehlikeli reaksiyonun, porozitesi % 8'den daha yüksek olan dolomitlerde geliştiği deneylerle saptanmıştır.

d) Kaya içinde bulunan rezidüel gerilmelerin agrega üretimi sırasında büyük oranda açığa çıkmasına karşın, dedolomitizasyonu etkilediği belirlenmiştir.

e) atlak dolgu malzemesinin türü:

Gerek ikincil süreksizlik dolgularının ve gerekse matriks içinde yer alan kil minerallerinin türü, şişme reaksiyonunu arttırmaktadır.

f) Ortam nemı:

Yapının bulunduğu ortamın nemli olması durumunda reaksiyon hızlanmaktadır.

g) Ortamın PH'ı:

Dedolomitizasyon reaksiyonu bazik ortamda daha hızlı seyretmektedir.

h) Ortam sıcaklığı:

Ortam sıcaklığının yükselmesi durumunda, Na_2CO_3 kolayca parçalanmakta ve alkaliler çözeltiye geçerek reaksiyon için gereken alkali hidroksit oluşumunu sağlamaktadır.

ı) Alkali hidroksitin türü:

Alkali türünün Na^+ olması halinde reaksiyon daha hızlı gelişmektedir.

Alkalen çözelti KOH'ten oluşuyorsa reaksiyonun devamı için düzenli bir ısı gerekmektedir. Bu nedenle NaOH, dolomiti, KOH'e göre daha hızlı reakte etmektedir.

4- SONUÇ VE ÖNLEMLER:

- o Kalsit minerallerinden oluşan agregalarda, alkali karbonat reaksiyonu kısa sürede iyon dengesine ulaştığı için beton-
da her hangi bir tahribat oluşmamaktadır. Dolomit içinde
yer alan kalsit kristallerinin oranı, reaksiyon sıvısının
dilinin düzlemleri boyunca hareketini kolaylaştırdığı için
daha da önem kazanmaktadır.
- o Alkali-dolomit reaksiyonunun beton üzerindeki tahribatının
ve tehlikesinin kanıtlanmasına karşın, doğada rastlanan her
dolomitik kayada bu reaksiyonun eş düzeyde seyretmediği
saptanmıştır. Deneyler, tane ya da kristal boyutu 50 μ 'dan
daha küçük ve porozitesi % 8'in üzerinde olan dolomit ag-
regalarında reaksiyon gelişim hızının yüksek olduğunu
göstermektedir.

- o Alkali-karbonat reaksiyonu ortamın nemine, sıcaklığına ve PH değerine göre hızlı ya da yavaş seyretmektedir. Kuru ortamda reaksiyon durmaktadır.
- o NaOH'in her sıcaklıkta gelişmesi ve reaksiyona katılması nedeniyle, KOH'ten daha tehlikeli olduğu görülmüştür.
- o Dolomitik kayaç agregalarının reaktiviteye yatkınlıkları kimyasal ve petrografik testlerle önceden belirlenmelidir.
- o Reaktif kayaç agregalarının, alkali oranı düşük çimentolarla kullanılması riski ortadan kaldırmaktadır.
- o Reaktif agregaların, reaktif olmayan agregalarla seyreltilmesi sakıncayı gidermektedir.
- o Agregat boyutlarının iri tutulması yararlı olmaktadır.
- o Yapı temelinin suya karşı yalıtılması reaksiyonu durdurmaktadır.

KAYNAKLAR:

- LEMISH, J., MOORE, W.J., (1964), "Carbonate Aggregate Reaction", Symposium on Alkali Carbonate Rock, Washington.
- MANTUANI, L.D., . (1964), "Expansion of Guil River Carbonate Rocks In Sodium Hydroxide" Symposium on Alkali Carbonate Rock, Washington.
- SWENSON, E.G., (1964), "Alkali Carbonate Rock Reaction", Symposium on Alkali Carbonate Rock, Washington.
- ERDOĞAN, M., (1976), "İstinye Kalker Ocaklarının Mühendislik Jeolojisi ve Ekonomik Analizi", MMLS Tezi, İstanbul.
- ROUX, A., (1991), "Methodes Petrographique d'Etude de L'Alcali-Reaction". Bulletin de Geology de L'Ingenieur.

ABSTRACT

In this study, for engineering purposes several relationships relating strengths (compressive and tensile) to physical characteristics (porosity, density) of sandstones were derived by means of regression analysis. The statistical analysis reveals that the accuracy of correlation between compressive strength and porosity-density can be improved by the combined use of porosity and density of rock material. The combined method (Eq.5) gave in fairly good estimation for the strength of sandstones in question.

1. GİRİŞ

1960'lı yıllarda kaya mekaniği disiplininde çalışan araştırmacıların büyük ilgisini çeken konuların başında kayaçların içsel yapısıyla sıkı bir ilintisi olan " porozite - yoğunluk " gibi fiziksel büyüklüklerin mekanik dayanımları (basınç, çekme, vb.) nasıl etkilediği konusu gelmekteydi. Bu çalışmalarda saptanan sonuçlar ise genellikle grafiksel anlatım biçimi ile verilmekteydi. [1,2] . 1970'li yıllarda regresyon matematiğinin kaya mekaniğinde yoğun bir şekilde kullanımı [3,4] sonucunda kayaçların fiziksel büyüklüklerinin " dayanımlar"ı nasıl ve hangi yönde etkilediği çok daha kapsamlı ve nümerik şekilde açıklanmaya başlandı. Bu gün halen ilgili literatürde sözü geçen konuda akademik ilginin canlı bir biçimde devam ettiği bir gerçektir. [5,6,7,8]

Bu çalışmada çeşitli kaynaklarda [1,9,10,11,12,13,14,15,16,17] kumtaşlarına ilişkin olarak rapor edilen porozite, yoğunluk, basınç ve çekme dayanımları kullanılarak regresyon matematiği ile anılan büyüklükler arasında istatistiksel bağıntılar çıkartılmıştır. Böylelikle, kayacın temel fiziksel büyüklükleri olan porozite - yoğunluk gibi faktörlerin mekanik dayanımları nasıl etkilediği nümerik

KUMTAŞLARINDA "POROZİTE-YOĞUNLUK-BASINÇ ÇEKME
DAYANIMLARI" ARASINDA ÇIKARILAN İSTATİSTİKSEL BAĞINTILAR

FOR SANDSTONES DETERMINATION OF STATISTICAL
RELATIONSHIPS BETWEEN STRENGTH (COMPRESSIVE-TENSILE) AND
POROSITY-DENSITY

Ergin ARIÖĞLU (*)
Nuray TOKGÖZ (* *)

ÖZ:

Bu çalışmada, kumtaşlarının fiziksel büyüklükleri (porozite-yoğunluk) ile mekanik dayanımlarına (basınç-çekme) ilişkin muhtelif bağıntılar, regresyon analizi ile çıkartılmıştır. İstatistiksel analizler, basınç dayanımı ile porozite-yoğunluk arasındaki korelasyonun preizyon ederecesinin, kayaçların porozite ve yoğunluğunun birleştirilerek kullanımıyla iyileştirilebildiğini ortaya koymuştur. Birleştirilmiş yöntem, (eşitlik-5) söz konusu kumtaşları dayanımı için oldukça iyi bir kestirim gücüne sahiptir.

(*) Prof.Dr.Müh.İ.T.Ü.Maden Mühendisliği Bölümü, Maslak, İstanbul

(* *)
Aynı bölümde son sınıf öğrencisi

Çizelge - 1' in devamı

KOVARI-TISA [12]	- Derecelenmemiş kum taneli, - Kalker ve kil bileşimli	5.65	2.51	58.1	-	-
LARSON [13]	- Masif - Orta derece kristalin - Açık gri renkli	3.2	2.53	198	-	-
BELL [14]	-	9.8	2.25	75.61	-	-
		14.6	2.11	39.20	-	-
		25.7	1.87	11.60	-	-
		10.1	2.26	42.00	-	-
		2.9	2.62	194.80	-	-
		1.8	2.63	197.50	-	-
BEAVIS [15]		9.03	2.22	69	4.15	0.060
		10.55	2.09	58	3.30	0.057
		12.46	2.05	47	3.56	0.076
		14.32	2.03	33	-	-
		14.18	2.22	48	4.58	0.095
		20.70	2.09	27	1.38	0.051
		21.52	2.05	23	0.75	0.033
		22.07	2.03	20	0.42	0.021
SING-DENBY EGRELTİ [16]	- İnce taneli - Açık gri renkli	5.1	2.81	83.2	8.00	0.096
		3.7	2.55	93.3	8.90	0.095
		4.4	2.56	104.0	12.70	0.122
SANTARELLI BROWN [17]	- İnce taneli - Kuvars, feldispat ve siyah mika bileşimli	23	2.08	51.39	-	-
		8	2.43	96.72	-	-

(x) Porozite, numunenin birim hacmine karşı gelen " boşluk " hacmidir.

(xx) " Kuru - yoğunluk " değerleridir.

(xxx) İndirekt şekilde belirlenmiş çekme dayanımlarıdır.

biçimde gösterilmeye çalışılmıştır. Çalışma çerçevesinde elde edilen amprik bağıntılar yardımıyla örneğin bir tünel açılımı projesinde nem etkisine açık bir kumtaşı formasyonunun proje süresi boyunca " rötne " den kaynaklanacak periodik çekme gerilmelerine karşı davranışı kestirilmek suretiyle potansiyel " kavlak düşme " lerine karşı mühendislik önlemlerinin önceden alınması sağlanabilir. Ayrıca, kumtaşları için çekme / basınç dayanımları oranının içsel yapının bir anlamda fiziksel kusuru olarak tanımlanabilecek " porlar " ın sayısal ölçütü olan porozite ile korele edilebileceği gösterilmiştir.

2. İSTATİSTİKSEL ANALİZİN SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRİLMESİ

2.1. Genel

İstatistiksel çalışmada kullanılan kumtaşlarına ilişkin porozite - yoğunluk - basınç ve çekme dayanımları toplu halde Çizelge-1 ' de verilmiştir. Aynı çizelge üzerinde " ham değerlerin " alındığı kaynaklarda belirtilmiştir. Bazı değerler, çıkartılan istatistiksel bağıntıların kestirim gücünü test etmek amacıyla analizde kullanılmamışlardır. Bu gibi değerler şekillerde ayrı bir işaret ile gösterilmiştirler.

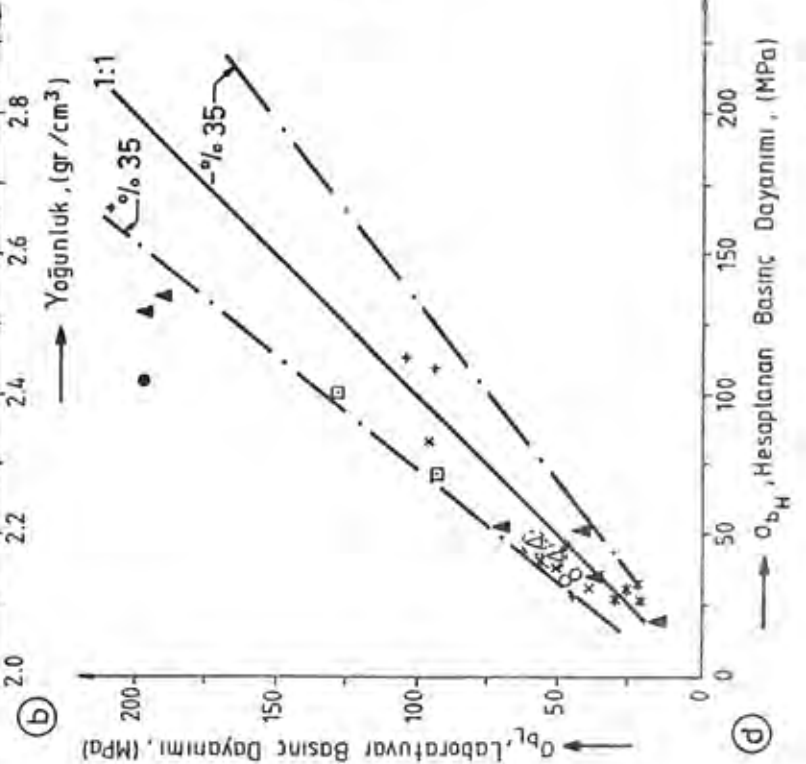
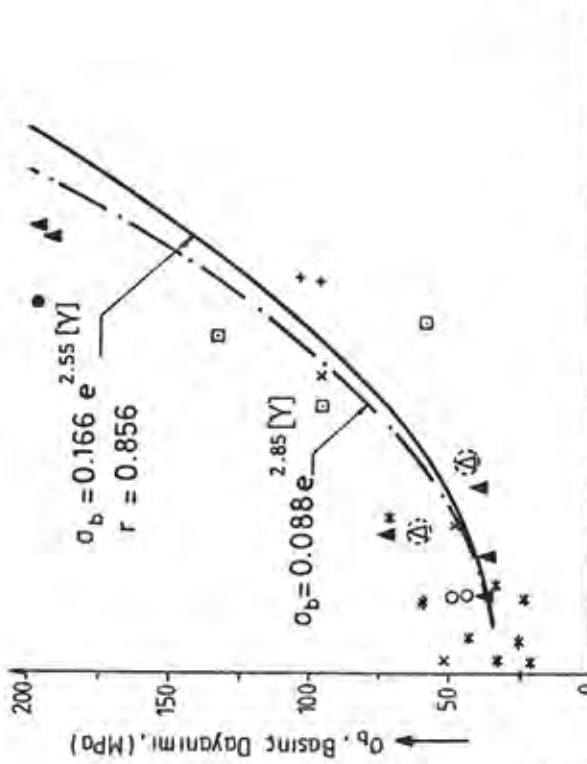
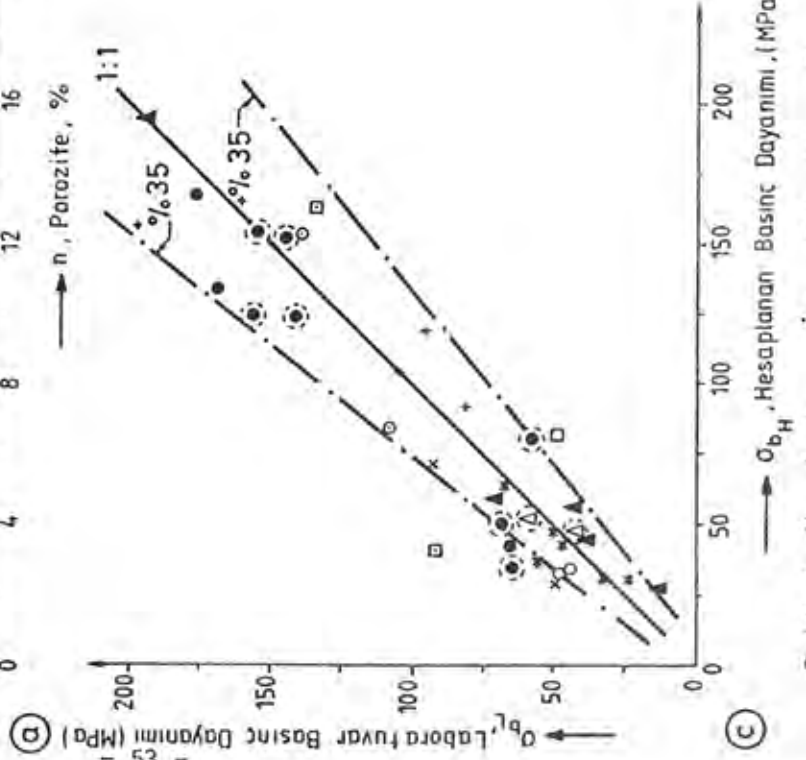
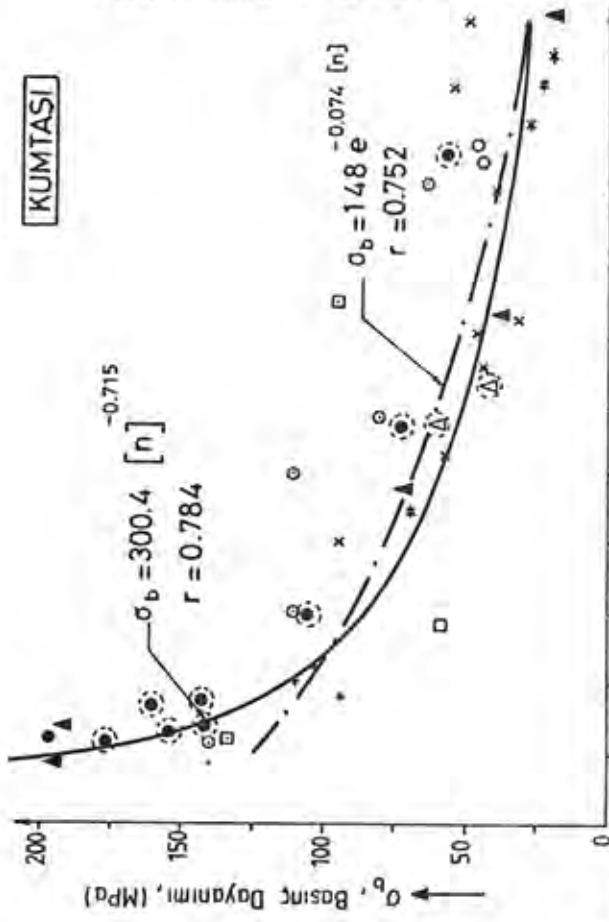
2.2. Çıkartılan İstatistiksel Bağıntılar

Şekil- 1 a ve b, porozite ile basınç dayanımı ve yoğunluk ile basınç dayanımı arasında elde edilen " en iyi regresyon " ifadelerinin değişimlerini göstermektedir. Aynı şekilde bulunan bağıntılardan hesaplanan değerlerin laboratuvar değerleri ile karşılaştırılması yapılmıştır.(Şekil 1-c ve d). Şekiller yakından incelendiğinde şu pratik sonuçlar göze çarpmaktadır.

- Porozite, basınç dayanımına

$$\sigma_b = A \cdot n^{-B} \quad (1)$$

KUMTASI



Semboller :

- PRICE, 1964
- KRECH et al., 1974
- KOVARI-TISA, 1975
- ▣ SCHEIBNER, 1979
- LARSON, 1982
- ▲ BELL, 1983
- * BEAVIS, 1985
- + SING, DENBY, EGRETI, 1987
- x SANTERELLI BROWN, 1989

● PRICE, 1960

⊙ ROLLINS et al., 1974
(Tahkik amacıyla kullanılan deney dataları)

Şekil-1 Kumtaşları İçin Çıkarılan Basıncı Dayanımı-Porozite, Basıncı Dayanımı-Yoğunluk İstatistiksel Bağıntıları ve Bunların Laboratuvar Değerleriyle Karşılaştırılmaları.

türünde üstel bir bağıntı ile korele edilmektedir. (Korelasyon katsayısı $r = -0.784$ ' olarak hesaplanmıştır. Birimler: σ_b (MPa) , n (%). Bağıntılarda kullanılan sembollerin anlamları şekilde belirtilmiştir.) Anılan ifadeden hesaplanan değerler laboratuvar değerlerinden en fazla $\pm$ % 35 mertebesinde fark etmektedirler.

• Yoğunluk - basınç dayanımı arasında en yüksek korelasyon ile sonuçlanan ifade

$$\sigma_b = A e^{B\gamma} \quad (2)$$

türünde bulunmuştur. σ_b (MPa) , γ (gr/cm³) olarak alınacaktır.] .

[3] kaynağında mermer - mermerleşmiş kalker ve kalker - dolomitler için rapor edilen

$$\sigma_b = 0.088 e^{2.85 \gamma}$$

bağıntısı ($1.5 \text{ gr/cm}^3 \leq \gamma \leq 3 \text{ gr/cm}^3$) , $n = 110$ data çizilmek suretiyle bu çalışmada çıkartılan bağıntı ile karşılaştırılmak istenmiştir. Açıkta ki özellikle $\gamma = 2.1 - 2.3 \text{ gr/cm}^3$ yoğunluk aralığında (2) bağıntısı (3) bağıntısıyla çok iyi bir uyum içindedir. Yoğunluğun $\gamma > 2.3 \text{ gr/cm}^3$ olması durumunda (3) nolu bağıntı daha büyük basınç dayanımları vermektedir. (2) no'lu bağıntı ile yapılan kestirimlerde maksimum sapma $\pm$ % 35 düzeyindedir.

• $n = 27$ adet datanın kullanıldığı analizde " yoğunluk " büyüklüğü, " porozite " cinsinden

$$\gamma = 2.95 n^{-0.117} \quad (4)$$

şeklinde bir bağıntı ($r = -0.870$) ile ifade edilebilmektedir.

[γ (gr/cm³) , n (%) .] . Artan porozite büyüklüğü ile " yoğunluk " önemli ölçüde azalmaktadır. [18] kaynağında rapor edilen sonuca dayanarak artan porozite ile kayacın su emme kapasitesinin artacağı, söylenebilir. Bu sonuç yardımıyla örneğin beton sektöründe agrega olarak kullanılabilecek kumtaşına ait porozite - yoğunluk

büyüklikleri nümerik şekilde limite edilebilir.

Basınç dayanımı ile " porozite - yoğunluk " büyüklüklerinin birlikte değişimleri " çoklu regresyon " matematiği yardımıyla burada incelenmiştir. Söz konusu analizin sonuçları Şekil - 2'de toplu halde özetlenmiştir.

Şekil - 2 a ve c ' den açıktır ki

$$\sigma_b = A e^{B\gamma + Cn} \quad (5)$$

türünde " birleştirilmiş regresyon bağıntısı " ndan hesaplanan değerler laboratuvar değerlerinden en fazla $\pm$ % 30 düzeyinde farketmedirler. Bir başka anlatımla (5) bağıntısının kestirim gücünün diğer bağıntılara kıyasla yüksek olduğu ifade edilebilir.

Burada :

σ_b = Basınç dayanımı , (MPa)

γ = Kuru yoğunluk , (gr/cm³)

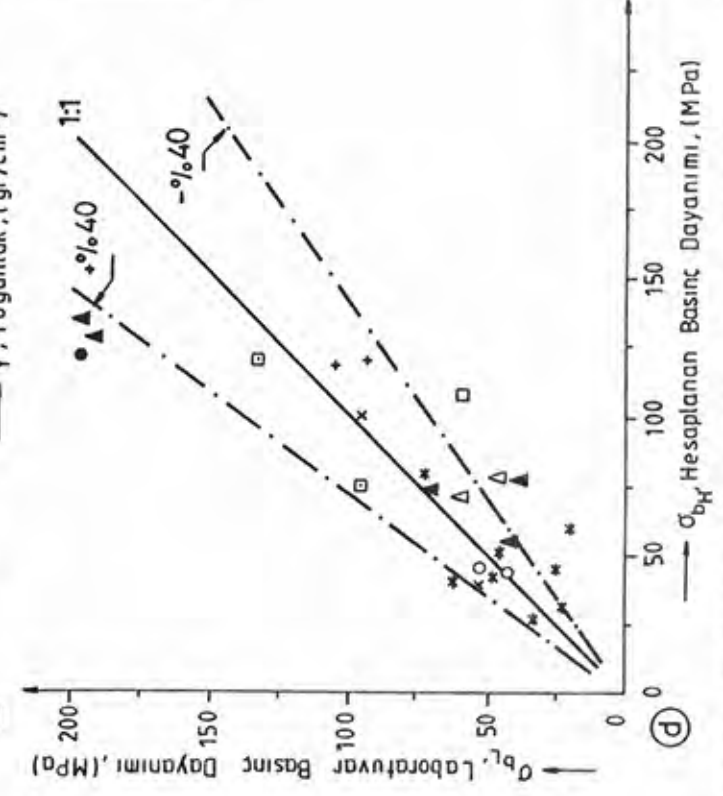
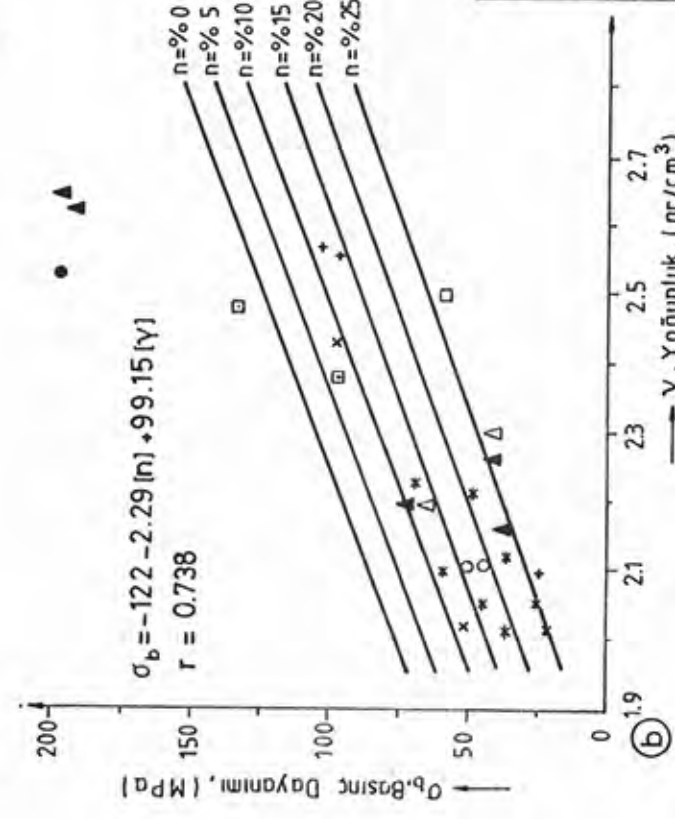
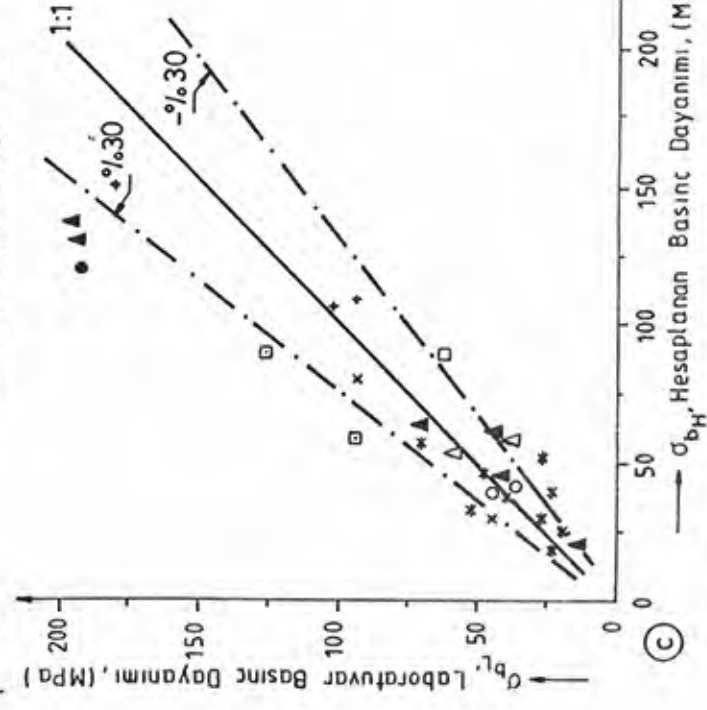
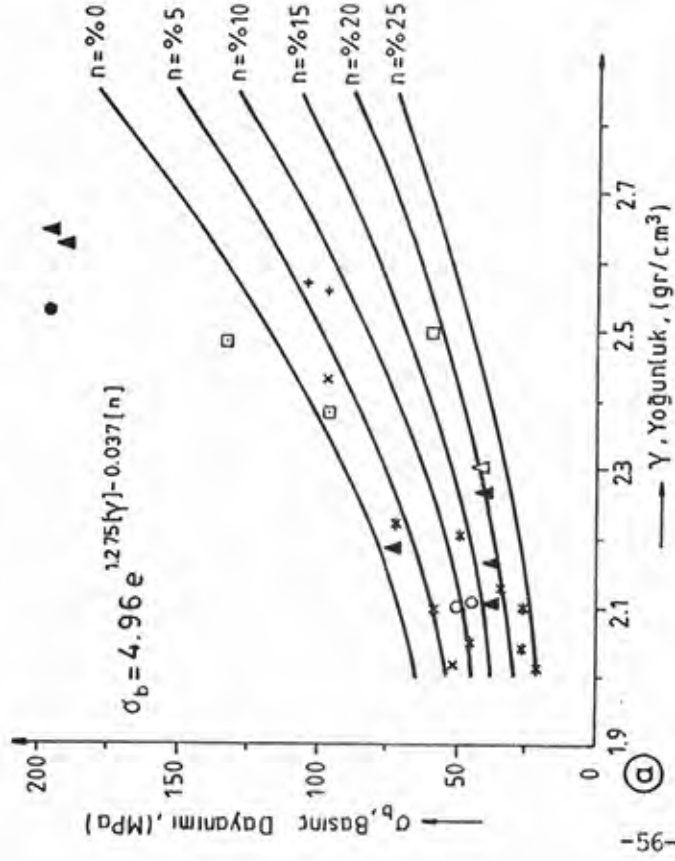
n = Porozite , (%)

A,B,C = Regresyon katsayıları

Şekil - 3 a ve b ise çekme dayanımı ile porozite ve yoğunluk arasında kurulan regresyon bağıntılarının değişimlerini göstermektedir. Ayrıca, aynı şekilde söz konusu bağıntıların " 1 : 1 doğrusu " ile yapılan karşılaştırılmaları verilmiştir. Çekme dayanımı için elde edilen sonuçlar basınç dayanımına benzer trend sergilemişlerdir.

2.3 (Çekme / Basınç) Dayanımları Oranının Porozite ve Yoğunluk ile Değişimi

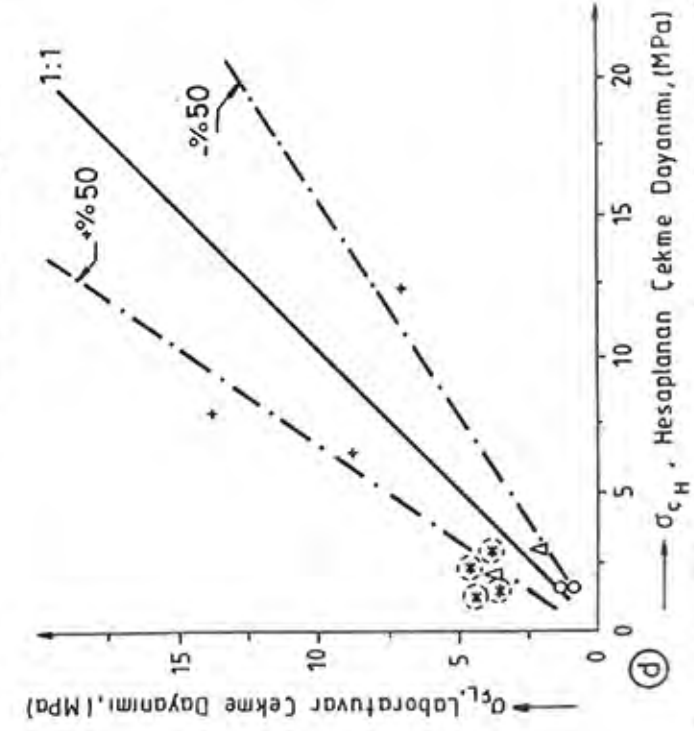
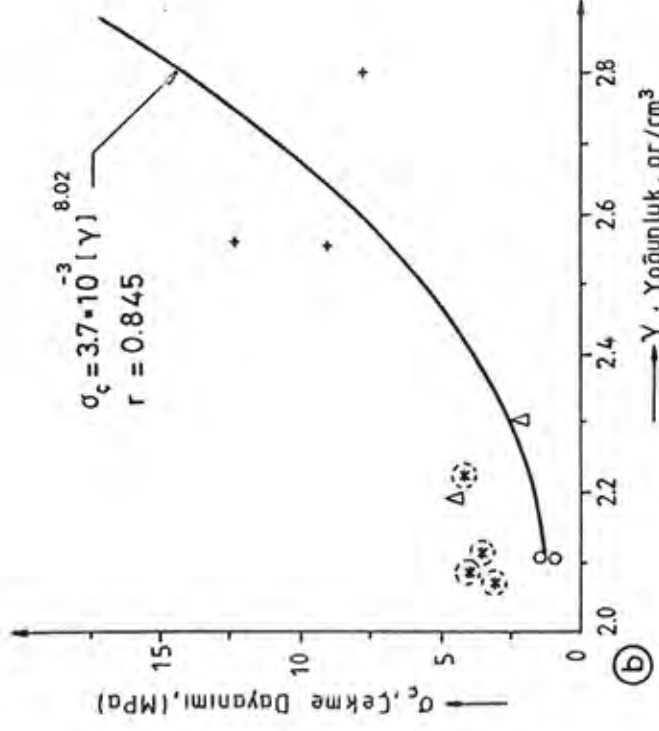
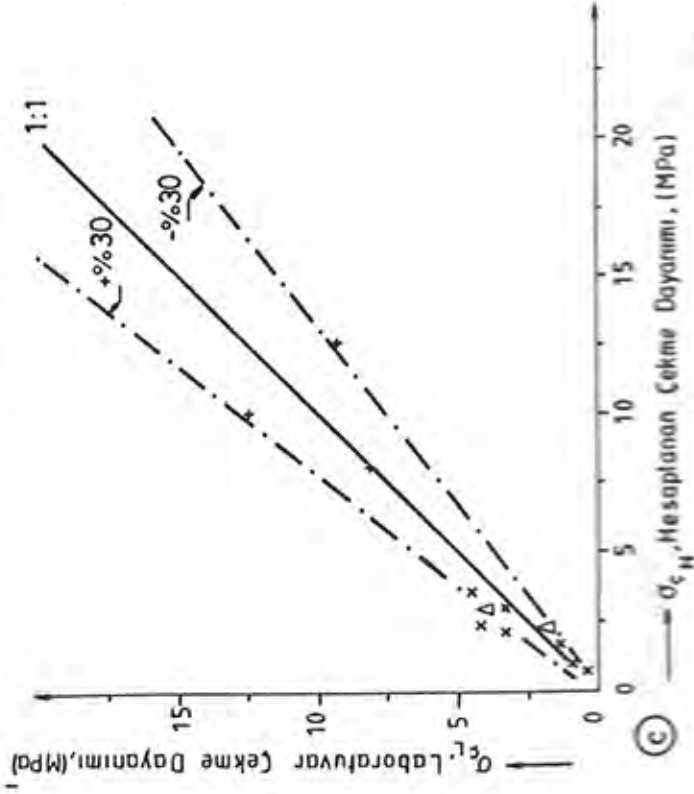
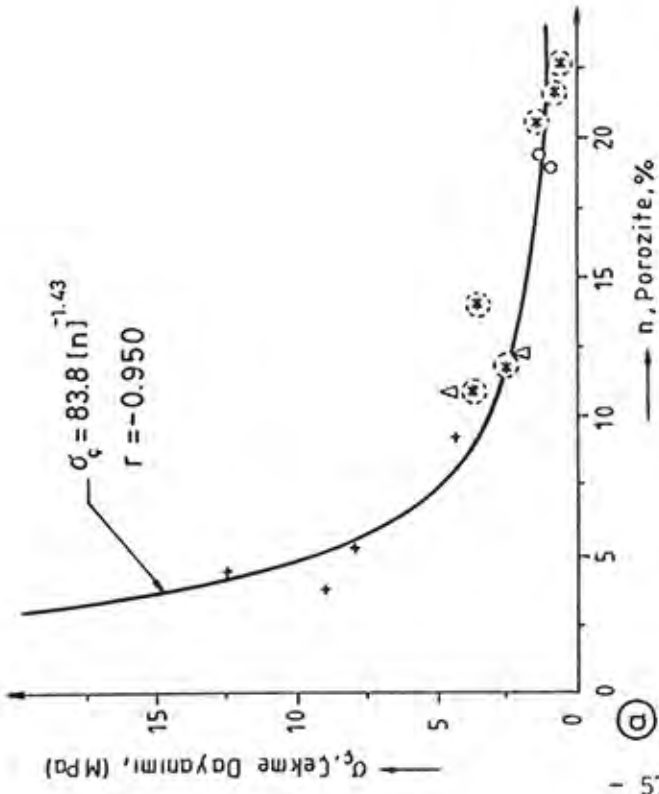
Kaya mekaniği disiplininde gayet iyi bilindiği gibi (çekme dayanımı / basınç dayanımı) oranı büyük ölçüde kayacın petrolojik özelliklerinin karmaşık fonksiyonudur. İç yapı içinde değişik boyutlarda bulunan porların (boşluklar) miktarını sayısal şekilde belirten " porozite " ile anılan oran arasında verilen kayaç türü için



Genel İisaretler:

- Δ ROLLINS et al., 1974
- KRECH et al., 1974
- KOVARI-TISA, 1975
- ◻ SCHEIBNER, 1979
- LARSON, 1982
- ▲ BELL, 1983
- * BEAVES, 1985
- + SING, DENBY EĞRETLİ, 1987
- × SANTARELLI BROWN, 1989

Şekil -2 Kumtaşları için (Basıncı dayanımı - Porozite - Yoğunluk) Çoklu Regresyon Bağıntıları ve Bunların Laboratuvar Değerleriyle Karşılaştırılmaları.



Genel işaretler:

- KRECH ve arkadaşları, 1974
- △ ROLLINS ve arkadaşları, 1974
- + SING, DENBY, EGRELTİ, 1987
- ⊗ BEAVES, 1985 (Taahhik için kullanılan datalar)

Şekil-3 Kumtaşları İçin Çıkarılan Çekme Dayanımı-Porozite, Çekme Dayanımı-Yoğunluk Regresyon Bağıntıları ve Bunların Laboratuvar Değerleriyle Karşılaştırılmaları

herhangi bir korelasyonun olup olmadığı bu çalışma çerçevesinde araştırılmıştır. Bu araştırmada güdülen ana amaç kayacın iç yapısının en zayıf tarafı olarak bilinen porların hacimsel miktarının söz konusu oran üzerindeki etkisinin sayısal şekilde belirlenmesidir. Yapılan istatistiksel çalışmanın sonuçları Şekil - 4a' da görülmektedir. Şekil 4b ' de ise dayanımlar oranının yoğunluk ile korelasyonunu göstermektedir. Şekiller yakından incelendiğinde ulaşılan sonuçlar şöyle özetlenebilir :

- Verilen kayaç türü için "çekme dayanımı / basınç dayanımı" oranı porozitenin fonksiyonudur. (Anılan büyüklükler arasında çıkarılan regresyonun korelasyon katsayısı $r = - 0.870$ gibi yüksek bir değerdir.) Artan porozite ile sözü edilen oran azalmaktadır. Dikkat çekicidir ki uygulamalı kaya mekaniğinde yaygın bir şekilde kabul edilen 1/10 oranının [19] porozitenin % 5'i aşması durumunda geçerliliğini önemli ölçüde yitirdiği gözlenmektedir. Ayrıca nemli ortamda açılacak yeraltı mühendislik yapılarında (tüneller, üretim yerleri vb) servis süresi boyunca rötreden kaynaklanacak "kavlak" düşme olasılığı artacaktır.

- İncelenen kumtaşları için artan yoğunluk ile söz konusu oran artmaktadır. Yoğunluk değerinin 2.6 gr/cm^3 ' den küçük olduğu durumlarda dayanımlar arasında oran 0.10'dan daha küçük değerler almaktadır. Griffith kırılma hipotezinin geçerli olduğu "çekme dayanımı / basınç dayanımı" oranının 1/8 olduğu dikkate alındığında kumtaşı yoğunluğunun ancak $\gamma = 2.75 \text{ gr/cm}^3$ değerinde mükemmel geçerli olabileceği Şekil 4 - b'den açıkça farkedilmektedir.

3. SONUÇLAR

Bu çalışmada ele alınan konulardan çıkartılan belli başlı sonuçlar şöyle özetlenebilir.

- Basınç ve çekme dayanımları kayacın fiziksel büyüklükleri olan "porozite" ve "yoğunluk" ile yakından ilintilidir. İncelenen kumtaşları (Çizelge - 1) için çıkartılan regresyon bağıntılarından (Şekil - 1 ve 3) kestirilen basınç ve çekme dayanımları laboratuvar değerlerinden en fazla sırasıyla $\pm \% 35$ ve $\pm \% 35-50$ mertebelerinde farketmektedirler.

- Basınc dayanıımı - porozite - yoğunluk değişimi çoklu regresyon analizi ile belirlendiğinde (Şekil - 2) en az sapma ile sonuçlanan ifade

$$\sigma_b = A . e^{B\gamma + C_n} \quad (5)$$

olmuştur. (Şekil - 2 a ve c) Burada A,B ve C regresyon katsayıları olup $B > 0$ ve $C < 0$ değer almaktadır. Diğer bir deyişle yoğunluk artımı basınc dayanıımını arttırırken artan porozite basınc dayanıımını azaltmaktadır.

- Uygulamalı kaya mekaniğinin karakteristik büyüklüklerinden biri olan (çekme dayanıımı / basınc dayanıımı) oranı incelenen kumtaşları için gerek " porozite " gerekse " yoğunluk " ile korele edilebilmektedir. (Şekil - 4 a ve b). Sözü geçen regresyon bağıntıları yardımıyla daha kolay ve güvenilir şekilde belirlenen basınc dayanıımı ve porozite veya yoğunluk büyüklükleri yardımıyla çekme dayanıımı kestirilebilir. Ayrıca çeşitli kayaçlar için anılan oranın porozite ve yoğunluk ile istatistiksel değişimlerinin araştırılması ilginç bir çalışma olacaktır.

- Binalarda kullanılacak " kumtaşı " taş blokları için ASTM - C616 - 68 standartına göre minimum basınc dayanıımı (en zayıf yönde) 14 MPa (140 kg/cm²) olarak verilmektedir. Bu minimum büyüklükten hareketle porozitenin üst limiti % 22 olarak belirlenebilir.

KAYNAKLAR

- [11] PRICE , N.J.,(1960). The Compressive Strength of Coal Measure Rocks, Colliery Engineering, pp : 283-292
- [12] PRICE , N.J.,(1964), The Influence of Geological Factors on the Strength of Coal Measure Rocks, Geological Magazine, Vol: 100, No:5, pp: 429-443
- [13] SMORODINOV, M.J., MOTOVILOV, E.A., VOLKOV.V.A.,(1971), Determinations of Correlation Relationships Between Strength and Some Physical Characteristics of Rocks, 2. Int. Rock. Mechanics Congress, Belgrade,pp: 35-38
- [14] SINGH,D.P.,(1989), Determination of Some Engineering Properties of Weak Rocks, Proc.Int.Symp.Weak Rock, Tokyo, pp: 315-320
- [15] GERGOWICZ, Z., GALINSKI,A., KACZMAREK,J.,(1987) An Approach to the Definition of Parameters for Rock Properties, Int. Strata Control Congress, Essen
- [16] GALINSKI,A. ve Arkadaşları.,(1987), Mathematical Application of Rock Material Data Taking Account of the Correlation Between Its Physical - Mechanical Parameters, Instytut Geotechniki Polit, Wr., Part 1.
- [17] CARGILL,J.S., SHAKOOR,A.,(1990), Evaluation of Empirical Methods for Measuring the Uniaxial Compressive Strength of Rock, Int.J. Rock Mech.Min.Sci & Geomech. Abstr. Vol.27, No: 6
- [18] KOUKIS,G., SABATAKAKIS, N.S.,(1991),Index Properties And Their Correlations For The Marly and Dolomite,Limestones of The Athens Basin, Greece, Mineral Wealth, No: 72 pp: 27-33

YERALTISUYU BESLENME HAVZA SINIRININ DOGRU BELIRLENMESININ
HIROJEOLOJİK VE JEOTEKNİK ARAŞTIRMALARDAKİ YERİ

PROPER CONSTRUCTION OF GROUNDWATER RECHARGE AREA BOUNDARY
AND ITS IMPORTANCE
IN HYDROGEOLOGICAL AND GEOTECHNICAL INVESTIGATIONS

Ilyas Yilmazer*

ÖZ: Özellikle büyük ölçekli mühendislik yapı alanlarında, yeraltısuyu beslenme havza sınırının (YBHS) doğru belirlenmesi, gerek hidrojeolojik, gerekse jeoteknik araştırmalar açısından yadsınılamaz yarar sağlamaktadır. Jeolojik birimlerdeki süreksizliklerin yeraltısuyunun (YS) hareketini ve akifer özelliklerini belirli ölçülerde kontrol ettiği bilinmektedir. Bu amaçla katmanlı ve eğimli jeolojik birimlerde YBHS daha gerçekçi belirlenebilmesi için bir Yapısal Yöntem önerilmiştir.

Yeraltısı tablası (YST) çoğunlukla beslenme-akaçlanma ilişkisine göre değişim gösterir. Doğal beslenme hızı (Q_r) bilindiği gibi yağış alanına (A), yağış yoğunluğuna (i), yüzey akış katsayısına (c) ve süzülme özelliğine (Q_i) bağlıdır. YBHS genellikle eşyükselti eğrilerine dik çizilerek bulunmaktadır. Bu şekilde belirlenen sınır, doğal olarak, yüzey bölüm çizgisiyle çakışmaktadır. Ancak bu sınır katmanlı ve eğimli jeolojik birimlerin yer aldığı beslenme alanlarında gerçeği yansıtamamaktadır.

Kaya birimlerinin yaklaşık 205'i katmanlı olup, büyük bir bölümü değişik açılarda eğimlidir. Yazar bu tür alanlarda YBHS'nin belirlenmesi için değişik bir yöntem ileri sürmüştür. Ayrıca YBHS'nin doğru belirlenmesinin hidrojeolojik ve jeoteknik araştırmalardaki önemini vurgulamak ve önerilen yöntemin kolay anlaşılmasını sağlamak için saha araştırmalarından örnekler sunmaktadır. Önerilen yöntem, yüzey bölüm çizgisi, doğrultu (yapısal eşyükselti çizgisi), bir öncekilerin kesişim noktasından (TD) geçen teget ve YST'na olan derinlik bileşenlerinin, kolaylaştırılmış yapısal ilişkisini kurmak olarak tanımlanabilir. Bu nedenle yapısal yöntem olarak adlandırılmıştır.

YBHS'nin doğru belirlenmesi, özellikle büyük ölçekli mühendislik yapı alanlarında yapılan ve yapılması gerekli olan jeolojik çalışmalarda, önem taşımaktadır. Bu anlamda, üç ayrı yerden verilen örneklerle konunun daha iyi anlaşılması amaçlanmıştır.

Birinci örnek YBHS'nin yüzey bölüm çizgisiyle belirlenen alandan nasıl daha geniş olabildiğini, doğal beslenme-akaçlanma ilişkisini ve aşmalı YST konumunu sergilemektedir. Çalışma alanı Akdeniz kıyısında ve içel sınırları içersinde yapılması planlanmış, Akkuyu II (Camalanı) Nükleer Santral Sahasıdır.

İkincisi ise eğimli tabakalarca yönlendirilen yeraltısuyunun saha durumunu anlatmaktadır. Aynı yönlü eğim içeren tabakaların ardalanmasından oluşan bir sırtta ve eğim yönündeki yamaçta çok sayıda sızıntı ve kaynak bulunurken yamaç üzeri eğim içeren kesimde küçük bir sızıntı bile gözlenememiştir.

Üçüncü örnek, Ankara-Gerede Otoyolunun 63. kilometresinde yapılan Bugrular Köprüsünün doğu kenar ayak alanıdır. Ünerilen yöntem kullanılarak kenar ayak alanına gelecek YS, genel jeolojik özellikler, tektonik-yapısal durum ve bunların otoyol duraylılığına etkisi ayrıntılı olarak belirlenmiştir. Temel kazısı çalışmalarından kısa bir süre sonra doğal dengesi bozulan çalışma alanında kaymalar başlamış ve birkaç hafta içerisinde binlerce metre küp etkin kayma malzemesinin kaldırılması gerekmiştir.

Duraysızlık sorunu ortaya çıktıktan sonraki çözümlerin, gerek zaman gerekse para açısından karşılanması oldukça zordur. Böylece jeolojik ve jeoteknik araştırmaların sonuçları özümленerek en uygun projelendirmenin baştan yapılması ve gerekli önlemlerin önceden alınması, kaymalardan sonra yapılacak çalışmalardan çok daha kolay olduğuna, Türkiye Otoyolu projelerinden ve baraj alanlarından çok sayıda örnek verilebilir.

ABSTRACT: A proper identification of groundwater recharge area boundary (GRAB) has significant role in hydrogeological and geotechnical investigation of a particularly large engineering structure site. It is known that discontinuities in a geological unit can control groundwater movement and aquifer properties at a certain level. Therefore a structural method is suggested to establish GRAB appropriately in layered and tilted geological unit.

A static groundwater table is mainly controlled by recharge-discharge relationships. Natural recharge rate (Q_r) depends upon area of precipitation (A), intensity of rainfall (i), coefficient of runoff (c), and infiltration capacity (Q_i). A groundwater recharge area boundary (GRAB) is used to be defined by drawing perpendicular lines to the topographic contours. This boundary naturally coincides with the topographic divide. However this procedure is not applicable to an area which consists of stratified and tilted lithologies.

About 85 % of the rock units are stratified and great percent is tilted at varying dip amount. The author suggests a procedure to define GRAB over a stratified and dipping geological unit. Furthermore, he presents case studies to show importance of GRAB construction on both hydrogeological and geotechnical investigations. The suggested method is a simplified structural setting up of topographic divide, strike (structural contour), tangent lines at intersection point (TD) of topographic divide and strike, and depth to the approximate static groundwater table.

Construction of the actual GRAB is particularly important in engineering geological investigation of a large engineering structure site and in groundwater resources research. In this sense, three field cases are given as examples to get easy realization of the method and its significance on geotechnical works.

The first one explains how the actual GRAB is wider than the topographic divide, natural recharge-discharge relation, and overlapping groundwater table condition in the Akkuyu II (Çamalanı) Nuclear Power Plant Site which is located at the middle part of the Mediterranean coast.

The second one shows different groundwater table conditions at both sides of a mountain ridge resembling a homoclinal terrain. Dipslope side has several seeps and springs whereas inslope side does not have even a small seepage. This is a common hydrogeological property in nature. In order to specify this hydrogeological condition an area in the vicinity of the Çamlidere is selected.

The third one tells how potential landslides could be foresighted by using the suggested method and detailed identification of tectonic - structural features of a site. The study area is eastern abutment site of the Bugrular Bridge at the 63 rd kilometer of the Ankara-Gerede Motorway. Potential adverse effect of both groundwater and geotechnical conditions was reported formerly. 8 months later motorway excavation has been commenced at this site; meanwhile sliding has started and became larger and larger in a few weeks.

Finally, many 100 millions of TL have been spent for hydrogeological treatment. Slide mass has been dumped into the adjacent domestic water supply dam reservoir. It has been proved once more that a proper design including precaution works is much cheaper than a remedial work or treatment after failures.

GİRİŞ

Yeraltısuyu beslenme havza sınırının (YBHS) gerçeğe yakın belirlenmesi saha araştırmalarında sayısız yararlar sağlamaktadır. Genel bir yaklaşım olarak YBHS' yer bölüm noktalarının birleştirilmesiyle belirlenmektedir. Ancak böyle bir yöntem otoyol bileşenleri (viyadük, köprü, üstgeçit-altgeçit, büyük dolgu v.b.) gibi büyük ölçekli mühendislik yapı alanlarında hidrojeolojik ve jeoteknik açıdan pratik yarar sağlamamaktadır. Burada önerilen yapısal yöntemle büyük ölçekli duraysızlık sorunları daha önceden görülebilmektedir.

Yeraltısuyu (YS) besleyen en önemli kaynak yağışlardır. Yağan suların bir bölümü YS tablasına doğru ilerler ve YS tablasının yükselmesine neden olurlar. Yerçekiminin etkisi altında düşey olarak hareket eden YS'nun yatay hareketi süreksizlikler, özellikle katmanlı istiflerde tabakalanma tarafından kontrol edilir. Bu durum YS'nun dağılımına ve kaynak, sızıntı ve kolay elde edilebilir YS oluşmasına doğrudan yansımaktadır.

Ankara'nın batısında Kretase kireçtaşlarından oluşan Çal Dağı'nda, Sivrihisar Dağlarının GD uzantısını (Arayit Dağı) oluşturan şist ve dolomitik mermerlerde, Paleozoyik yaşlı başkalaşmış kayalardan oluşan Afyon'un Ilbudak Dağı'nda ve daha pek çok yerde, genel eğim yönündeki dağ eteklerinde çok sayıda sızıntı, kaynak, çeşme ve sığ keson kuyulara rastlanırken yamaç içeri eğim içeren yamaç ve yamaç eteklerinde bu özelliklere, önemli fay zonları dışında, rastlanamamaktadır.

Yamaç dışarı veya yaklaşık yamaçdibi (yamaç eğiminden az ve daha fazla eğimli tabakalar sulu ortamlarda önemli jeoteknik sorunlar yaratabilmektedir. Ankara çevresinde gözlenebilen çok sayıda kaymalar genellikle yamaç dışarı eğimli Plk-İkm dokanaklarında gelişmiş ve gelişmektedir (Yılmaz, 1990a-b). Yapısal ve stratigrafik dokanaklar, kıvrımlar, faylar ve diğer belirgin süreksizliklerin, işin başında ortaya çıkarılması temel kazılarında, yol yarma ve dolgu alanlarında, yerleşim alanlarında v.b. büyük ölçekli mühendislik yapı alanlarının jeoteknik araştırmalarında oldukça önemli veriler sunabilmektedir.

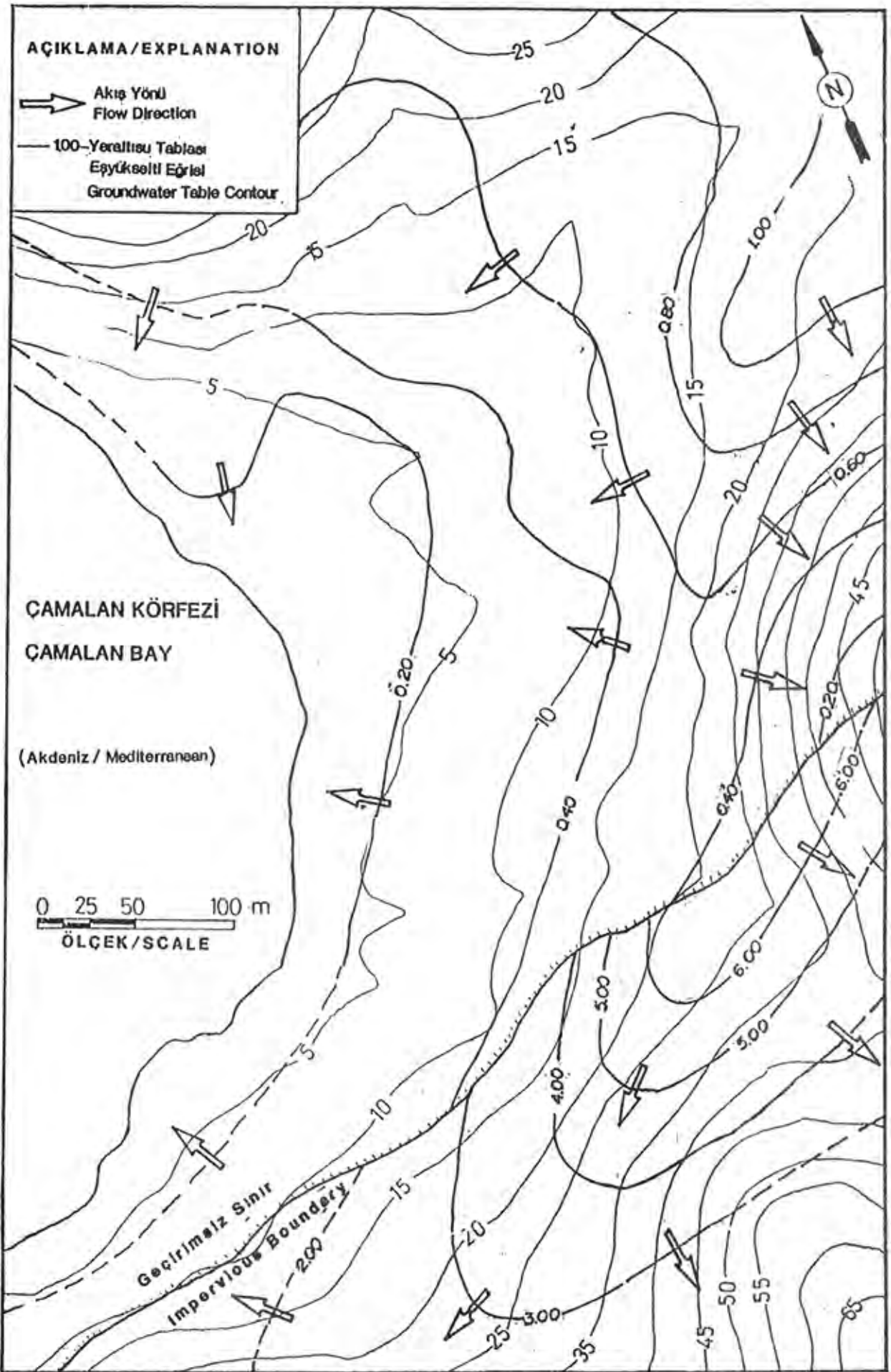
Konu içersinde, jeolojik birimler için kullanılan belirteçler konunun kolay izlenmesi için aşağıda verilmiştir.

- Qc : Güncel Kolüvyonal Çökel
- Plk : Pliyosen yaşlı Kızıl Formasyon
- Mip : Miyosen yaşlı Pelitçik Formasyonu
- Mib : Miyosen yaşlı Bayındır Formasyonu
- Mibu: Mib'nin Üst Üyesi
- Mibm: Mib'nin Alt Üyesi
- İk : Triyas yaşlı Karakaya Birimi

YBHS'NİN ÇİZİMİ

Yeraltısuyu tablasının (YST) değişimi beslenme-akaçlanma ilişkisi tarafından kontrol edilmektedir. Bu ilişki daha çok, yeryüzü eğimi, bitki örtüsü, iklim koşulları, yağış miktarı ve türü, yüzeylenen litolojik birimin hidrojeolojik özellikleri ve YS'nun içinde bulunduğu litolojik birimin jeolojik ve hidrojeolojik özellikleri tarafından belirlenmektedir.

Sekil 1'de gösterilen alan, Devon yaşlı kristallenmiş kireçtaşları, fosilli kireçtaşları, dolomitik kireçtaşları, şeyl, çok düşük derecede başkalaşmış miltaş, kumtaş ve benzeri tortul



Şekil 1. Şubat 1985 için yeraltısı tablası eşyüksehti eğrisi.

Figure 1. Groundwater contour map for February 1985.

ve/veya başkalaşmış kaya seviyelerinin andalanmasından oluşmaktadır. Tabakalanma belirgin olup eklem sistemleri, karstik yapılar ve fay zonları çok sık fastlanan diğer jeolojik özelliklerdir. Çalışma alanı olan Akkuyu II (Çamalan) Nükleer Santral yerinde resistivite ölçümleri yapılarak gerçek YST ve yeraltı jeolojik durumunu açıklayacak belirli ölçülerde bilgiler elde edilmiştir. Ancak su tablasının beklenmedik değişiklikler göstermesi ayrıntılı araştırmaları zorunlu kılmıştır. YS'nun deniz kıyısına 100 m lik uzaklıktaki bir noktadan 800 m uzaklıktaki diğer kıyıya doğru akması (Sek.2) çalışmalara ayrı bir boyut kazandırmıştır.

Yukarıda belirtildiği gibi tabakalanmalı ve eğimli (~30 derece) bu birimde YS hareketinin tabakalanma tarafından belirli ölçülerde kontrol edileceği düşünüldüğü şekil 3'te gösterilen yapısal yöntem geliştirilmeye çalışılmıştır (Yılmaz, 1985). YBHS'nin gerçeğe daha yakın belirlenmesini sağlayan yöntem aşağıda özetlenmiştir.

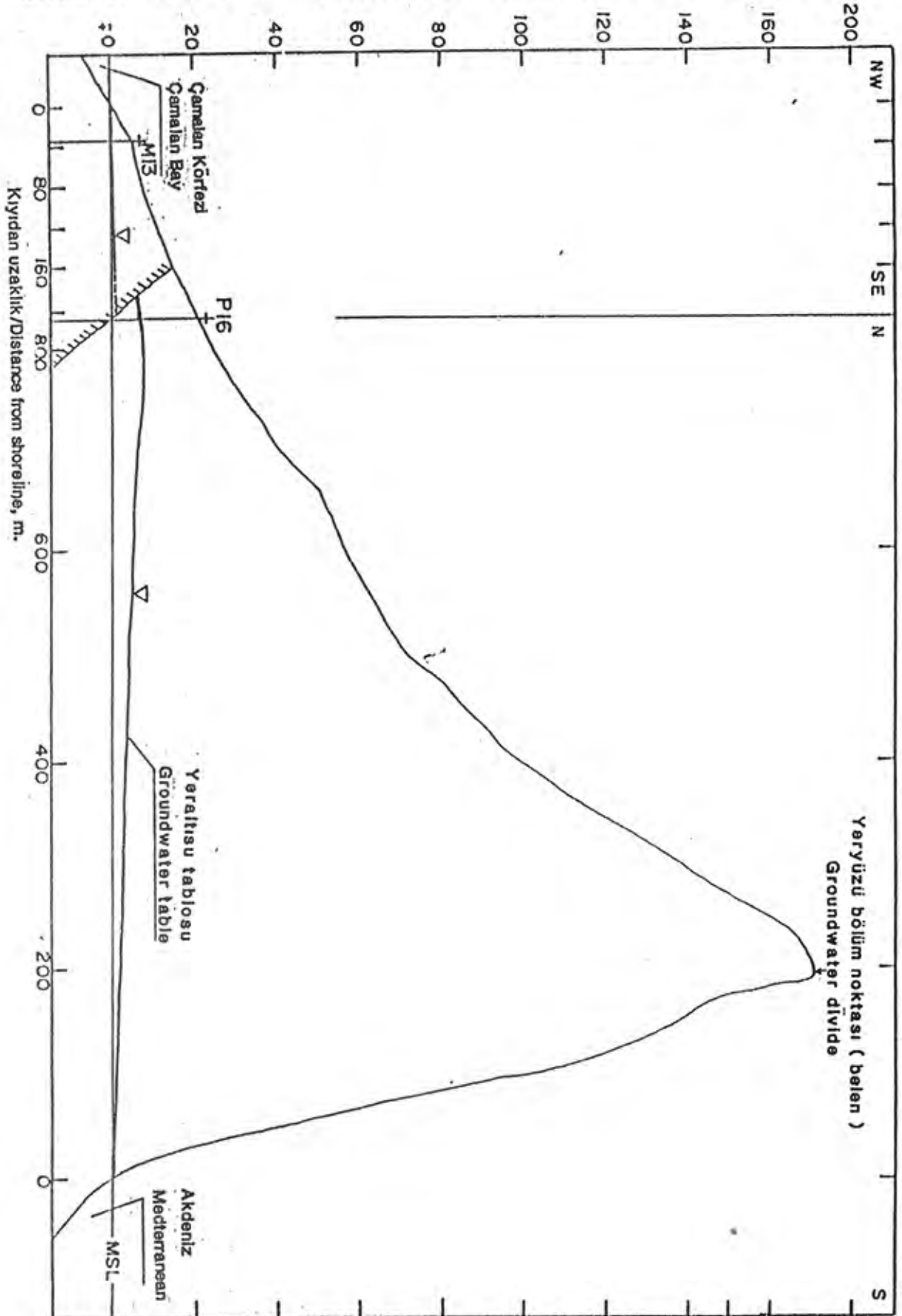
1. Yüzey bölüm çizgisini ve bu çizgi üzerinde, yeterince sık aralıklı olarak, tegetleri çiziniz.
2. Teget noktalarındaki (TD) tabaka doğrultularını çiziniz.
3. Tabaka - YST kesişim çizgisini çizip yüzeye izdüşümünü alınız.
4. Kesişim çizgisinin teget doğrultusunu kestigi noktadan (SW) daha önce çizilen tabaka doğrultusuna dik çizerek GD noktasını bulunuz.
5. Elde edilen GD noktalarını birleştirerek gerçeğe daha yakın olan YBHS'nı veya yaklaşık YS bölüm çizgisini bulabilirsiniz.

YBHS çizimi genel olarak belen noktalarının (TD) birleştirilmesi ile yapılmaktadır. Ancak şekil 3'te gösterildiği gibi gerçek beslenme alanı burada anlatılmaya çalışılan yöntemle belirlendiğinde yaklaşık %22 daha fazla olmuştur. Sekil'de gösterilen güneye eğimli Devon şeyillerinden oluşan geçirimsiz sınırın etkisi ile beklenmedik bir hidrojeolojik durum ortaya çıkmıştır. Hidrojeolojik harita ve kesitten anlaşılacağı gibi aşmalı iki YST arasındaki fark ~6 metredir. GD ve GB'ya olan yeraltısuyu hareketi fay zonları ve yaklaşık Güneye eğimli tabakalanma sistemi ile açıklanabilmektedir.

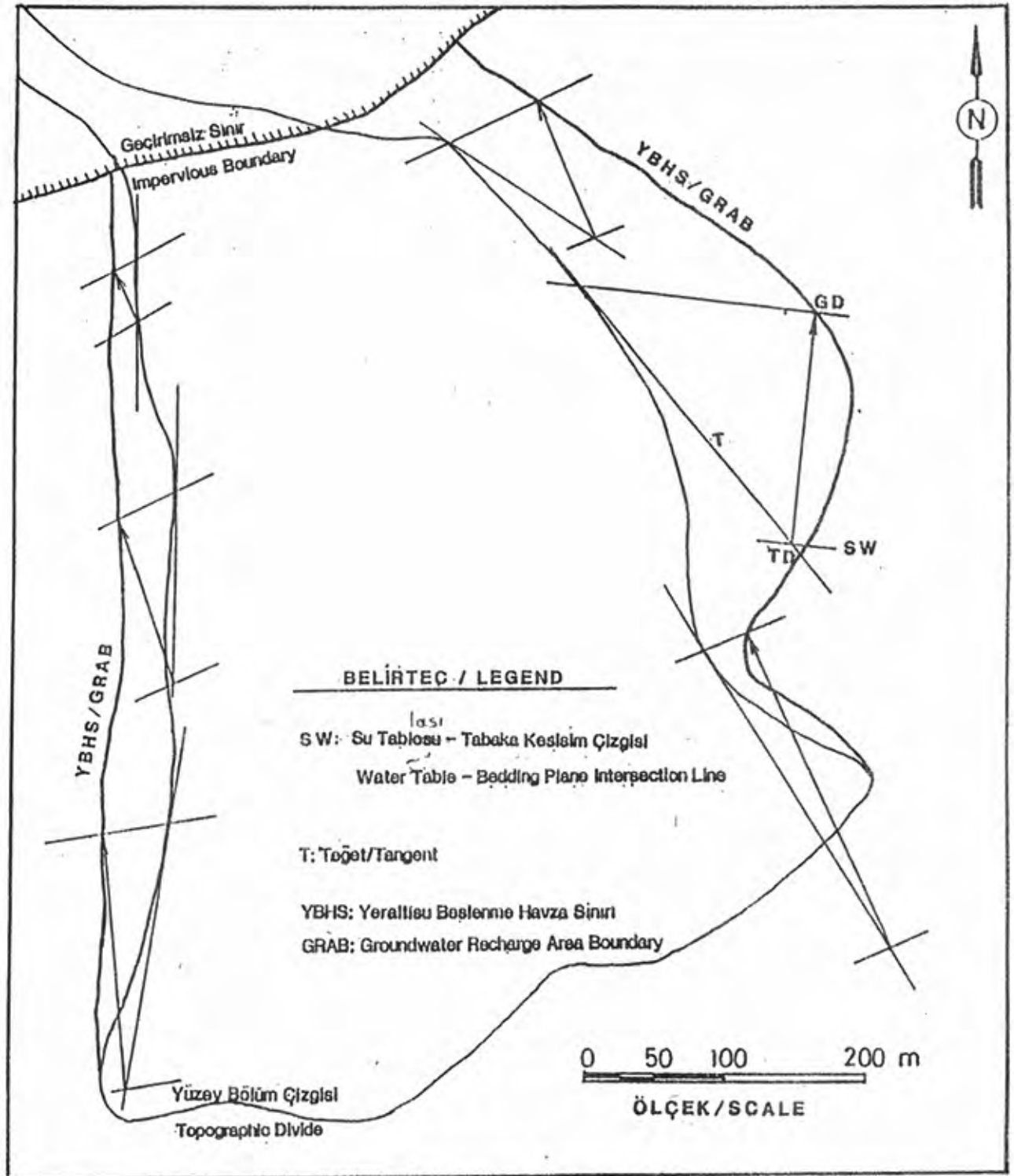
YBHS'NİN HİDROJEOLOJİK AÇIDAN ÖNEMLİ

Hidrojeolojik çalışmalarda, araştırılan ana konuların başında akifer özelliklerinin belirlenmesi, elde edilebilir suyun varlığı, YS'nun hareketi, ve beslenme-akaçlanma ilişkisi gelir. Bu özellikler çalışma alanının jeolojisi ile yakından ilgilidir.

Ortalama deniz seviyesinden yükseklik/Topographic elevation above mean sea level, m.



Şekil 2. Geçirimsiz bölümün her iki yanını gösteren enkesit.
Figure 2. Illustrating both sides of the impervious boundary.



Şekil 3. Katmanlı ve eğimli jeolojik birimlerde yeraltı suya beslenme sınırı çizimi.

Figure 3. Ground recharge area boundary construction on a stratified and tilted geologic unit.

Konunun düşünce temelinde kolay anlaşılabilmesi ve uygulamada araştırıcıyı yönlendirebilmesi için şekil 4 ve 5 hazırlanarak sunulmuştur. Aynı yer için iki ayrı tabakalanma konumu gösterilmiştir. Tabakalanma sistemine bağlı olarak TD değişmediği halde YBHS'nın değiştiği görülmektedir. Bu durum hidrojeolojik ve jeoteknik araştırmalarda YS'nun hareketi ve havzanın beslenme miktarı konusunda bir ön bilgi sunabilmektedir. Ayrıca zemin duraysızlık sorunlarında suyun ne kadar çok etken olduğu anımsandığında, yapısal yöntemin uygulamadaki yararları kolayca anlaşılabilir.

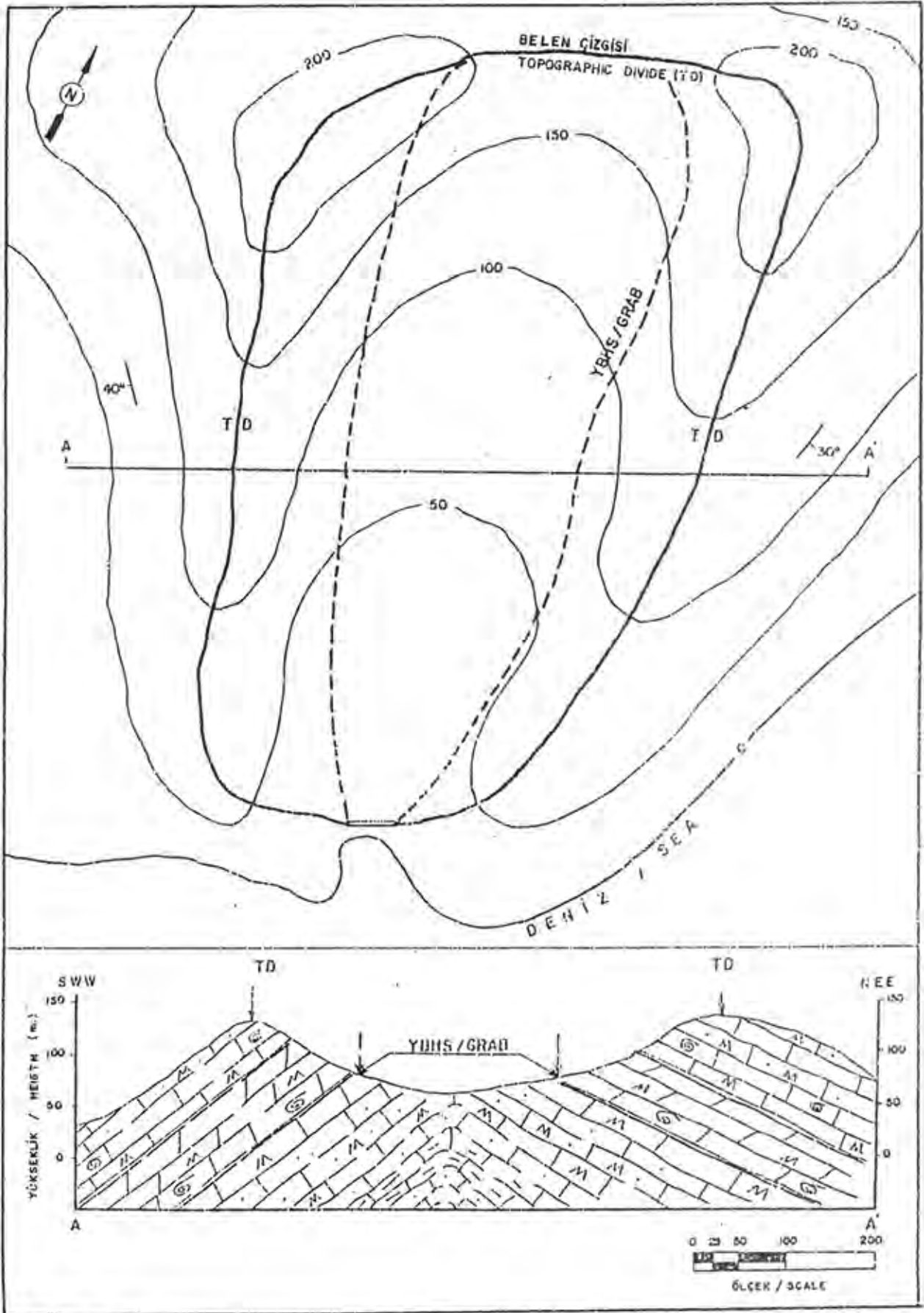
İleri sürülen bu yöntem, bölgesel ölçekte çalışmalarda da kullanılabilmektedir. Dağ sıralarının genel eğimi yönünde yer alan havzalar ters yöndeki havzalara göre YS'yu açısından daha zengindir. Bu durum faylarla fazlaca kesilmemiş her yerde gözlenebilir.

Konuya açıklık kazandıracak düşünülerek, Ankara'nın Çamlıdere ilçesi Felitçik köyü doğusunda kalan bir alan seçilerek örneklemeye gidilmiştir. Öncelikle, yüzey ve yeraltı jeolojisi çalışmaları tamamlanmış ve elde edilen bilgilerin bir bölümü şekil 6'da verilen harita ve enkesitte gösterilmeye çalışılmıştır. Çalışma alanındaki jeolojik birim Miyosen yaşlı Felitçik Formasyonudur (Yılmaz, 1988). Birim GBS eğimli tuf, killi tuf, tüflü kireçtaşı, kalkerli tuf, lapilli tuf, kıltaşı ve silisleşmiş tuf tabakalarının ardalanmasından oluşmuştur. KDK yamaçlar göreceli olarak daha duraylıdır. Bu nedenle daha dik yamaçlıdır. Bu yamaçlarda, tek bir sızıntı ve kaynağa rastlanamazken, aynı yükseltilerde GBS yamaçlarda su seviyesi yüzeye daha yakındır. Ayrıca mevsimlik sızıntı, kaynak, çeşme ve keson kuyular gözlenebilmektedir. Jeolojik enkesitte A'ne yamaçta YST ~12 m derinliktedir. Ancak tabakalanma nedeniyle, diğer yamaçta oranla yeterli su alınamıyacağı dikkati çekmektedir. Çünkü Mip'nin geçirimli, yarı geçirimli ve geçirimsiz seviyelerin ardalanmasından oluşması ve tabakaların genel eğim yönünün GB'ya olması burada açılacak bir kuyuya her iki yönde yeterli suyun selemeyeceği anlaşılmaktadır.

YBHS'NIN JEOTEKNİK ARAŞTIRMALARDA ÖNEMİ

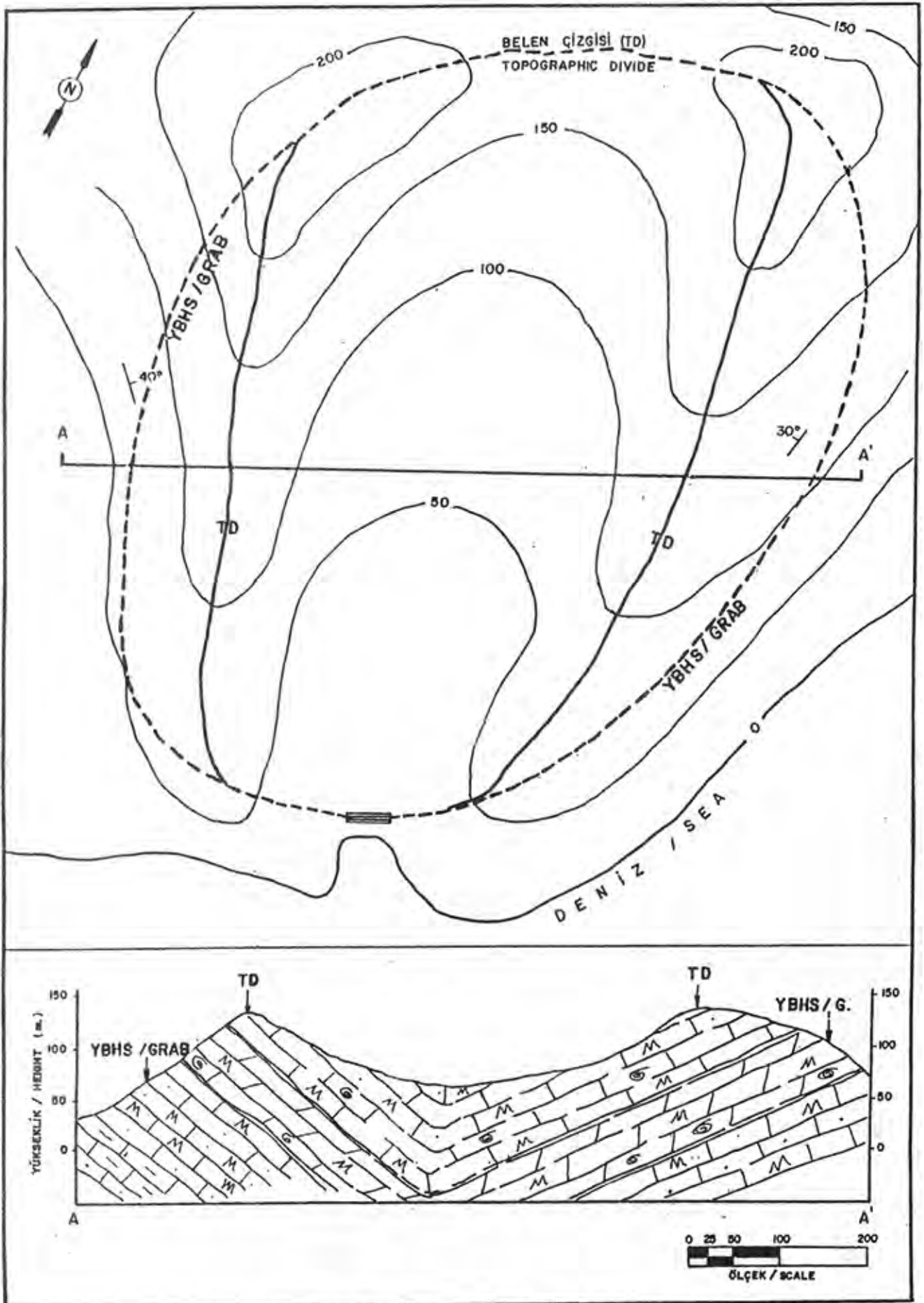
Jeoteknik araştırmalarda YS ve yüzey suyunun, kısaca suyun etkisi, gözardı edilemez. Boşluk suyu basıncı, özellikle killi zeminlerde kayma ve farklı oturmalara neden olabilirken, katmanlı istiflerde göreceli olarak zayıf seviyelerin kayma direnci parametreleri (değiştirgeleri) önemli ölçüde ve duraysızlık sorunları yaratacak yönde değişmektedir. Suyun jeoteknik açıdan olumsuz etkisine otoyollardan ve diğer mühendislik yapı alanlarından çok sayıda örnek verilebilir.

Jeoteknik araştırmalarda ayrıntılı hidrojeoloji, özellikle geçkinin (güzergahın) yerleştirilmesi ve ön proje aşamalarında



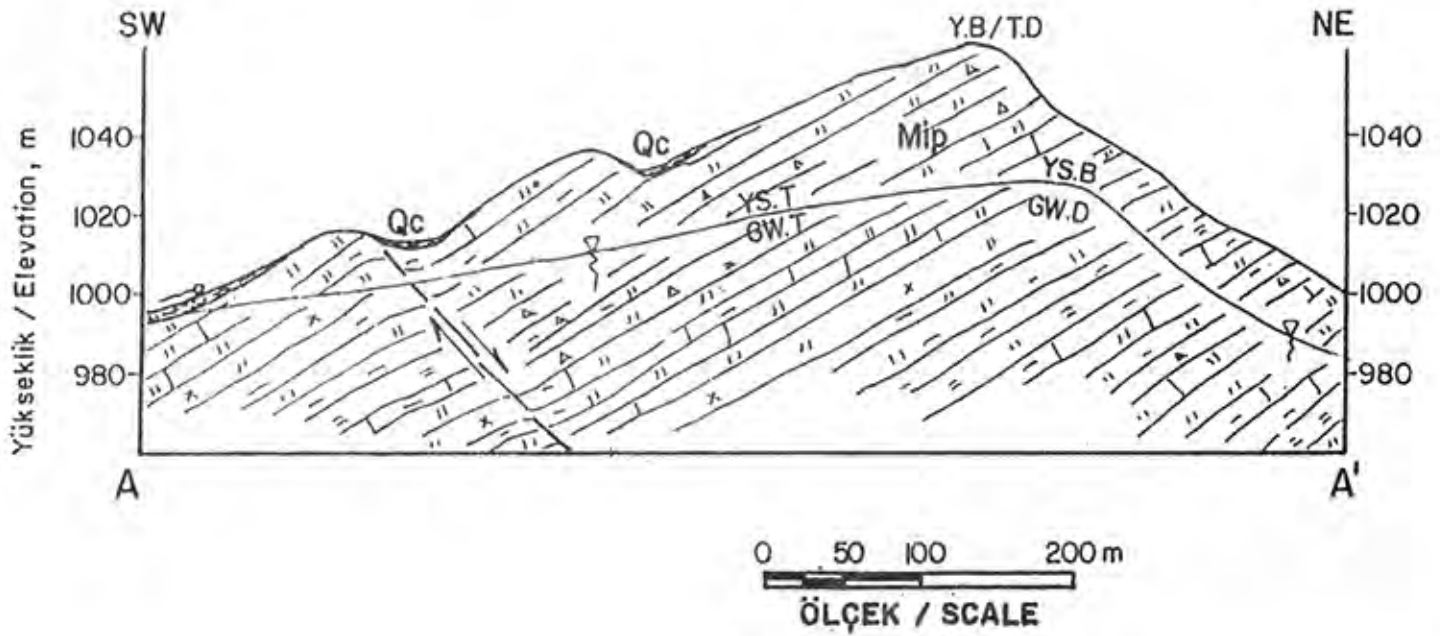
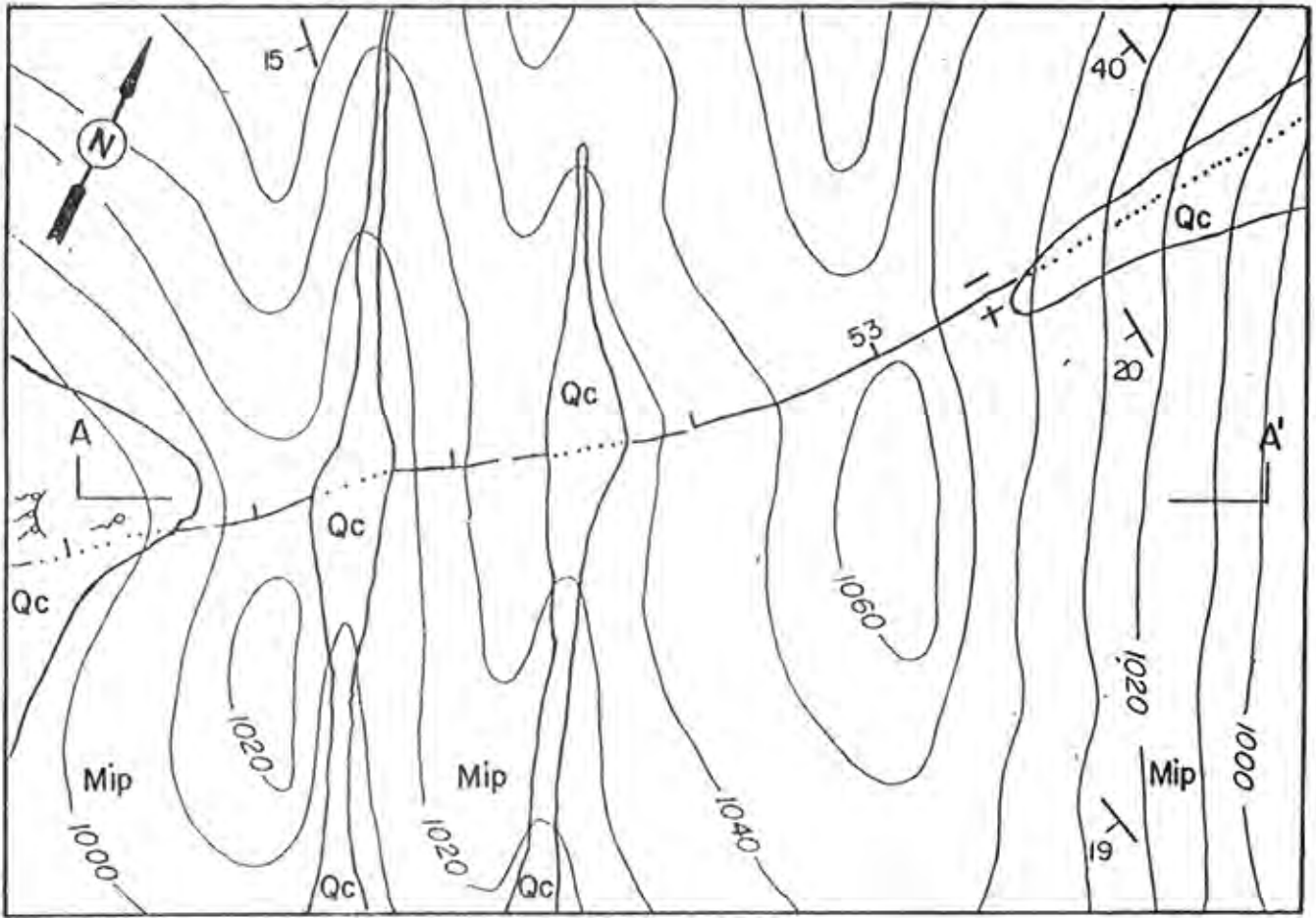
Şekil - 4 Yeraltısuyu beslenme havza sınırının (YBHS), tabakalanmaya bağlı olarak belen çizgisinden ayrılışını göstermektedir.

Figure - 4 Illustrating deviation of groundwater recharge area boundary (GRAB) from topographic divide (TD) under the influence of tilted layering.



Şekil _5 Yeraltısuyu beslenme havza sınırının (YBHS), tabakalanmaya bağlı olarak belen çizgisinden ayrılışını göstermektedir.

Figure _5 Illustrating deviation of groundwater recharge area boundary (GRAB) from topographic divide (TD) under the influence of tilted layering.

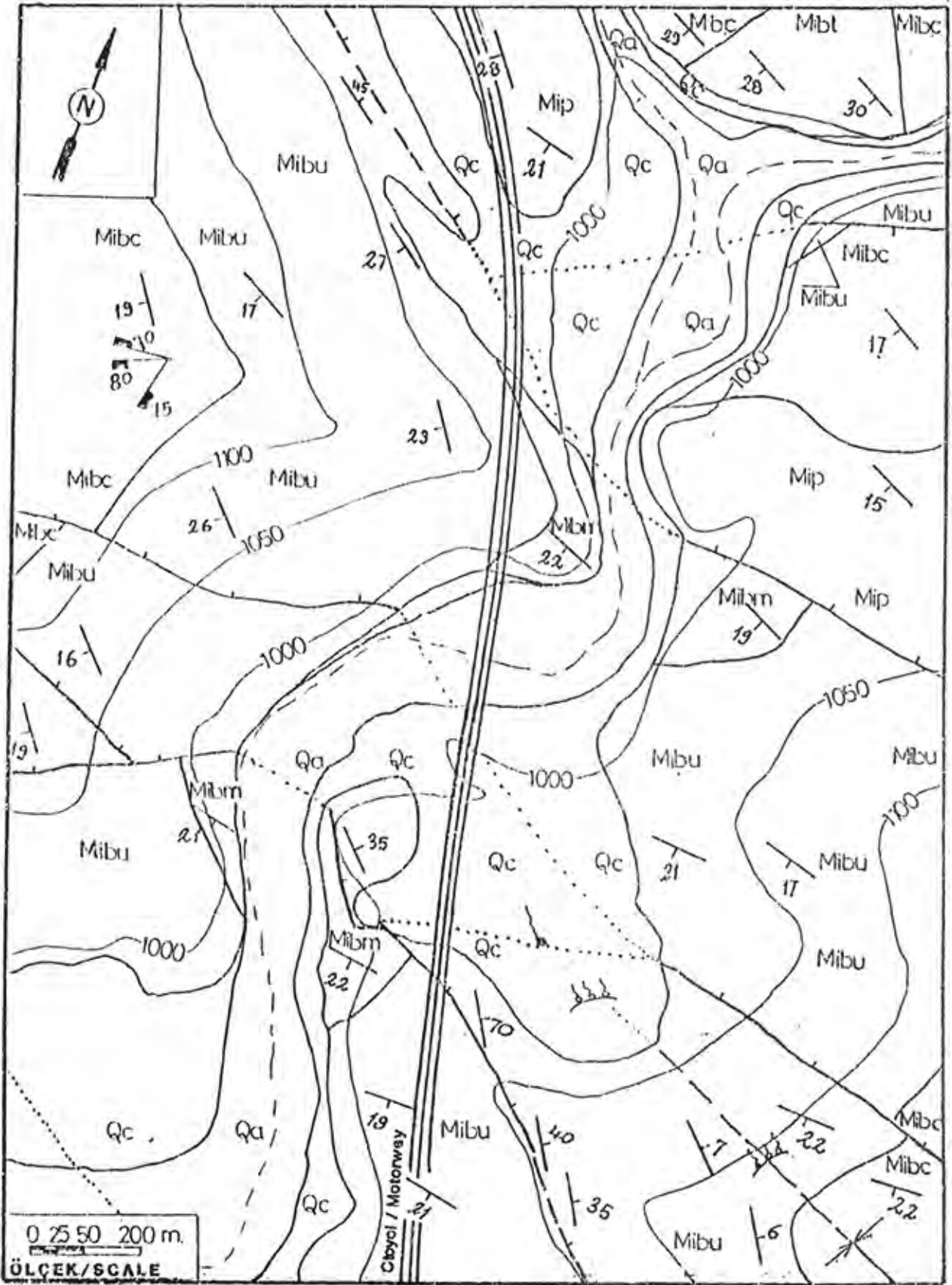


Şekil 6 . Tabakalanma — yeraltısu tablası ilişkisi
Figure 6 . Bedding — groundwater table relation

büyük önem taşımaktadır. Sızıntı, kaynak, akarsu ve su kuyularının haritalanarak incelenmesi, elde edilen bilgilerin ayrıntılı bir mühendislik jeoloji haritası ile denleştirilmesi ve gerekli görülen noktalarda yeraltı jeolojisi çalışmalarının gerçekleştirilmesi, daha sonradan olabilecek jeoteknik sorunları, önceden görmeyi sağlayacaktır. Böylece mühendisin tanımında yatan ekonomi ilkesi hayata geçirilmiş olacaktır. Mühendislik yapılarının yapımı sırasında karşılaşılan jeoteknik sorunlar gerek maliyet gerekse zaman açısından giderilmesi zor problemler yaratabilmektedir.

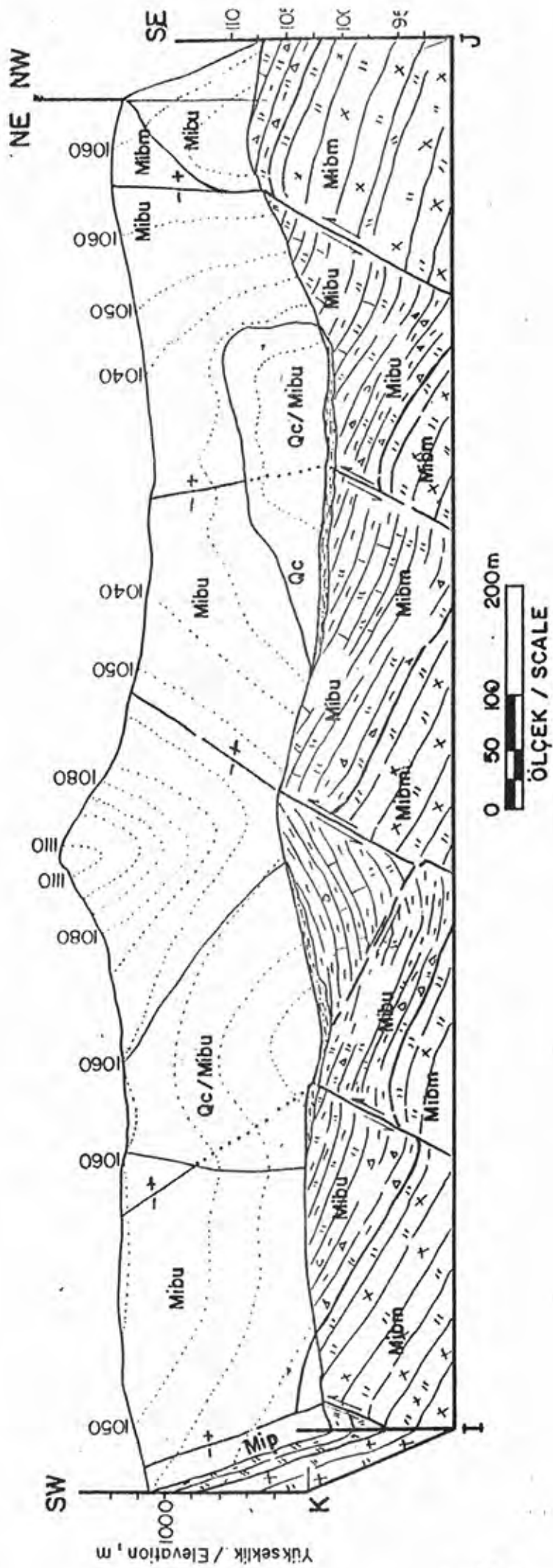
Şekil 7'de güncel bir örnek sunulmuştur. Burada otoyol köprüsünün doğu kenarayağı KB'ya dalımlı bir senklinal içersinde yer almaktadır. Ön proje aşamasında hazırlanan bu haritadan başka, proje iye yeraltı jeolojisi konusunda 3-böyutlü bilgi verebilmek için Şekil 8'deki blok gösterim de hazırlanıp sunulmuştur. Ayrıca yapısal yöntem uygulanarak hazırlanmış bir hidrojeolojik rapor da sunulurak buraya özgün yapısal jeoloji ve hidrojeolojinin yaratabileceği jeoteknik sorunlar anlatılmaya çalışılmıştır. Bu durumda yol yapım çalışmasının uygun mühendislik önlemlerinin alınması ile birlikte başlatılması beklenmektedir. Bir başka anlatımla, birbirleriyle hidrolojik bağlantılı, ~4 eğimli ve teknik yapım kurallarına uygun akaçlama hendeklerinin oluşturulması ve/veya temel kazısı yerine kazıklı temel seçilmesi gibi uygulamalara gidilebilirdi. Ancak gerekli mühendislik önlemleri önceden alınmadan temel kazısı çalışmalarına başlanmıştır. Sonuç, gereksiz para ve zaman kaybı olduğu gibi dokunulmadığında duraylı olan geniş bir alanın doğası bozulmuş, kayan malzemede zorunlu olarak bitişikteki baraj gölü havzasına atılmıştır (barajların ömrünü belirleyen en önemli etkenin millenme olduğu bilinerek).

Jeolojik harita ve blok gösterimden, YS'nun kenarayak kazısının yapıldığı Oc içersine doğru yönlendirildiği anlaşılabilmektedir. Geçirimli, yarı geçirimli ve geçirimsiz tortul kaya seviyelerinin ardalanmasından oluşan bir istifte (Mibu), Tabakalanma sistemlerinin, GB dalımlı senklinalin ve fayların, YS'nun hareketi üzerinde ne kadar çok etkili olabileceği bilinmektedir. Ayrıca, yaklaşık birbirlerine verevine olan iki fayı kesen üçüncü fayın üzerinde tamamen ve/veya ileri derecede ayrılmış zayıf bir istif yer almaktadır. Gerekli önlemler alınmadan kama biçiminde duran bu istifin dere tarafında yapılacak kazının sonucunu (büyük ölçekli bir kaymayı) önceden görmek jeolojik harita, hidrojeolojik rapor ve blok gösterimi okuyabilen bir mühendis için zor olmasa gerek. Benzer örnekler Yılmaz (1991)'de verilmiştir.



Şekil 7: Çalışma alanının basitleştirilmiş mühendislik jeolojisi haritası.

Figure 7. Simplified engineering geology map of the area.



Şekil 8. Buğrular Köprüsünün doğu kenarlık alanının blok gösterimi
 Figure 8. A block diagram illustrating eastern abutment site of the Buğrular Bridge

SONUÇ VE ÖNERİLER

Büyük ölçekli mühendislik yapı alanlarında mühendislik jeolojisi ve hidrojeolojinin ayrıntılı olarak ortaya çıkarılmasının özellikle doğru projelendirmeye katkısı büyüktür. Doğanın kendine özgü değişken, birazda karmaşık yapısını sondaj, araştırma çukuru, jeofizik gibi daha pahalı yöntemlerle anlamak çoğu yerde güçtür. Elde edilen kısıtlı bilgilerinde geniş alanların yorumunda kullanılması ayrıca önemli jeolojik özelliklerin ayrıntılı incelenmesine engel olabilmektedir. Bu nedenle, yüzey jeolojisi bulgularının (yapısal-stratigrafik-magmatik dokanaklar, fay-tabakalanma-eklem gibi belirgin süreksizlikler, stratigrafik istif ve istif içersindeki değişik seviyelerin mühendislik özellikleri ve birbirleriyle ilişkileri, çalışma havzasının hidrojeolojik özellikleri v.b. konuların) ayrıntılı olarak ortaya konması öncelikle gerekmektedir. Daha sonra uygun Jeoteknik araştırma yöntemlerinin seçilip uygulanmaya konması zaman ve maliyet açısından önemli kazançlar sağlayabilmektedir.

Burada öne sürülen yöntem, bir mühendislik yapı alanında ayrıntılı mühendislik jeolojisi araştırmalarından sonra kolay uygulanabilir niteliktedir. Gerek hidrojeolojik ve gerekse jeoteknik açıdan yadsınılamaz ön bilgi sunabilmektedir. Sadece otoyol projelerinde değil, pek çok büyük ölçekli mühendislik yapı alanlarında benzer sorunlarla karşılaşılmaktadır. Ancak bu sorunların büyük bir bölümü, doğanın değişken ve birazda karmaşık olan yapısının iyi anlaşılabilmesinden kaynaklandığı yadsınılamaz bir gerçektir. Bu nedenle bir yerbilimcinin, jeolojik ve hidrojeolojik özellikleri ortaya çıkarabilmesi için sınırsız çalışması gerekmektedir. Bazen çalışma alanının kilometrelerce dışına da çıkması gerekebilir.

KATKI BELİRLEME

Yazar YBHS'nin belirlenmesinde kullanılmak üzere önerilen yapısal yöntemin, doktora tezinde sunulmasına olanak sağlayan Prof.Dr. Vedat Doyuran ve diğer jüri üyelerine, ayrıca otoyol projelerinde çalışma olanağı sağlayarak yöntemin uygulanmasına katkıda bulunan Parsons ve diğer şirketlerin çalışanlarına ve meslekdaşlarına teşekkür eder.

KAYNAKÇA

Yılmaz, İ., 1985, Hydrogeological Investigation of the Akkuyu II (Camalan) Nuclear Power Plant Site (İçel - Türkiye): Ph.D. Thesis, Geological Engineering Department, Middle East Technical University.

_____, 1990a, Güzergah (Geçki) Seçimi ve bu seçimde Jeolojinin Önemi: Jeol. Müh. Der., S.36, 37-46.

_____, 1990b, Ankara Çevresinde Yer alan Pliyosen Göl Çökellerinin ve Ankara Kili, Bileşeninin Jeolojik ve Jeoteknik Özellikleri: Ankara Kili Sempozyumu.

_____, 1991, Gerede-Ankara ve Ankara Çevre Otoyoluna Genel ve Jeoteknik Açısından Bakış: Jeol. Müh. Der., S. 38, 43-50.

HAYMANA (ANKARA) DOĞUSUNDAKİ KIREÇTAŞLARININ MÜHENDİSLİK VE TEKNOLOJİK ÖZELLİKLERİ (*)

ENGINEERING AND TECHNOLOGICAL PROPERTIES OF THE LIMESTONES EXPOSING IN THE EAST OF HAYMANA (ANKARA)

Recep KILIÇ**

Ergun YEŞİLYURT***

ÖZ- Ülkemizde hızlı kentleşmeye paralel olarak konut ihtiyacı artmakta ve bunun sonucu olarakta doğal yapı malzemelerine ilgi güncelliğini korumaktadır. Yapıların mimari ve estetik yönünden iyileştirilmesinde en çok kullanılan doğal yapı taşı mermerdir. Mermerden plaka elde edilebilmesi ve kullanıma uygunluğunun önceden bilinmesi için mühendislik ve teknolojik özelliklerinin bilinmesine ihtiyaç vardır.

Bu araştırmada, Haymana (Ankara) doğusunda Emiççe dolağındaki kireçtaşlarının rezervi, işletme imkanları, mühendislik ve teknolojik özellikleri incelenmiştir. Muhtemel rezervi 2×10^6 m³ dür. Birim hacim ağırlığı ortalama 26.75 kN/m³, özgül ağırlığı 2.73, gözeneklilik %7.1, atmosfer basıncı altında ağırlıkça su emme % 0.4 ve kaynar suda su emme % 07 dir. Tek eksenli basınç dayanımı ortalama 628 kg/cm² ve sürtünme ile aşınma dayanımı 9 cm³/ 50 cm² dir. İlgili standartlara göre mermer olarak kullanılabilir özelliktedir. Ayrıca bu özellikler ülkemizde üretilen diğer önemli mermerlerin özellikleri ile karşılaştırılmıştır. Kireçtaşının don sonu basınç dayanımı Afyon kaplanpostu ve Afyon sarıdamarlarının basınç dayanımından daha yüksektir.

(*) Bu makale benzer şekli ile Prof.Dr.A.Suat ERK Sempozyumunda bildiri olarak sunulmuştur.

** Yard.Doç.Dr., Ankara Ü., Fen Fak., Geo.Müh.Bölümü, Ankara

*** Öğr.Gör., Cumhuriyet Ü., Meslek Yük. Okulu, İnş.Prog., Tokat

ABSTRACT : To the parallel of the development of Türkiye the need to the new settlements is increasing and this fact is caused the growth of the interest on the natural construction materials. The most common construction material from the simple country house to modern ones is marble which is used for the purposes of both main element an decorative covering material. In order to have a good quarrying method and later to provide products desired, the en gineering and technological properties of those marble should be known.

In this investigation quarrying situations and, en engineering and technological properties of the Emicce limestones exposing in the east of Haymana (Ankara) have been examined. The potential of the limestone in the quarry is around $2 \times 10^6 \text{ m}^3$ and can be produced with open-mined method by using today's developped machines. The average unit weight of marble is 26.75 kN/m^3 , spesific gravity is 2.73, porosity is 7.1 %, and water absorbtion ratio is 0.4 %. The samples have shown 628 kg/cm^2 unconfined compression strength, and has not changed very much after freezing which is around 618 kg/cm^2 , and the abrassion ratio under friction has determined as $9 \text{ cm}^3/50 \text{ cm}^2$. In the paper, the properties of these marbles have also been compaired to the other well known marbles cited in the literature.

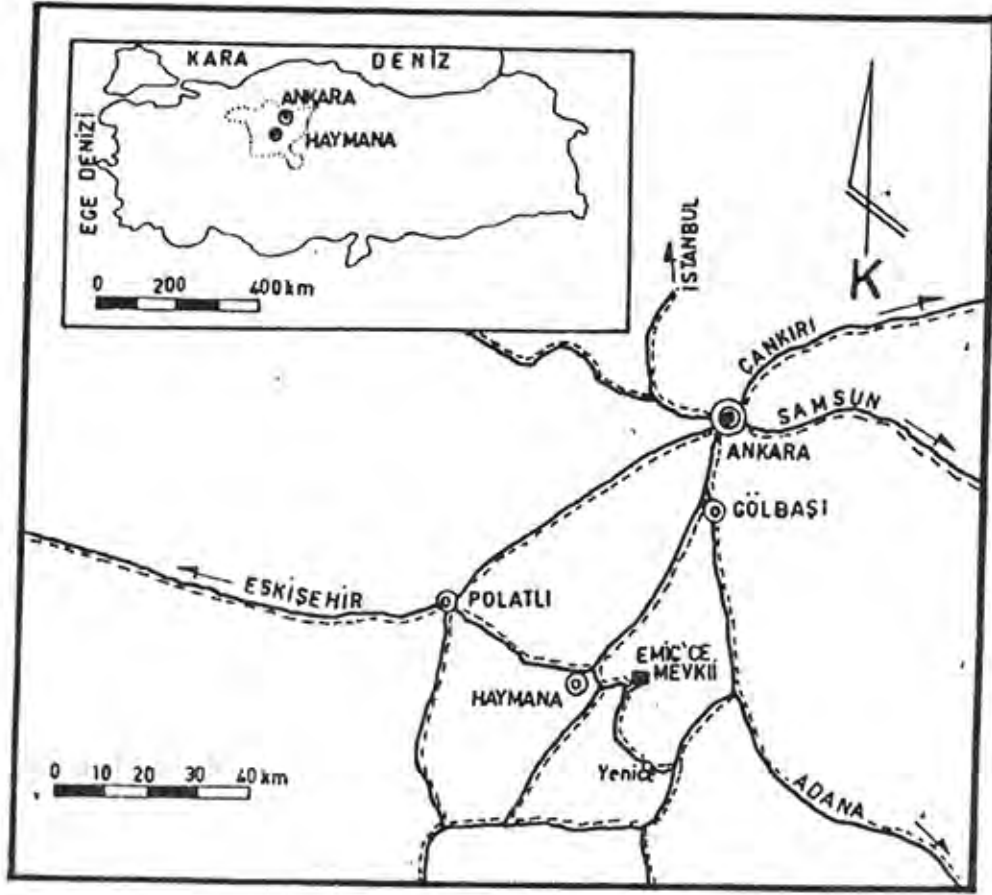
GİRİŞ

Çağdas mimari ve dekorasyonda dış cephe kaplamaları, iç mekanda taban döşemesi, merdiven ve mutfak bölümleri ile el sanatları gibi geniş kullanım alanına sahip olan mermer, doğal yapı taşları içerisinde önemli yere sahiptir. Doğal yapı taşlarının işletilebilme özellikleri ile teknolojik özelliklerinin araştırılması ile en uygun kullanım yeri hakkında bilgiler elde edilir.

İnceleme alanı Ankara'ya 82 km uzaklıkta olup, Haymana ilçesinin yaklaşık 5 km doğusunda Emiçce yöresinde yer almaktadır (Şekil 1). Bu çalışmada inceleme alanındaki mermerin rezervi, işletme imkanları ile mühendislik ve teknolojik özellikleri araştırılarak elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir. Bu özellikler ile Afyon ve Marmara mermerinin özellikleri karşılaştırılmıştır.

JEOLOJİ

İnceleme alanı ve yakın çevresinde çakıltası, kumtaşı, silttaşı ve seyiden oluşan karışık seri (melanj) içerisinde Üst Jura - Alt Kretase yaşlı kireçtaşı yer almaktadır. Bu birimlerin genel uzanımı NW-SE yönündedir (Ünalan ve diğ., 1976). Araştırmanın konusunu oluşturan açık gri, bej renkli, ince taneli kireçtaşları tektonik çatlakları dolduran kalsit damarları içerir. Belirgin bir tabakalanma görülmez. Yüzeyi bol miktarda e-



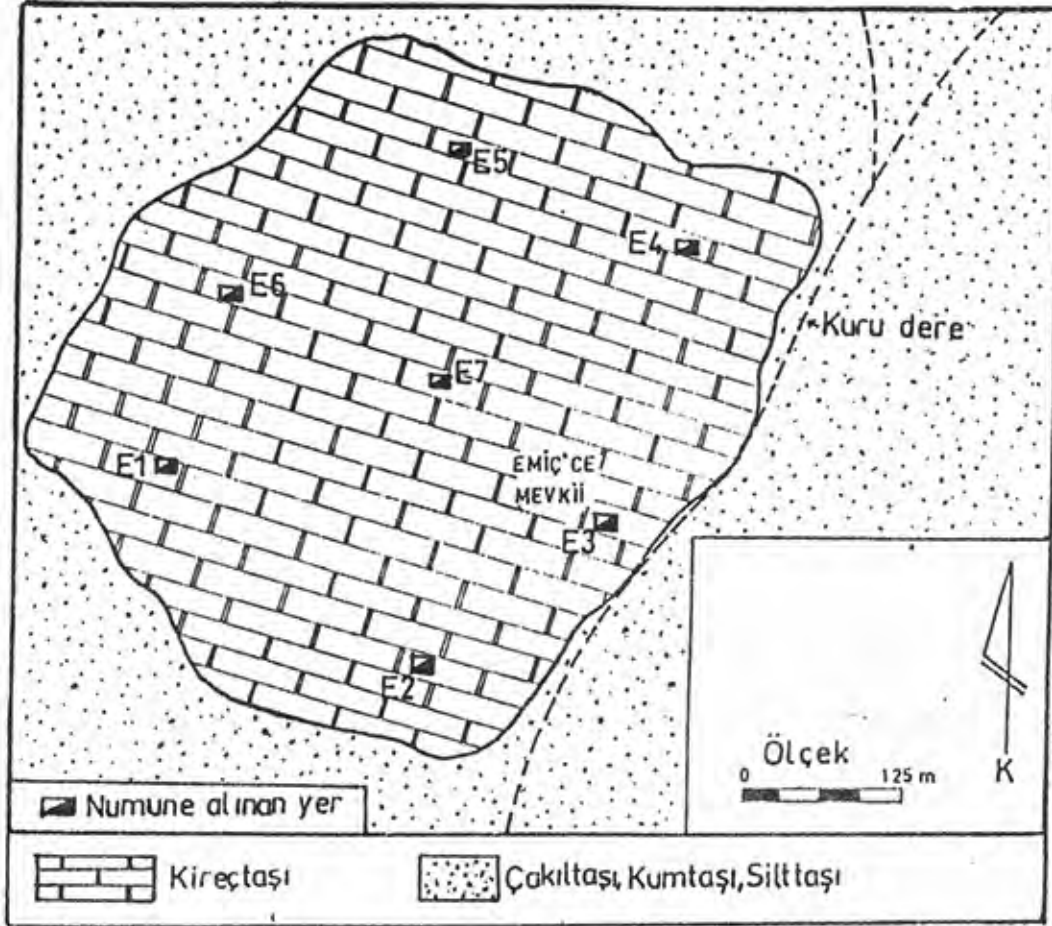
Sekil 1 - İnceleme alanı ulaşım haritası .

rime boşluklu ve çatlaklıdır. Petrografik incelemesinde mermerin genel olarak rekristalize olduğu, pellet, intraklast ve resifal kırıntılardan meydana geldiği belirlenmiştir.

REZERVİ VE İŞLETME ÖZELLİKLERİ

Melanj içerisinde blok görünümünde olan kireçtaşı yüzeyde yaklaşık 400 x 500 m boyutlarında dikdörtgen şeklindedir (Şekil 2). Blokun doğu sınırından geçen kuruderede yapılan ölçümlere göre yüksekliği ortalama 10 m dir. Muhtemel rezervi $2 \times 10^6 \text{ m}^3$ dür. İnceleme alanı yakın çevresinde aynı kireçtaşı blokları devam etmektedir.

Kireçtaşı, güneydoğuya doğru 20 derecelik bir topoğrafik eğime sahiptir. Mermer, ocaktan açık işletme metodu ile alınabilir. Yüzeyde bulunan yaklaşık 1.0-1.5 m kalınlığındaki erime boşluklu bol çatlaklı kısım sıyırma kazısı gerektirir. Kazılabilirlik yönünden "sertkaya" özelliğindedir.



Şekil 2 - İnceleme alanının lokal jeolojisi ve numune alma noktalarını gösterir harita

MÜHENDİSLİK VE TEKNOLOJİK ÖZELLİKLERİ

Mermerin mühendislik ve teknolojik özelliklerini belirlemek amacı ile kireçtaşının sahadaki konumu ve homojen oluşuda dikkate alınarak ilgili Türk Standardı'na uygun olarak 7 nokta-

dan örnekler alınmıştır(Şekil 2). Mühendislik ve teknolojik özellikleri TS 699 Doğal Yapı Taşlarının Muayene ve Deney Metodları standardına uygun olarak G.U. Teknik Eğitim Fakültesi Yapı Malzemesi Laboratuvarı ile Türk Standardları İnşaat Laboratuvarında incelenmiştir.

Mermerin mühendislik özelliklerinden; birim hacim ağırlığı, özgül ağırlığı, gözeneklilik, atmosfer basıncı altında ağırlıkça ve hacimce su emme ile kaynar suda ağırlıkça ve hacimce su emme değerleri belirlenmiştir.

Yapılan deneyler sonucunda mermerin ortalama birim hacim ağırlığı 26.57 kN/m^3 , Özgül ağırlığı 2.73, Gözeneklilik % 0.71, atmosfer basıncı altında su emme ağırlıkça % 0.37, hacimce % 0.57, kaynar suda su emme ağırlıkça % 0.23, hacimce % 0.61 olarak hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçların alt üst sınır değerleri ile standard sınır değerler Çizelge 1 de verilmiştir. Atmosfer basıncı altında su emme yeteneği ağırlıkça % 0.5 den azdır. Bu yüzden mermerin atmosfer etkilerine karşı dayanıklı olduğu sonucuna varılmıştır. Dondan sonraki basınç dayanımındaki azalma % 15 den az olup don şartlarına dayanıklıdır.

Özellikler	En az	En çok	Arit.ort.	Stan.sın.	
Bir. hac. ağır. (kN/m ³)	26.00	26.80	26.57	-----	
Özgül ağırlık	2.60	2.89	2.73	> 2.55	
Gözeneklilik (%)	6.7	7.4	7.1	<15.5	
Atm. bas. alt. su emme (%)	Ağırlıkça	0.3	0.5	0.4	< 1.8
	Hacimce	0.5	0.7	0.6	< 1.8
Kaynar suda su emme (%)	Ağırlıkça	0.4	0.6	0.5	< 1.8
	Hacimce	0.5	0.8	0.7	< 1.8

Çizelge 1- Mermerin Mühendislik Özellikleri

Teknolojik özelliklerinden; tek eksenli basınç dayanımı, dondan sonraki basınç dayanımı, eğilmede çekme dayanımı, darbe dayanımı, sürtünme ile aşınma dayanımı ve don kaybı(tabii don) ağırlıkça belirlenmiştir. Bu özelliklerin en az, en çok, aritmetik ortalaması ile standard sınır değerleri Çizelge 2 de veril-

mıstır. Mermerin ortalama tek eksenli basınç dayanımı hava kurusu 628 kgf/cm^2 , su emdirilmiş 624 kgf/cm^2 ve don sonu basınç dayanımı 618 kgf/cm^2 dir. Darbe dayanımı ortalama 7 kg cm/cm^3 , sürtünme ile Böhme aşınması $9 \text{ cm}^3/50 \text{ cm}^2$ ve don kaybı ağırlıkça % 0.4 olarak belirlenmiştir.

Özellikler		En az	En çok	Arit.ort.	Stan.sın.
Tek.eks.bas. day.(kgf/cm^2)	Hava kurusu	612	643	628	>500
	Su emdirilm	612	636	624	>500
Don.sonu.basınç dayanımı (kgf/cm^2)		611	636	618	>500
Eğilm.çekme day.(kgf/cm^2)	Hava kurusu	74	98	86	> 40
	Su emdirilm	71	89	79	> 40
Darbe dayanımı(kg cm/cm^3)		6	7	7	< 6
Sürtünme ile aşınma daya- nımı(Böhme) ($\text{cm}^3/50 \text{ cm}^2$)		6	12	9	< 15
Don kaybı(doğal) (ağırlıkça %)		0.4	0.4	0.4	< 5

Çizelge 2- Mermerin Teknolojik Özellikleri

Haymana Emiçce mermeri ile Marmara ve Afyon mermerlerinin bazı özelliklerinin karşılaştırılması:

Teknolojik özellikleri bakımından dünya mermer literatüründe önemli yere sahip Marmara ve Afyon mermerleri çok eski zamanlardan beri işletilmektedir. Marmara mermeri; ilgili standartlara göre yüksek dayanımlı, don etkisine dayanıklı, su emmesi ve aşınma direnci uygundur. Görünüm, renk ve fiziko - mekanik özellikler yönünden İtalya mermerlerine benzemektedir (Erguvanlı ve diğ.1972, Yüzer 1973).

Afyon mermeri; orta dirençli, don etkisi yönünden standartlara uygun, aşınma direnci düşük bir mermerdir. Afyon-İncehisardaki mermerler; fiziki görünüm ve mekanik özelliklerine göre Afyon kaymak, Afyon şeker, Afyon kaplanpostu ve Afyon sarı damarlı gibi isimler almakla birlikte mühendislik özellikleri yönünden birbirine çok benzemektedir (Güleç 1973). Kalsit

kristallerinden oluşan Marmara ve Afyon mermerleri ile Emicce yöresindeki mermerin birim hacim ağırlığı, ağırlıkça su emmesi, gözenekliliği, serbest basınç dayanımı, don sonu basınç dayanımı ve eğilmede çekme dayanımı Çizelge 3 de verilmiştir.

Mermer Türü	B. h. ağı Ar.ort. (kg/m^3)	Ağı. su. em. Arit.ort. (%)	Gözen. Ar. or. (%)	S. bas. da. Alt-Üst (kg/cm^2)	Don. s. b. d. Arit. or. (kg/cm^2)	Eğ. çek. Alt-Üst (kg/cm^2)
Marmara mermeri	27.00	0.60	7	1080-1157	---	74-98
Marmara dolomiti	28.10	1.04	11	1005-1103	---	88-98
Afyon kaymak	27.20	1.04	--	745-824	667	---
Afyon şeker	27.20	1.06	--	598-785	637	---
Afyon kaplanpostu	27.30	1.59	--	569-589	530	---
Afyon sarıdamarlı	27.30	1.39	--	530-598	539	---
Emicce (Haymana)	26.57	0.40	7.1	612-643	618	74-98

Çizelge 3- Marmara, Afyon ve Emicce mermerlerinin özellikleri

Emicce mermerinin birim hacim ağırlığı Marmara ve Afyon mermerlerinkinden daha düşük ancak standard sınır değerler içerisinde. Ağırlıkça su emme % 04 olup diğerlerinin değerine göre daha düşüktür. Marmara mermeri ve Marmara dolomitleri en yüksek basınç dayanımına sahiptir. Emicce mermerinin tek eksenli basınç direnci 612 ile 643 kg/cm^2 arasındadır. ve Afyon kaymağının dışında diğer Afyon mermerlerinin dirençlerinden daha yüksektir.

Don sonu basınç dayanımı yönünden Emicce mermeri ; Afyon kaplanpostu ve Afyon sarıdamarlıdan daha yüksek. Afyon kaymağı ve Afyon şekerinden daha düşük olup ortalama 618 kg/cm^2 dir. Eğilmede çekme dayanımı 74-98 kg/cm^2 arasında değişmektedir. Marmara mermerinin çekme dayanımı ile aynı, Marmara dolomitinin dayanımından düşüktür.

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Haymana - Emiçce (Ankara) yöresindeki mermerin jeolojik, mühendislik ve teknolojik özellikleri incelenerek aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

1. Bölgedeki açık gri, bej renkli mermer; Pellet, intraklast ve resifal kırıntılardan oluşan rekrystalize kireçtaşıdır. İnce taneli olan bu kireçtaşları tektonizmaya bağlı olarak ince kalsit damarları içerir.
2. Görünür rezervi yaklaşık $2 * 10^6 m^3$ olan mermer, kazılabilirlik yönünden "sert kaya" klasındadır ve açık işletme yöntemi ile işletilebilir.
3. Birim hacim ağırlığı ortalama $26.57 kN/m^3$, özgül ağırlığı 2.73, atmosfer basıncı altında ağırlıkça su emme % 04, kaynar suda ağırlıkça su emme % 05 dir.
4. Su emdirilmiş tek eksenli basınç direnci ortalama $624 kg/cm^2$ don sonu basınç direnci $618 kg/cm^2$, su emdirilmiş eğilmede çekme direnci $79 kg/cm^2$, darbe dayanımı $7 kg/cm^3$, sürtünme ile aşınma (Böhme) dayanımı $9 cm^3/50 cm^2$ ve don kaybı ağırlıkça % 04 olarak belirlenmiştir.

Elde edilen bu değerler TS 2513 Doğal Yapı Taşları, TS 2809 Doğal Parke Taşları ile TS 1910 Kaplama Olarak Kullanılan Doğal Parke Taşları standartları sınır değerleri içerisinde kalmaktadır.

Öneriler:

Açık işletme ile alınabilecek mermer sahasında patlayıcı maddelerin kullanılması blok zaiyatını artıracığından mermer tel makinası, sondaj makinası ve mermer devirme makinası gibi yeni teknoloji kullanarak üretim yapılmalıdır. Yeni teknoloji ilk yatırım maliyetini artırmasına karşılık işçilik hizmetlerinin azaltılması ve üretim artışını sağlayacağından daha ekonomik olabilecektir.

İnceleme alanının yerleşim birimlerine yakın olması, ulaşım ve su temini açısından tesis kurmaya müsait alanın bulunma-

si blok işleme atölyesi gibi yatırımlara imkan tanıyabilir. Böylece nakliye maliyetleri de en aza indirilebilir.

Mermerin rengi, sertliği ve parlatılabilme özelliğinin uygun olması nedeni ile kaplama, dekorasyon ve su ile irtibatlı yatay ve cephe kaplamasında kullanılabilir.

YARARLANILAN KAYNAKLAR

- GÜLEÇ, K., (1973), Afyon mermerlerinin mühendislik jeolojisi ve fiziko - mekanik özelliklerinin ayrışma ile ilişkisi, Doktora tezi, İTÜ, Maden Fakültesi yayını, İstanbul.
- ERGUVANLI, K., YÜZER, E., GÜLEÇ, K. ve ZANBAK, C., (1972), Türkiye mermerlerinin fiziko-mekanik özellikleri ve mermerlerin sınıflandırılmaları hakkında düşünceler, TJK Bülteni, XV, 2, 153-170, Ankara.
- ÜNALAN, G. ve DİĞ., (1976), Haymana - Polatlı yöresinin (Güney-batı Ankara) Üst Kretase - Alt Tersiyer stratigrafisi ve paleocoğrafik evrimi, TJK Bülteni, 19, 159-176, Ankara.
- YÜZER, E., (1973), Marmara adası mermerlerinin mühendislik jeolojisi ve anizotropik özelliklerinin araştırılması, İTÜ, Maden Fakültesi kitaplığı, İstanbul.

**KAYAÇLARIN KRİP ÖZELLİKLERİ VE BEYPAZARI TRONASININ
KRİP DAVRANIŞININ ARAŞTIRILMASI**

**THE INVESTIGATION OF THE TIME DEPENDENT BEHAVIOUR OF
BEYPAZARI TRONA DEPOSIT**

Haluk BAYRAKTAR*
Mahir YARDAR**

ÖZ: Sodalı kayaçların zamana bağlı davranış karakteristiği ve dayanım parametrelerini araştırmak ve trona numuneleri üzerinde zamana karşı deformasyonların ölçülmesi amacı ile deney yöntemi belirlenmiş ve deney düzeneği oluşturularak krip [$\epsilon = f(t)$] eğrileri elde edilmiştir. Deney sonuçlarına göre her deney için belirlenen gerilme basamağı ve bekleme süresine bağlı olarak, kırılma değerlerindeki artış ile zamanla pekleşme davranışının ortak bir diyagramda gösterilmesi sonucu tronanın davranışını belirleyen üç önemli karakteristik eğri (Ani yükleme, pekleşme ve direnç düşüm eğrisi) belirlenmiştir. Deney sonuçlarının ortak bir diyagramda gösterilmesi sonucu maksimum (σ_{max}) ve kritik gerilme (σ_{kritik}) değerlerinin orantılı olarak artmasına karşın, birim deformasyon (ϵ) değerleri ile maksimum gerilme arasında herhangi bir ilişki gözlenememiştir.

ABSTRACT: This study aims to determine the time-dependent deformation or slow deformation in continuation of Trona under constant stress which is less than yielding stress. After selecting the experimental methods, creep [$\epsilon = f(t)$] diagrams are obtained in order to measure the time dependent deformation of trona under constant stress.

According to experimental results showing the diagrams of the time dependent behaviour of Trona, three important characteristic diagrams were determined (sudden loading curve, hardening curve, resistance decreasing curve).

After forming $\sigma - \epsilon - \log t$ diagrams by means of the results of the creep experiments, the diagram shows that maximum and critical stress values increase proportionally but there is not any relationship between maximum stress and strain values.

1- GİRİŞ:

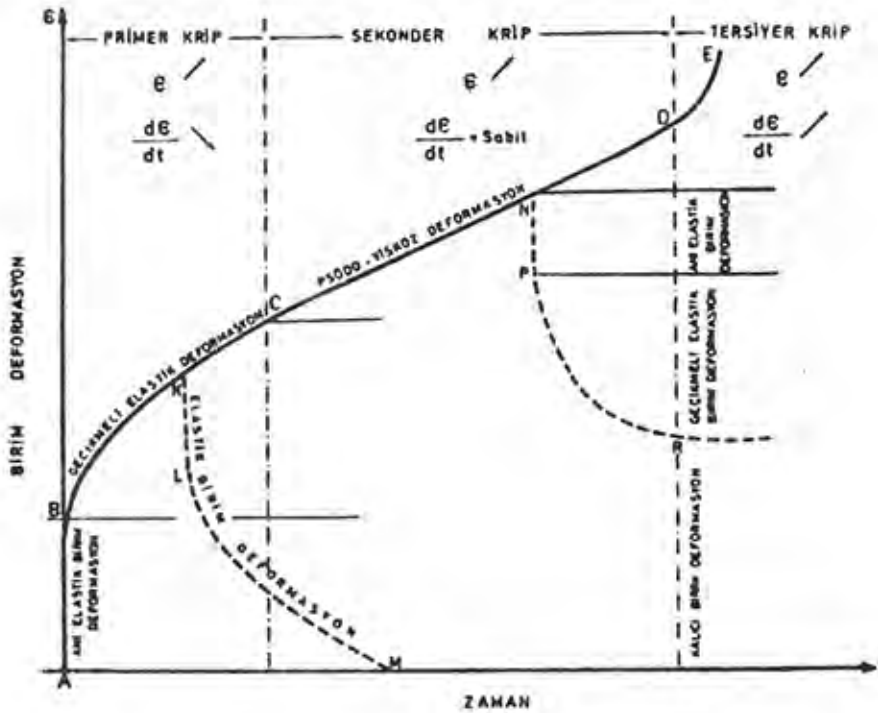
Diğer mühendislik yapılarında olduğu gibi yeraltı ve yerüstü kaya yapılarının tasarımı ve projelendirilmesinde, kaya ortamın yeterince tanımlanabilmiş olması, en ekonomik, güvenli ve hızlı çalışma koşullarının sağlanması, teknik girişimin başarılı olmasına etki eden faktörlerin başında gelmektedir. Bu amaçla hazırlık, araştırma, planlama, projelendirme, uygulama ve uygulama sonrası yürütülen mühendislik jeolojisi ve kaya mekaniği çalışmaları ile var olan sorunlara çözümler getirmek mümkündür.

* Arş.Gör. Y.Müh.İTÜ Maden Fak.,Uyg.Jeol.Anabilim Dalı, Maslak/İST.

**Prof.Dr.Müh.İTÜ Maden Fak.,Uyg.Jeol.Anabilim Dalı, Maslak/İST.

Bu amaçla kayaçların krip davranışının belirlenmesi için, kaya ortamının mevcut nitelikleri ve durumlarını belirlemek, stabilizeye etkiyen faktörleri denetlemek üzere in-situ deneyleri ile laboratuvarında taşlar üzerinde yapılan krip deney sonuçları karşılaştırılarak kayanın zamana bağlı dayanımını yönlendiren parametreler araştırılmalı, değerlendirilmeli ve modeli oluşturulmalıdır.

Kayaçların krip özellikleri, tek ve üç eksenli basınç, çekme, eğilme yükleri altında değişik koşullarda incelenmiştir. Krip deneyleri genellikle sabit yük altında zamana bağlı deformasyonların ölçülmesi şeklinde uygulanmaktadır. Deneyler sonuçları ya ampirik (deneysel) formüllerle veya reolojik fiziksel modellerle açıklanmaya çalışılmıştır. Krip deneylerinde gerilme ve sıcaklık sabittir. Fakat kayanın yapısı ve gerilmelerin kaya içindeki durumu deformasyonların artmasıyla değişir. Bunun sonucu olarak Şekil: 1'de verilen ve bütün karakteristik özellikleri gösterilen değişik krip davranışları ortaya çıkmıştır.



Şekil: 1- Genelleştirilmiş Krip Eğrisi

2- KAYAÇLARIN KRİP DAVRANIŞINI BELİRLEME YÖNTEMLERİ:

Doğada kayaçların genel anlamda heterojen, anizotrop olması ve birbirlerine göre özelliklerinin değişmesi aynı formasyona ait kayaçların bile mineralojik bileşimleri ile mekanik özelliklerinin birbirinden farklı olması ve geçirdiği tektonik olaylar nedeni ile kayaçların gerçek krip davranışının açıklanması oldukça güçtür. Bu nedenle değişik litolojik bileşime sahip kayaçlara ait krip deney sonuçlarının ve eğrilerinin genel formüllere dayanılarak açıklanması ancak bir yaklaşımdır. Kullanılan formüllerin lineer olması nedeni ile non-lineer olan kaya ortamların in-situ davranışın açıklanmasında kanıtlanmış yaklaşımlar ve yorumların kullanılması en doğru yoldur.

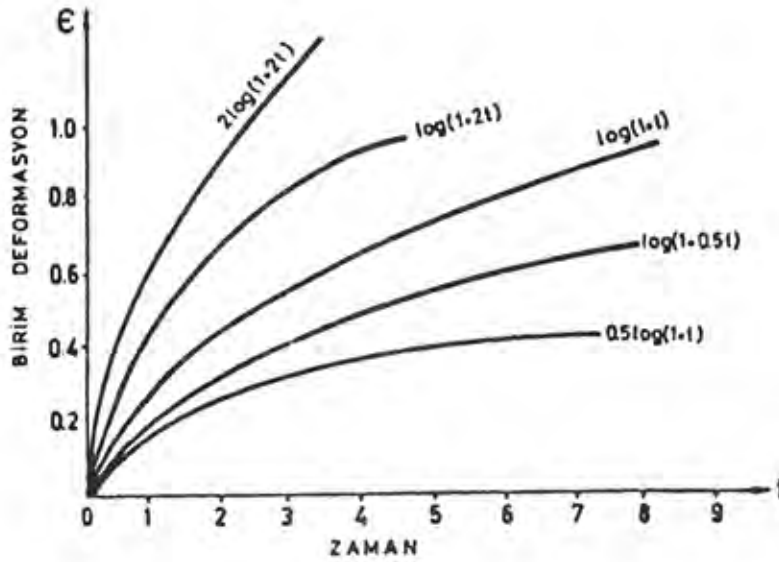
Kayaçların krip davranışının açıklanmasında ve problemlerin çözümünde genel olarak iki ana yaklaşım bulunmaktadır. Bunlar,

- a) Ampirik yaklaşımlar,
- b) Teorik ve basit fiziksel idealleştirmelerle yaklaşımlardır.

2. 1- Ampirik Yaklaşımlar:

Ampirik yaklaşımların esas amacı, deneysel çalışmalar sonucu elde edilen zaman ve birim deformasyon verilerini, sıcaklık ve diğer değişkenlerin de gözönüne alındığı gerilmelere bağlı fonksiyonlarla ifade etmektir. Elde edilen deney sonuçları bilinen veya yeni geliştirilen ampirik eşitliklerde yerine konularak sabit gerilme altında zamana bağlı olarak meydana gelen birim deformasyonlar hesaplanabilmektedir.

Bu amaçla deneysel çalışmalar sonucu elde edilen genel krip eğrisinde, primer krip aşamasını formüle etmek için logaritmik ve hiperbolik fonksiyonlar ile bunların kombinasyonlarından oluşan fonksiyonlar yaygın olarak kullanılmaktadır.



Şekil: 2- $A \log (1+Bt)$ Grafiği

Deneyisel çalışmalar sonucu elde edilen genel krip eğrisinde sekonder krip aşamasını karakterize eden bölge $y = ax$ gibi bir doğru olduğu için formüle edilmesi oldukça kolaydır.

Tipik bir krip eğrisine ait deney sonuçları incelendiğinde, Tersiyer krip aşamasında deformasyon hızının zamanla hiperbolik olarak arttığı ve yenilme zamanına asimtotik olduğu görülür. $[\epsilon = f(t)]$ fonksiyonunun Tersiyer krip aşamasında t_f yenilme zamanına asimtotik olması $t = t_f$ noktasındaki 1. türevinin sonsuza (∞) eşit olmasını gerektirmektedir. Bu ise $d\epsilon/dt = N/(t_f - t)$ gibi eşitlikle ifade edilmektedir.

Günümüze kadar yapılan deneyisel ve teorik çalışmalar sonucu genel krip eğrisinin tüm aşamalarını içeren eşitlik aşağıda verilmiştir.

$$\epsilon = A + B \cdot \log t + Ct$$

Burada;

A= Zamandan bağımsız ani elastik birim deformasyon

Blogt= Primer krip birim deformasyonu

Bve C= Deney koşullarına, gerilme miktarına ve malzemenin türüne bağlı sabitlerdir.

Deney sırasındaki birim deformasyon hızı (ϵ') ise yukarıda verilen eşitliğin zamana göre türevinin alınması ile elde edilmektedir.

$$d\epsilon/dt=B/t+C$$

Buna göre, primer krip aşamasında birim deformasyon hızı zamana göre giderek azalmakta ve daha sonra sekonder krip aşamasında ise sabit olarak C değerine eşit olmaktadır.

2. 2- Teorik ve Basit Fiziksel İdealleştirmelerle Yaklaşımlar:

Kayaçların karakteristik olarak zamana bağlı davranışları, viskoz ve ideal malzemelerin davranış modellerini inceleyen reoloji yardımıyla da açıklanabilmektedir.

Malzemelerin zamana bağlı mekanik davranışları, Hook'un elastik deformasyonlar için kullandığı çelik bir yay, Newton'un viskoz davranış için kullandığı bir silindir Piston ve St.Venant'ın plastik deformasyonlar için kullandığı sürtünme takozundan oluşan basit deformasyon elemanlarının seri ve/veya paralel olarak birbirine bağlanması ile elde edilen reoloji modelleri ve bu modellerden elde edilen bünye denklemleri yardımıyla açıklanmaktadır.

3- KRİP DENEYLERİ VE ÖLÇME METODLARI:

Laboratuvarda kayaçların sabit yük altında zamana bağlı deformasyonları ölçecek özel bir metod yoktur. Genel prensip deney numunesi üzerinde sabit bir gerilme sağlayarak zamana bağlı deformasyonların ölçülmesidir.

Fakat her zaman sabit bir yük, sabit bir gerilmeyi elde etmeye yeterli değildir. Bu nedenle elektro-hidrolik mekanizmalara gereksinim vardır. Krip deneylerinin esas amacı sabit gerilmeyi elde ettikten sonra zamana bağlı olarak numunede meydana gelen deformasyonları $\pm 1 \times 10^{-4}$ mm. hassasiyetle ölçmektir.

Eksenel yer değiştirmelerin ölçümünde numune üzerine yerleştirilen elektriksel problemler (indüktif boy ölçerler) en çok kullanılan metoddur.

Bir deformasyon ceketi (çerçeve) yardımıyla numune çevresine yerleştirilen indüktif boy ölçerler yardımı ile numunede meydana gelen herhangi bir deformasyon sonucu, proba yerleştirilmiş bir bobin içinde, içeri veya dışarı hareket edebilen demir çubuk yardımıyla, deformasyonlar indüksiyon akımına dönüştürölür. İndüksiyon akımını elektrik sinyalleri haline çeviren bir voltmetre kanalı ile okunan bu değişimler sayısal hale getirilmektedir.

Diğer bir metod ise strain-gage kullanmaktır. Bu metod da ise numune üzerine özel yapıştırıcılarla yapıştırılan küçük metal levhalar yardımı ile numunede meydana gelen deformasyonlar ölçölür. Metal levhalarda meydana gelen uzama ve kısalmalar bir regölátör yardımıyla elektrik sinyalleri haline getirilir. Aynı şekilde bir voltmetre kanalı ile okunan bu sinyaller sayısal hale dönüştürölerek değerlendirilir.

Bunların dışında, numune etrafına yerleştirilen ekstansometreler yardımıyla kripl deformasyonlarını kabaca da olsa ölçmek mümkündür.

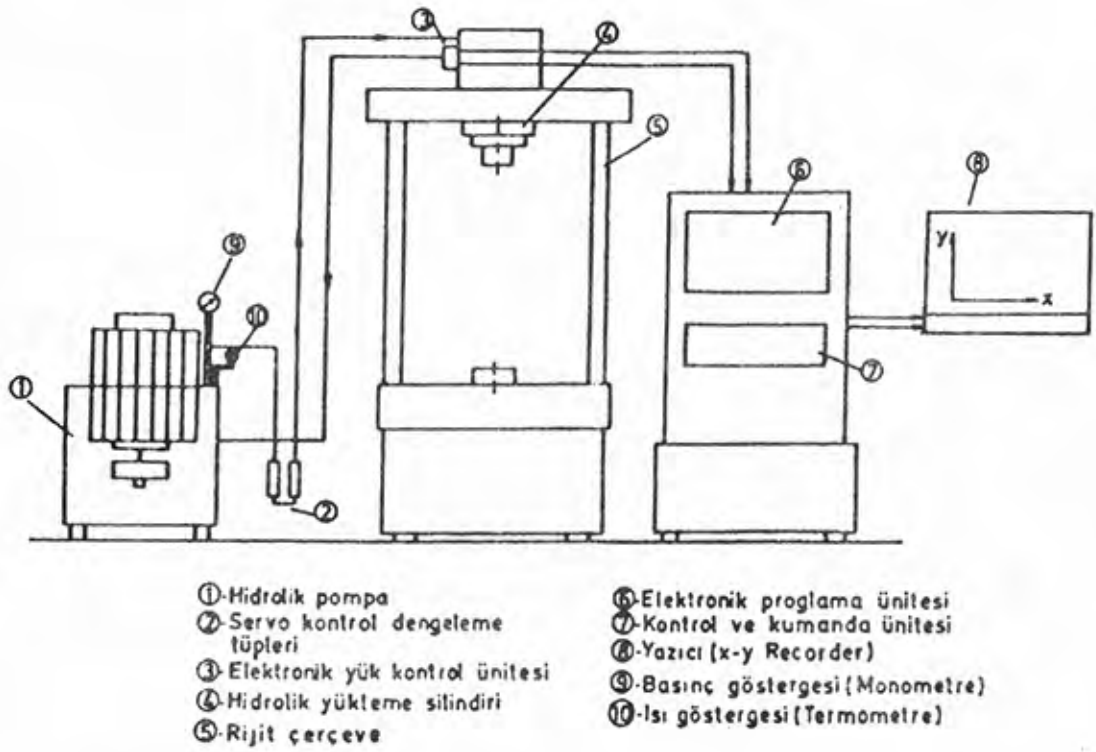
3. 1- Trona Üzerinde Yapılan Krip Deneyleri ve Ölçme Metodu:

Laboratuvarda tronanın krip özelliklerini belirlemek amacı ile inceleme alanında daha önceden açılmış olan EL-3, AR-1 ve AR-2 No'lu sondajlardan alınan trona numuneleri üzerine sabit yük uygulanarak bu yük altında zamana bağlı olarak meydana gelen deformasyonlar ölçölmüştür.

Krip deneyi öncesinde ve sırasında belirli koşulların yerine getirilmesi deney sonuçlarının güvenilirliği açısından son derece önemlidir. Bunlar;

- Yükleme sisteminin yeterli kapasitede olması ve uygulanan sabit yükün uzun süre aynı düzeyde tutulabilmesinin sağlanması,
- Deformasyon ölçme sisteminin yeterli duyarlılıkta ve sabit olması,
- Ortamdaki sıcaklığın değişken olmamasıdır.

Bu araştırmada 1. ve 2. koşulları sağlayan 160 ton kapasiteli elektronik servo kontrollu yükleme sistemi M.T.S. pres kullanılmıştır.



Şekil: 3- M.T.S. Elektronik Servo Kontrollu Hidrolik Pres.

Deneyisel çalışmalar sırasında aşağıdaki koşullar sağlanmaya çalışarak krip deneyleri yapılmıştır.

- Trona numuneleri 1 ay süre ile laboratuvar şartlarında bekletilerek deneylerin tümü doğal koşullar altında yapılmıştır.

- b) Deney örneklerinin seçiminde olabildiğince düzgün homojen ve izotrop numuneler olmasına dikkat edilmiştir.
- c) Deneyler serbest tek eksenli yüklemeler sonucu maksimum basınç direncinin (σ_{max}) % 20, % 40, % 60 ve % 80' ine karşılık gelen sabit yük değerlerinde dört kademeli olarak gerçekleştirilmiştir.

Deneyler sırasında sistemde deformasyon ölçümleri ise aşağıdaki gibi yapılmaktadır.

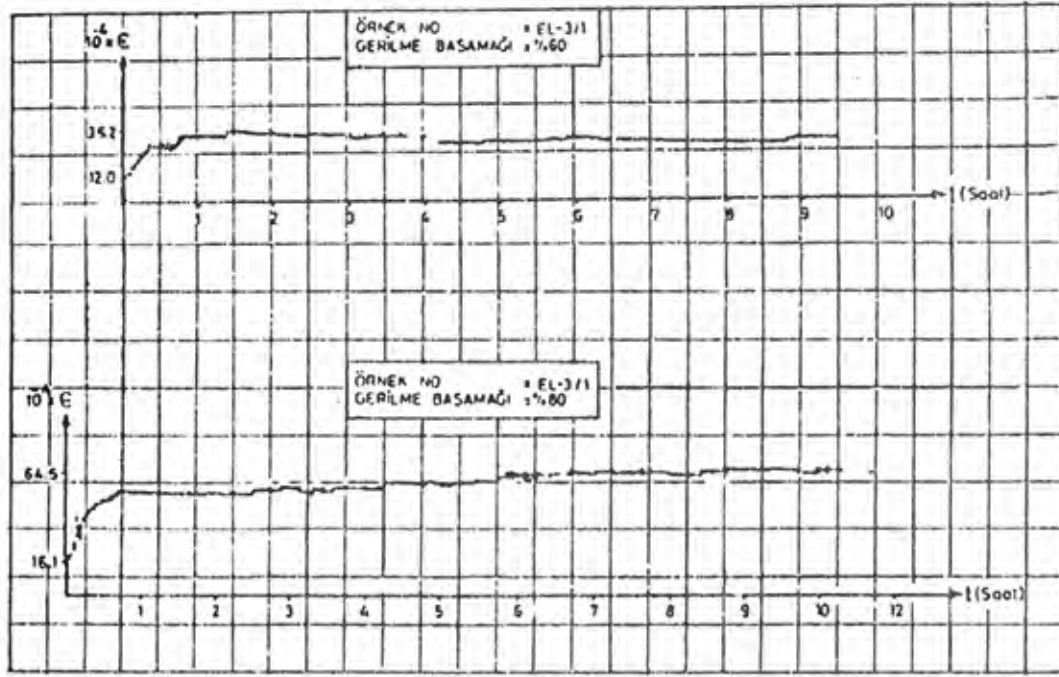
Numune üzerine bir gerilme uygulandığı zaman, deformasyonlara bağlı olarak piston hareket etmekte ve ilk konumunda (sıfır konumundan) bir değişiklik olmaktadır. Deformasyonların bir fonksiyonu olan bu hareket bir kuvvet kaynağı (yükseltici) tarafından yükseltilerek volt cinsinden voltmetre kanalı ile okunmaktadır.

Aynı zamanda pistonun bu hareketini elektrik sinyalleri halinde dışarı verebilen sistemde değişimler bu sinyalleri alabilen bir çizici (x-y recorder) yardımıyla çizdirilebilmektedir. Deformasyon miktarı ile voltaj ilişkisi doğrusal olan sistemin programlanabilir oluşu nedeniyle mekanik sistemlere göre laboratuvar sonuçlarına yansıyan kişisel deney hatalarını en aza indirgeyebilmektedir.

4- DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ:

Her deneyde gerilme basamakları % 20 artırılarak dört kademeli üç adet kripi deneyi yapılmış ve sonucunda elde edilen $\epsilon = f(t)$ krip eğrileri Şekil: 4'de verilmiştir.

Deneylerde uygulanan gerilme basamağı ile krip eğrisinin eğimi arasında doğrusal bir ilişki olduğu gözlenmiştir. Bu durum özellikle % 60 ve % 80 gerilme basamaklarında elastik davranışta artma ve bunun devamı olan primer krip aşamasında, logaritmik eğimde fazlalaşma görülmektedir.



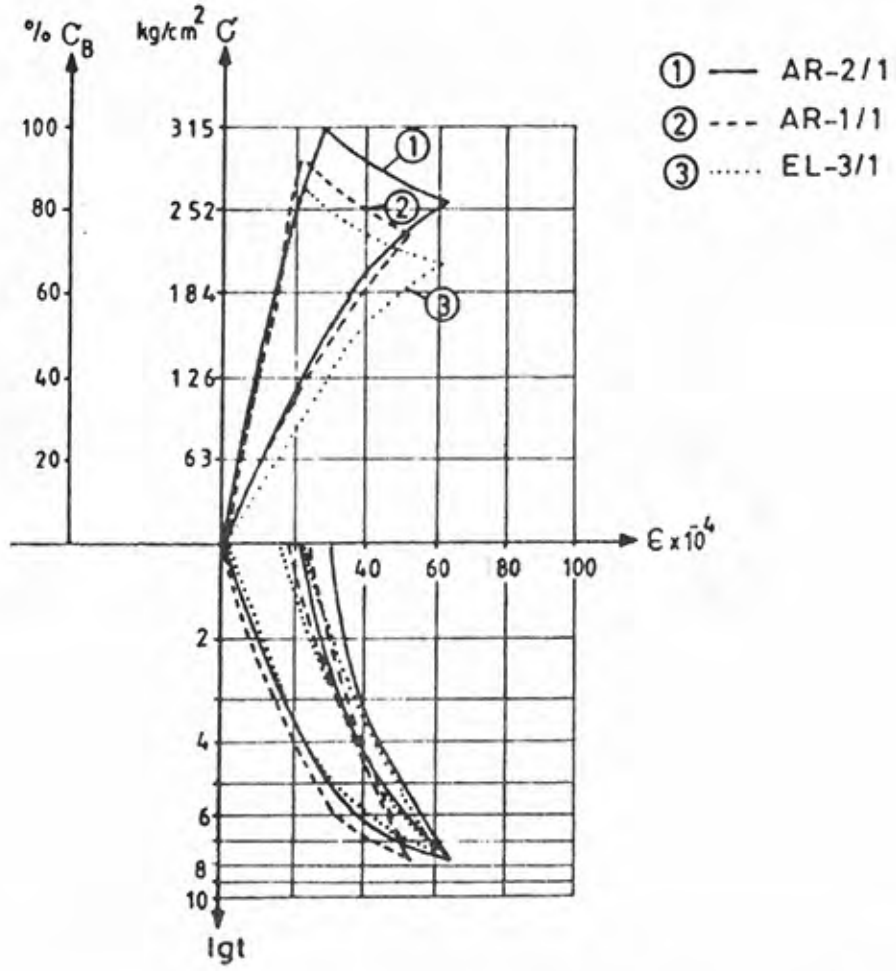
Şekil: 4- Tek Eksenli Gerilme Durumunda Tronanın Zamana Bağlı Örnek Krip $[\epsilon=f(t)]$ Eğrileri

Sekonder krip aşamasında ise zamana bağlı olarak plastik deformasyonlarda çok yavaş bir artma meydana gelmiştir.

Deneyler üç adet trona numunesi üzerinde ilk dört basamağı zamana bağlı en son % 100 basamağı ise zamandan bağımsız olarak yapılmıştır.

Bundan sonraki aşamada tronanın karakteristik davranışının belirlenmesi amacı ile σ - ϵ - $\log t$ diyagramlarının oluşturulması amaçlanmış ve ikişer saat zaman aralığına karşılık gelen her gerilme basamağı için krip eğrilerinden elde edilen $\epsilon_{\text{elastik}}$ ve ϵ_{krip} verilerin ortak bir σ - ϵ - $\log t$ diyagramında gösterimi sonucu tronanın davranış karakteristiği elde edilmiştir.

Şekil: 5'de görüleceği gibi üç deney sonucunda elde edilen tronanın davranış karakteristiği eğrileri (ani yükleme, direnç düşüm ve pekleşme eğrileri) birbirine yaklaşık uyum göstermektedir.



Şekil 5- σ - ϵ -logt Diyagramında Tronanın Davranış Karakteristiğinin Ortak Gösterimi

Fakat $\sigma_{\max}$ değerleri ile σ_{kritik} değerlerinin orantılı artmasına karşın, birim deformasyon değerleri ile $\sigma_{\max}$ arasında orantılı bir ilişki gözlenememiştir.

Deney sonuçlarına göre, trona için $\sigma_{\max} = 288 \text{ kg/cm}^2$ ve $\epsilon_{\text{kritik}} = 61.3 \times 10^{-4}$ olarak belirlenmiştir.

Elde edilen σ_{kritik} değerleri deney başlangıcından sonraki 10 saatlik ortalama zaman aralığına karşılık gelmektedir. Bu nedenle zamanın daha uzun tutulması durumunda σ_{kritik} değerlerinin artabileceği dikkate alınmalıdır.

YARARLANILAN KAYNAKLAR:

- BIENIAWSKI, Z.T., (1970), Time-Dependent Behaviour of Fractured Rock, International Journal of Rock Mechanics and Mining Science, Vol. 2, No. 3, pp. 123-127.
- BAYRAKTAR, H., (1989), Beypazarı Trona Sahasındaki Sodalı Kayaçların Zamana Bağlı Dayanım Parametrelerinin Araştırılması, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Master Tezi.
- DOKTAN, M., (1986), Kayaçların Yorulmadan Dolayı Yenilme Zamanının Saptanması, Madencilik Dergisi, Cilt XXV.
- MURREL, S.A.F., MISRA, A.K., (1962), Time-Dependent Strain or Creep in Rocks and Similar Non-Metallic Materials, Bull. Inst. Min. Metall. Vol. 71, Part 7., pp. 358-378.
- PAŞAMEHMETOĞLU, G.A., (1982), Kayaçların Sünme Özellikleri ile Bazı Mekanik ve Fiziksel Özellikleri Arasındaki İlişki Üzerine Bir Çalışma, ODTÜ Maden Mühendisliği Bölümü, Ankara.
- VARDAR, M., (1979), Kayanın Zamana Bağlı Kırılma Davranışının Madenlerdeki Kaya Yapılarının Stabilitésine olan Etkisi, VII. Madencilik Kongresi, Ankara.

AKDEGİRMEN (AFYON) BARAJ YERİ VE TUNEL GÜZERGAHINDAKİ
KAYAÇLARIN JEOTEKNİK ÖZELLİKLERİ

Geotechnical Properties of Akdegirmen Damsite and Tunnel
Line Rocks

DZ

Feda ARAL *

Bu çalışmada, Akarçay üzerine kurulacak olan Akdegirmen baraj yerinde ve tünel güzergahındaki kayaçların jeoteknik özelliklerinin incelenmesi amaçlanmıştır.

Kayaçların süreksizlik düzlemleri değerlendirildiğinde "kırıklı-bloklı damarlı" kaya sınıfında yer aldığı belirlenmiştir. Sondaj karotları ile blok numunelerde yapılan fiziksel özellikleri saptamak amacı ile; birim hacim ağırlık, özgül ağırlık, porozite, boşluk oranı, doluluk oranı, su emme deneyleri; mekanik özellikleri saptamak amacı ile; tek eksenli basınç, endirekt çekme (Brazilian), nokta yük basıncı deneyleri yapılmış ve ayrıca elastisite modülü, kohezyon, içsel sürtünme açısı değerleri bulunmuştur.

Kayaçların, RQD kaya kalitesi özelliğine göre "fena-çok fena" kaya sınıfında olduğu, birleştirilmiş mühendislik sınıflamasına göre "orta-düşük modül oranlı, düşük-çok düşük dirençli" kaya sınıfında yer almaktadır.

ABSTRACT

This study is aimed to provide the geotechnic information of the rocks located of Akarçay ground Akdegirmen dam site and tunnel line.

According to the discontinuities of these rocks, they are placed in the "fractured-blocky seamy" rock classification. To find out physical characters of the drilling samples and block samples the following laboratory works have been done: unit weight, specific weight, porosity,

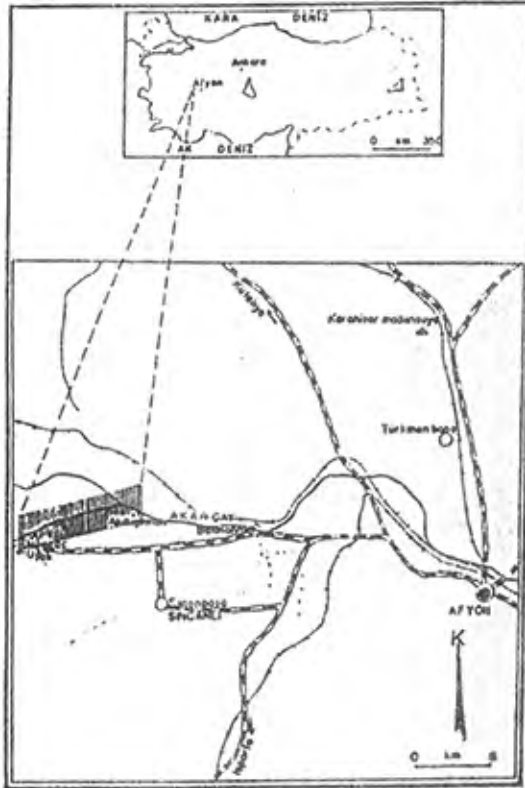
* Y.Doç.Dr.C.Ü.Jeoloji Mühendisliği Bölümü, SİVAS

void ratio, fully ratio, water absorption separately, to find out mechanical charecters of the samples, additional work has been done such as: uniaxial compression, Brazilian tests, point load compression and the modülüs elastisity, cohesion, angle of friction.

As a result, according to the rocks RQD quality and charecters, they are "poor-very poor". And according to the engineering classification, these rocks are "low-average modülüs ratio, low-heighly low strength".

GİRİŞ

Akdegirmen baraj yeri ve göl alanı Ege bölgesinin iç kesiminde, Afyon-Uşak arası 28.km de Akarçay üzerinde-
dir (Şekil 1).



Şekil 1 : Yerbulduru Haritası
Figure 1: Location Map

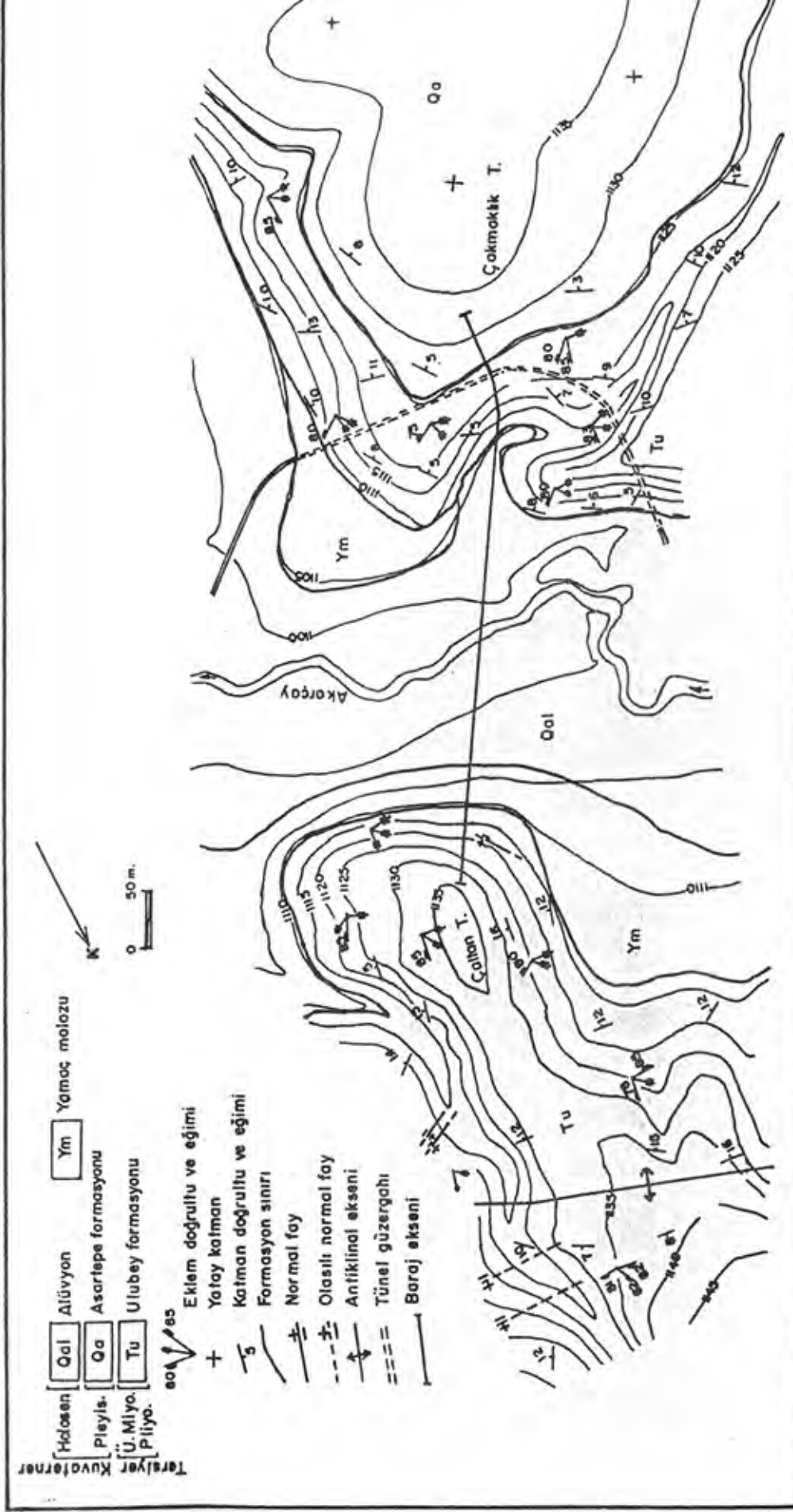
Baraj yeri ve tünel güzergahındaki kayaçların jeoteknik özelliklerinin incelenmesi için; arazide yapılan incelemeler ile, gerek sondajlardan alınan karot numuneleri üzerinde ve gerekse blok numuneler üzerinde fiziksel ve mekanik özellikleri belirleyecek deneyler yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar değerlendirilerek çeşitli kaya sınıflandırmaları yapılmıştır.

JEOLOJİ

Baraj yeri ve tünel güzergahında yeralan ve Ulubey formasyonu olarak adlandırılan birim; kireçtaşı, kumtaşı, çakıltaşı, marn, silttaşı ve tf türü kayaçlardan oluşmaktadır. Bu kaya türleri formasyon içersinde ardalanmalı olarak bulunmaktadır. Formasyon içersindeki kireçtaşları; beyaz, gri renkli "orta" kalınlıkta katmanlıdır. Kumtaşları; sarımsı beyaz renkli, orta sıklıkta karbonat çimentolu ve "orta" kalınlıkta katmanlıdır. Çakıltaşları; grimsi renkli genelde serpantin, kristalen kireçtaşı, kuvarsit, kuvarsalbit şist tanelerinden oluşan "orta-kalın" katmanlı ve poliijeniktir. Marnlar; yeşilimsi beyaz renkli, ince dokulu, "kalın" katmanlıdır. Silttaşları; grimsi renkli gevşek çimentolu "ince-orta" kalınlıkta katmanlıdır. Tüfler; koyu gri renkli biyotit, karbonatlaşmış piroksen ve amfibollerden oluşmuş, "ince-orta" kalınlıkta katmanlıdır. Yapılan incelemeler sonucu formasyonun yaşı "st Miyosen-Pliyosen" olduğu belirlenmiştir (şekil 2).

JEOTEKNİK

Baraj yeri ve dolayında yapılan jeoteknik incelemeler, arazi ve labaratuvar çalışmaları şeklinde yürütülerek, elde edilen veriler değerlendirilmiştir.



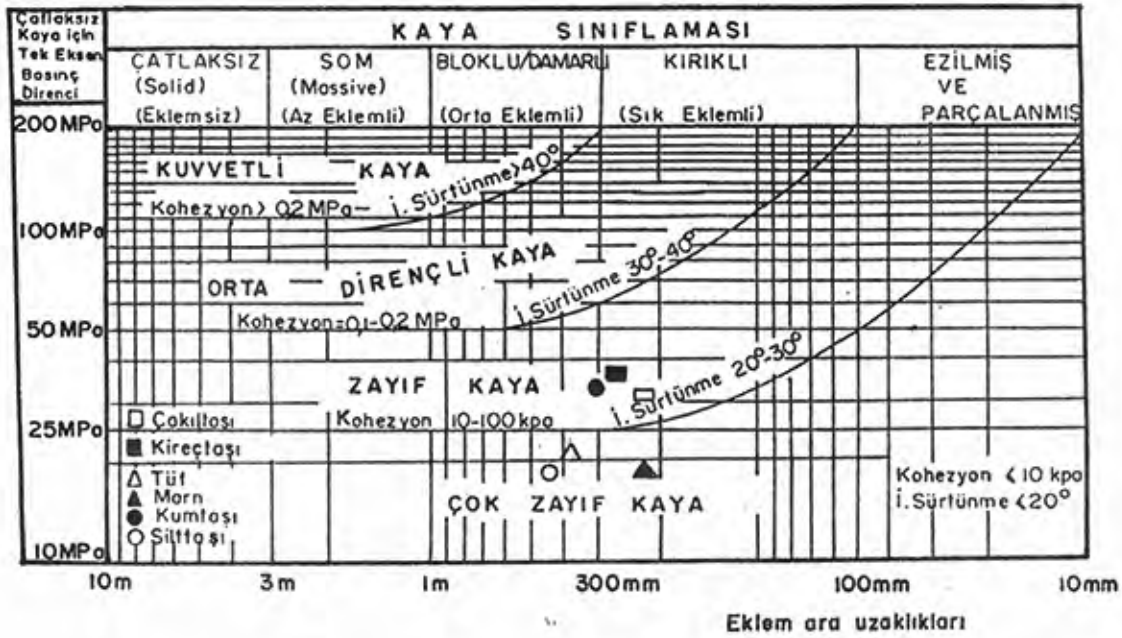
Şekil 2: Akdeğirmen baraj yeri jeoloji haritası.

Baraj yeri ve tünel güzergahındaki kayaçların katmanlanmaları daha çok K 3° D, 10° GD ile K 60° B, 11°GB dır. Katmanlar daha çok 1-2 cm den başlayıp, 3 m ye varan katman kalınlıklarına sahiptir. Katman düzlemleri yer yer dalgalıdır. Eklem takımları ise iyi gelişmiş olup, yoğunluklu olarak K 79° D/82° KB, K 86° B/80° GB, K 20° B/90° egim ve dogrultuya sahiptirler. Kıvrımlanma ve eklem takımları arasındaki ilişkiye bakıldığında; kıvrım eksenine göre elde edilen en büyük basınç yönüne göre 1. ve 2. eklem takımları kesme (makaslama), 3. eklem takımı ise boyuna eklem takımını oluşturmuştur. Eklem takımlarının ISRM (1978)'e göre; egimleri dik ve dike yakındır. Eklem aralıkları genelde "sık-orta sıklıkta", eklem açıklıkları "orta-geniş", eklem yanal devamlılığı "orta-düşük", eklem dolgu malzemelerinin "zayıf kayaç" ve "tıkız-pekişmiş kil" olduğu, eklem yüzey pürüzlülüğünün "orta pürüzlü-pürüzlü" arasında belirlenmiştir.

Eklem aralıklılığı ile dayanım çizgisine göre çizilmiş abakta (Mller,1963) kayaçlar "kırıklı-bloklı/damarlı" sınıfında yer almıştır (şekil 3).

Kayaçlar yapılan süreksizlik analizlerinde hep aynı değerleri vermeyip, kaya türüne göre değişen değerler vermektedirler.

Eklemlerin yanında faylara da rastlanmıştır. Arazi gözlemlerinde fay dogrultu ve egimlerinin eklemlerin dogrultu ve egimleri ile bir uyum sağlamaktadır. Gerek faylar ve gerekse eklemler, dolgu olarak ya tkil dolgu ya da kalsit dolgu içermektedirler. Faylar daha çok kil ile beraber ezik bireşik zon içerirler.



Şekil 3: Eklem ara uzaklığı ile tek eksenli basınç direnci arasındaki ilişkiye göre kaya sınıflaması (MULLER, 1963).

Figure 3: Rock classification according to relation ship between uniaxial compressive strength and spacing of discontinuities.

KAYA KALİTESİ ÖZELLİĞİ (RQD)

Gerek baraj yeri ve gerekse tünel güzergahındaki kaya türlerinin RQD değerleri, yapılan 11 adet sondajdan alınan 476.65 m lik karot örneklerinin değerlendirilmesi yapılarak 10 cm nin üzerindeki karot dikkate alınmış ya da yüzleklerden ölçülen eklemlere göre hesaplanmıştır.

Sondaj karotlarında Deere (1963) tarafından önerilen formül kullanılmış, RQD değeri hesaplanmıştır.

$$RQD=100 \sum_{i=1}^n \frac{X_i}{L}$$

X_i = 10 cm den uzun karot

L = Sondaj derinliği

Yüzleklerde ise Priest ve Hudson (1976)' un önerdiği formül kullanılarak RQD degerleri saptanmıştır.

$$RQD = 100 e^{-0.1\lambda} (0.1\lambda + 1)$$

λ = 1 m'de ortalama eklem sayısı

Her iki formülden elde edilen kaya kalitesi RQD sonuçları "fena-çok fena" olarak belirlenmiştir.

Elde edilen Lugeon degerleri analiz edildiğinde, sag sahilin %38'i "geçirimli-çok geçirimli", sol sahilin %27'si "geçirimli-çok geçirimli" olduğu belirlenmiştir. RQD degerleri ile uyumluluk gösteren lugeon degerleri, RQD degeri azalan bölgede artmıştır. Ancak kayaçların karstik kesimlerinden de kaçak olayları unutulmamalıdır.

FİZİKSEL ÖZELLİKLER

Fiziksel özellikleri belirlemek için gerek sondajlarda elde edilen karot örneklerinden, gerekse araziden alınan blok örnekler üzerinde T.S. 699 da belirtildiği üzere laboratuvar deneyleri yapılmış ve sonuçlar irdelenmiştir. Fiziksel özellikleri belirlemek için yapılan deneylerde; kuru birim hacim ağırlığı (γ_k), suya doymun birim hacim ağırlığı (γ_d), özgül ağırlığı (G_s), porozite (n_a =görünür porozite, n =gerçek porozite), boşluk oranı, doluluk oranı, su emme (S_a =ağırlıkça su emme, S_v =hacimce su emme) ile ilgili sayısal degerler elde edilmiştir (Tablo 1).

Formasyon	Kaya Türü	Kuru Birim Hacim Ağ.	Suya Doygun Birim Hacim Ağ.	Özgül Ağırlık Gs	Porozite		Boşluk Oranı (%)	Doluluk Oranı (%)	Su Emme (%)	
		γ_k (gr/cm ³)	γ_d (gr/cm ³)		Görünür n_a	Gerçek n			Ağırlıkça S_a	Hacimce S_v
Ulubey	Kireçtaşı	2.217	2.311	2.447	9.40	9.40	10.38	90.60	3.70	9.40
	Kumtaşı	2.371	2.410	2.468	3.89	3.93	4.05	95.94	1.55	3.89
	Çakıltası	2.414	2.466	2.547	5.19	5.22	5.47	94.97	1.99	5.19
	Marn	2.050	2.210	2.250	8.89	8.89	9.75	91.11	36.97	61.77
	Tüf	1.035	1.356	1.526	32.18	32.18	47.45	67.80	17.41	32.18
	Silttaşı	2.100	2.310	2.416	13.08	13.08	15.05	86.92	8.73	24.72

Tablo 1: Bent yeri ve tünel güzergahındaki kayaçların fiziksel özelliklerinin ortalama sayısal değerleri.

Table 1: The average values of physical properties of damsite and tunnel line rocks.

Tüflü seviyelerin porozite, boşluk oranı ve su emmelerinin yüksek, özgül ağırlık ve birim hacim ağırlıkları düşüktür. Marn ise çok yüksek su emmeli ve hacimsel artışıdır. Kireçtaşı ise porozite, boşluk oranı ve su emmesinin çakıltası ve kumtaşına oranla daha yüksek özgül ağırlık ve birim hacim ağırlıklarının daha düşük olduğu belirlenmiştir.

MEKANİK VE ELASTİK ÖZELLİKLER

İnceleme alanında yapılan 11 adet sondajdan elde edilen karot örnekleri ile araziden alınan blok örneklerinde laboratuvar deneyleri ile mekanik ve elastik özellikler saptanarak değerlendirilmiştir. Laboratuvarlarda yapılan deneyler T.S. 699 ve T.S. 2028 normlarına uygun olarak gerçekleştirilmiştir.

Mekanik ve elastik özellikleri belirlemek için, tek eksenli basınç ve çekme deneyleri, nokta yük direnci deneyleri yapılarak gerilme-deformasyon eğrileri çizilmiş ve mohr diyagramlarından kohezyon ve içsel sürtünme değerleri saptanmıştır. Kaya türlerinde en az 10 örnek üzerinde tek eksenli basınç deneyi yapılmıştır. Baraj yeri ve tünel güzergahında katmanların konumu genelde yatay ve yataya yakın (en fazla 16°) eğimlere sahip olduklarından alınan örneklerde yapılan basınç deneyleri, katmanlanmaya dik ya da en fazla 16° eğimli örneklerde yapılmıştır. En düşük değerler bu örneklerde elde edilmiştir (Tablo 2).

İnceleme alanından alınan silindirik numuneler üzerinde endirek çekme direnci (Brazilian) deneyi yapılarak, kayaçların içsel karakteristikleride saptanmıştır. Yapılan endirekt çekme deneylerinde kayaçların değişik aralıklarda maksimum ve minimum değerler verdiği gözlenmiştir. Düşük değerler daha çok bozuşma ve çatlaklı, fis-sürlü zonlarda gözlenmiştir. Tek eksenli basınç direnci değerleri ile çekme direnci değerleri arasında 7 ile 9 kat kadar bir oran olduğu görülmüştür.

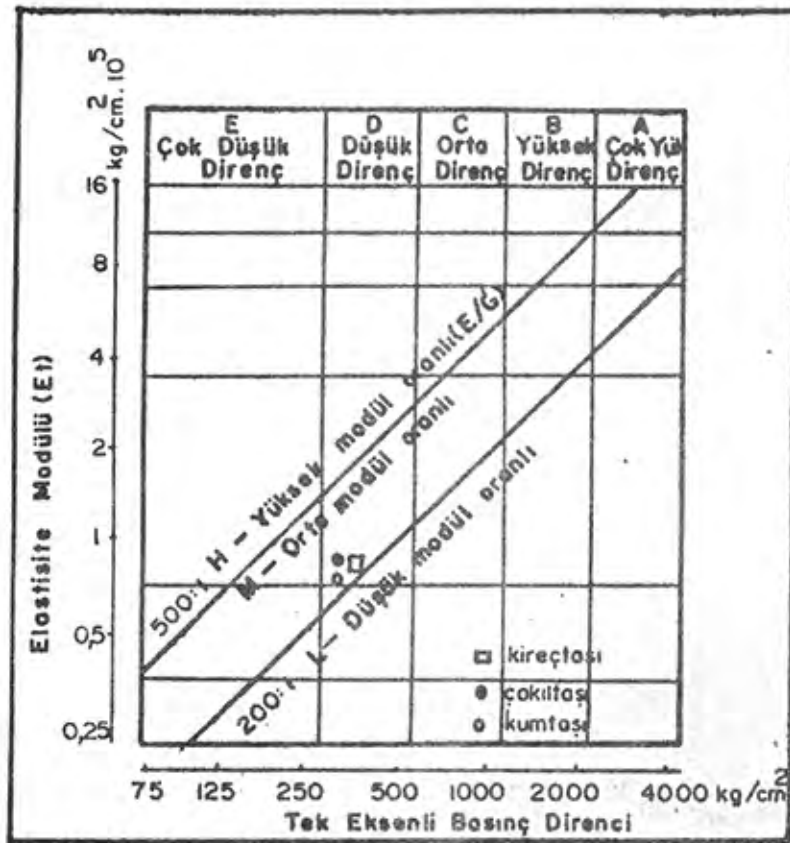
Ö Z E L L İ K L E R		Kireçtaşı	Kumtaşı	Çakıtaşı	Marn	Silttaşı	Tüf
Tek Eksenli Basınç Direnci (Kgf/cm ²)	Max	394	334	284	64	60	119
	Min	237	272	256	35	47	78
	Ort.	315	303	270	49.5	53.5	98.5
İndirekt Çekme Direnci (Kgf/cm ²)	Max	40	40	43	7	8	16
	Min	30	28	34	5	7	9
	Ort.	35	34	38.5	6	7.5	12.5
Elastisite Modülü (Kgf/cm ²)	Max	9.3x10 ⁴	9x10 ⁴	9.8x10 ⁴	0.57x10 ³	0.93x10 ³	3.3x10 ⁴
	Min	6.7x10 ⁴	5.6x10 ⁴	6.8x10 ⁴	0.13x10 ³	0.57x10 ³	2.3x10 ⁴
	Ort.	8x10 ⁴	7.3x10 ⁴	8.3x10 ⁴	0.35x10 ³	0.75x10 ³	2.8x10 ⁴
Nokta Yükleme Direnci (Kgf/cm ²)	Max	16	14	13	3	3	5
	Min	10	11	10	1	2	3
	Ort.	13	12.5	11.5	2	2.5	4
Kohezyon (Kgf/cm ²)	Max	68	60	72	13	15	31
	Min	52	48	50	7	10	19
	Ort.	68	54	61	10	12.5	25
İçsel Sürtünme Açısı (φ)	Max	54	54	55	46	45	47
	Min	52	48	52	38	39	43
	Ort.	50	51	53.5	42	42	45

Tablo 2: Bent yeri ve tünel güzergahındaki kayaçların mekanik özelliklerinin ortalama değerleri.

Table 2: The average values of mechanic properties of dam site and tunnel line rocks.

Yapılan deneyler sonucu elde edilen elastisite modüllerinde, kayaçların yüzeydeki verdikleri değerler daha düşük, derinlere inildikçe elde edilen değerler ise daha yüksektir. Tek eksenli basınç direnci ile statik elastisite modülünün ilişkisi incelenmiş ve birleştirilmiş

mühendislik sınıflaması yapılmıştır. Buna göre; kireçtaşı kumtaşı, çakıltası "orta modül oranlı-düşük dirençli", marn, silttaşı ve tuf ise "düşük modül oranlı-çok düşük dirençli" kaya sınıfında olduğu belirlenmiştir (Şekil 4).



Şekil 4: Bent yeri ve tünel güzergahındaki kayaçların birleşik mühendislik sınıflaması (Deere ve Miller, 1966).
Figure 4: Engineering classification of damsite and tunnel line rocks (Deere and Miller, 1966).

SONUÇ VE ÖNERİLER

Akdegirmen baraj yeri ve tünel güzergahındaki kayaçların süreksizlikleri dikkate alındığında "kırıklı-bloklı/damarlı kaya" sınıfında olduğu saptanmıştır. RQD kaya kalitesine göre kayaçlar "fena-çok fena" kaya sınıfındadır. Birleştirilmiş mühendislik sınıflamasına göre kayaçlar; kireçtaşı, kumtaşı, çakıltası; "orta modül oranlı-düşük dirençli", marn, silttaşı ve tuf ise "düşük modül oranlı-çok düşük dirençli" kaya sınıfındadır.

Gerek baraj yerinde ve gerekse tünel güzergahında yapılacak çalışmalarda kayaçların belirlenen özelliklerinin gözönünde bulundurulması yararlı olacaktır.

DEĞİNİLEN BELGELER

- DEERE,D.U. and MILLER,R.R.,1966, Engineering classification and index properties for intact rock: Tech. Rept. No. AFWL-TR-65-116, Ainfence Weapons lab., Kirtland Air Force Base, New Mexico, 308 p.
- DEERE,D.U.,1963, Technical description of rock cores for engineering proposes. Rock Mech. and Engineer. Geol. V:1, No=1.
- I.S.R.M.,1978, Suggested Methods for the quantative description of discontinuities in rock masses commision on standartization of laboratory and field tests. Int. 3. Rock Mech. Min. Sci. Geomech. Abstr. V:15, pp: 319-368.
- MULLER,V.L.,1963, Der Felsbau. Erster Band, Theore Lischer Teil, Enke Verlag, Stuttgart.
- PRIEST, S.D., HUDSON, J.A.,1976, Discontinuity spacing in rock. Int. Jl. Rock Mech. Min. Sci. and Geomech. Abstr. Vol. 13, pp. 135-148.

T.S.E., 1978, Dogal yapı taşlarının muayene ve deney metodları. T.S. 699, UDK, 691.2, Ankara.

T.S.E., 1975, Kayaçların tek eksenli basma dayanımlarının tayini. T.S. 2028, UDK, 622.02, Ankara.

PENMAN YÖNTEMİ KULLANARAK POTANSİYEL BUHARLAŞMANIN HESAPLANMASI İÇİN BİLGİSAYAR PROGRAMI

A COMPUTER PROGRAM FOR CALCULATION OF POTENTIAL
EVAPOTRANSPIRATION BY USING PENMAN'S METHOD

H.Tolga YALÇIN *

ÖZ: Yeraltısuyu havzalarında su bilançosu hazırlamak amacıyla potansiyel buharlaşmanın hesabında pratikte yaygın olarak Penman Yöntemi kullanılmaktadır. Penman Yönteminde çizelgenin hazırlanması sırasında tablo ve grafiklerden yararlanılmaktadır. Bu durum oldukça fazla zaman kaybına ve bazen de kişisel hatalara neden olmaktadır. Zaman kaybını ve olası kişisel hataları en aza indirmek amacıyla hesaplamalarda kullanılan tüm tablo ve grafikler formüle edilerek BASIC dilinde bir bilgisayar programı hazırlanmıştır. Böylece yalnız gerekli meteoroloji verilerini kullanarak çok kısa bir zamanda ve oldukça az bir hata ile potansiyel buharlaşma hesaplanabilmektedir.

ABSTRACT: By using Penman's method that is widely used in practical studies, evapotranspiration is calculated in order to prepare water budget in groundwater basins. For such studies there is a necessity of using some tables and graphics. That requires a lot of time and sometimes offers personal errors. In order to save time and minimize possible errors all tables and graphics are formulated and a computer program in BASIC is written. Only by using meteorological data it has been possible to calculate evapotranspiration in a very short time and with very small errors.

1- GİRİŞ:

Yeraltısuyu ile ilgili çalışmalarda su bilançosu hazırlamak için buharlaşmanın hesaplanması gerekmektedir. Eğer buharlaşmayı doğrudan ölçecek evaporometre (buharlaşma ölçer) yoksa bunun hesap yolu ile bulunması söz konusudur. Bu amaçla çeşitli araştırmacılar tarafından formüller geliştirilmiştir. Burada bu formüllerden biri olan Penman yöntemi üzerinde durulmuştur. Bu metod yardımıyla hesaplanan potansiyel buharlaşma ile ilgili oldukça kısa bir bilgisayar programı hazırlanmıştır.

Penman yöntemi ile çalışırken bazı tablo ve grafiklerden yararlanma zorunluluğu vardır. Bu durum oldukça fazla zaman kaybına ve bazen de kişisel hatalara neden olabilmektedir. Bunları önlemek amacıyla her grafik veya tablo formüle edilerek bilgisayarla hesaplanabilecek duruma getirilmeye çalışılmıştır. Böylece sadece birkaç meteoroloji verisi kullanarak birkaç dakika içerisinde tüm Penman çizelgesini ve sonuçlarını elde etmek olası olmuştur.

Formülasyon sırasında eğrilerin belli bir matematiksel denkleme veya denklemlere uydurulması sonucu bazı hatalar ortaya çıkmıştır. Fakat hataların oldukça küçük derecede olduğu ve sonucu fazlaca etkilemediği anlaşılmıştır.

2- POTANSİYEL BUHARLAŞMA HESABINDA KULLANILAN YÖNTEMLER:

Buharlaşma-terleme (evapotranspirasyon), kısaca yağış sularının değişik etkenlerle sıvı fazdan gaz faza geçerek atmosfere geri dönmesidir. Özellikle sıcaklığın etkisiyle buharlaşma ve bitkiler vasıtasıyla terleme için gerekli suyun zemin ve yağış tarafından karşılanmasına "Potansiyel Buharlaşma (Ep)" denir. Fakat yağış ve zemin potansiyel evapotranspirasyon için gereken suyun tamamını her zaman karşılamayabilir. Bu koşullarda zeminin ve yağışın Ep için verebileceği su miktarına "Gerçek Buharlaşma (Er)" denir [1], [3].

Karalara düşen yağışın önemli bir kısmı (~ % 75) buharlaşma ve terleme ile atmosfere geri döner. Yeraltısuyu havzalarında su bilançosunun hazırlanmasında evapotranspirasyonun bulunmasında kullanılan çeşitli deneysel ve teorik metodlar mevcuttur.

Deneysel metodların başlıcası tava deneyleridir. Fakat tava deneyleri ve deneylerden elde edilen sonuçlar ile meteorolojik faktörler arasında korelasyon yapılması güçtür [2]. Bu yüzden birkaç teorik yöntem geliştirilmiştir. Bunlardan en çok kullanılanları Thornthwaite, Serra, Turk, Blaney-Cridde ve Penman yöntemleridir.

2. 1- PENMAN YÖNTEMİ (1948):

Pratik uygulamalarda en çok kullanılan yöntemdir. Penman formülünde çeşitli meteorolojik değerler dikkate alındığından potansiyel evapotranspirasyon daha sıhhatli saptanabilmektedir. Penman, su kütlesinin ısı toplamasını ve tava kenarından geçirilen ısıнын önemsiz olduğunu kabul ederek tava buharlaşmasının saptaması için aşağıdaki formülü geliştirmiştir.

Formül, buharlaşma yüzeyine güneşten gelen ve yansıyan enerjinin bilançosunu çıkarmakta ve havanın buharlaştırma gücünün tayini ile ilgili buharlaştırma miktarını değerlendirmektedir.

Formül şu şekilde ifade edilmektedir;

$$E_p = \frac{\Delta \cdot H + E_a}{\Delta + 1}$$

Formüldeki elemanlar incelendiğinde;

E_p : Potansiyel buharlaşma miktarıdır (mm.su/gün)

Δ : Mutlak sıcaklıktaki doymuş su buharı basıncı ile sıcaklık arasındaki ilişkiyi belirleyen bir katsayıdır. Grafikten okunur.

H : Buharlaşma yüzeyinde kullanılan güneş enerjisi miktarıdır (mm.su/gün)

$H = R_c - R_b$ formülüyle hesaplanır.

R_c : Buharlaşma yüzeyine gelen güneş enerjisidir (mm.su/gün)

$R_c = (1 - r) R_A$ (0,18-0,55 n/N) bağıntısı ile hesaplanır.

r : Buharlaşma yüzeyi yansıtma katsayısı olan Albedo değeridir. Tablodan seçilir.

R_A : Aylık ortalama atmosfer üstü güneş enerjisi değeridir (mm.su/gün). Grafikten okunur. Enlemlere ve aylara göre değişik değerler alır.

n : Aylık ortalama güneşlenme süresidir (saat/gün). Meteorolojik rasatlardan sağlanır.

N : Astronomik ortalama aylık güneşlenme süresidir (saat/gün). Grafikten okunur. Aylara ve enlemlere göre değerleri değişir.

R_B : Buharlaşma yüzeyinden yansıyan ve çeşitli şekilde kaybolan güneş enerjisidir (mm.su/gün).

$R_B = B \cdot (0,56 - 0,092/e_d)$ (0,10+0,90 n/N) bağlantısı ile hesaplanır.

B :Boltzmann sabitidir. Aylık ortalama sıcaklıktan yararlanarak grafikten okunur.

e_d :çiğlenme noktasında havanın doymuş buhar basıncıdır.

$e_d = e_a \cdot R_H$ bağıntısı ile hesaplanır.

e_a : Aylık ortalama sıcaklığın eşiti olan havanın doymuş su buharı basıncıdır (mm Hg). Tablodan okunur.

R_H : Havadaki aylık ortalama relatif nemdir. Meteorolojik rasatlardan sağlanır.

E_a : Havanın su buharlaştırma gücüdür.

$E_a = 0,27 \cdot U_2 \cdot (e_a - e_d)$ formülü ile bulunur [2].

U_2 : Yüzeyden 2 m. yükseklikteki rüzgarın aylık ortalama hızıdır. Meteoroloji rasatlarında bu değer 10 m. yükseklik için verilir. Bir grafik yardımıyla bu değer U_2 'ye dnştrlr.

Buharlaştırma etkisi görülen bütün meteorolojik faktörleri değerlendirmesi ve kuvvetli bir teorik yapıda olması nedeni ile pratik uygulamalarda PENMAN formülü diğer formüllere tercih edilmektedir.

3- BİLGİSAYAR PROGRAMI:

Bilgisayar programı yukarıda değinilen Penman formülünün çözümünü esas alarak hazırlanmıştır. BASIC dilinde yazılan programa PENCİZ adı verilmiştir. Program aşağıdaki bölümlerden oluşmaktadır;

- Programda kullanılan 16 adet değişken için 12'lik boyut ayırma;
- Albedo değerini (r) seçmek için alt programa dallanma;
- Meteoroloji verilerinin (sıcaklık, T; güneşlenme süresi, n; relatif nem, R_H ; ve rüzgar hızı, U_{10})ekrandan girilmesi;

- d) Δ değerinin hesaplanması, R_A ve N değerlerinin okutulması ve U_{10} değerlerini kullanarak U_2 'nin hesaplanması için alt programlara dallanma;
- e) B , e_a , R_C , R_B , H , E ve E_p değerlerinin ve yıllık buharlaşma değerinin hesaplanması;
- f) Sonuçların ekranda görüntülenmesi;
- g) İstek halinde printer çıkışı alınmasıdır. (Çizelge: 1 ve Çizelge: 2).

4- TABLO VE GRAFİKLERİN FORMÜLASYONU:

4. 1- Boltzmann Sabiti (B):

Boltzmann sabiti $B = f(T)$ şeklinde sıcaklığın bir fonksiyonu olarak grafik şeklinde verilmiştir. Regresyon analizi ile $B = 0,2 T + 11$ şeklinde bağıntı elde edilmiştir. Bu bağıntı grafiği ortalama $\pm 0,008$ oranında hata ile temsil etmektedir. Maksimum hatası ise $0,0013$ oranındadır.

4. 2- Su Buharı Basıncı (e_a):

e_a değerleri sıcaklığın bir fonksiyonu şeklinde tablo olarak verilmiştir. Bunun formüle edilmiş şekli aşağıda verilmiştir.

$$e_a = 4,579 + 0,333512.T + 0,01069.T^2 + 0,0001879.T^3 + 3,081 \times 10^{-6}.T^4$$

Bu denklemin sonucunda elde edilen e_a değeri ile gerçek e_a değeri arasındaki hata oranı % 1'in altındadır.

4. 3- Rüzgar Hızı (U_2):

Meteoroloji bültenlerinde 10 m. yükseklikteki rüzgar hızları (U_{10}) mevcuttur. Halbuki Penman formülünde 2 m. yükseklikteki rüzgar hızının (U_2) kullanılması gerekmektedir. Bu dönüşüm bir grafik yardımıyla yapılabilir. Bu grafik, formülasyon sırasında tek bir denklemle ifade edildiğinde hata oranı yüksek çıkmaktadır. Bu yüzden grafik üç parçaya bölünüp formüle edilmiş ve böylece hata oranı oldukça azaltılmıştır.

Grafik;

$$\begin{aligned} 0 < U_{10} \leq 2,2 \text{ için } U_2 &= 0,2 \cdot U_{10}^2 \\ 2,2 < U_{10} \leq 4,1 \text{ için } U_2 &= U_{10}^{-1,3} \\ 4,1 < U_{10} \leq 5 \text{ için } U_2 &= 1,435 \cdot U_{10}^{-2,875} \end{aligned}$$

şeklinde temsil edilmiştir.

4. 4- Mutlak Sıcaklıktaki Doygun Su Buharı Basıncı (Δ)

$\Delta = f(T)$ grafiği de tek bir denklem ile ifade edilemediğinden değişik homojen aralıklar için 4 bağıntı elde edilmiştir. Bu bağıntılar şu şekildedir;

$$\begin{aligned} 0 < T \leq 20 \text{ için } \Delta &= 0,75 - [0,67 \cdot (1 - e^{0,057 T})] \\ 20 < T \leq 30 \text{ için } \Delta &= 0,17 T^{-1,3} \\ 30 < T \leq 40 \text{ için } \Delta &= 0,23 T^{-3,17} \\ 40 < T \leq 50 \text{ için } \Delta &= 0,336 T^{-7,52} \end{aligned}$$

Çizelge 1. Tuzla-Çanakkale bölgesinin Penman yöntemi kullanılarak bilgisayar programıyla hesaplanmış potansiyel buharlaşma değerleri (çıktı)

Table 1. Potential evapotranspiration values of Tuzla-Çanakkale region which are computed by the computer program by using Penman's method (output)

Çizelge 2. Tuzla-Çanakkale bölgesinin Penman yöntemi kullanılarak klasik olarak hesaplanmış potansiyel buharlaşma değerleri [4]

Table 2. Potential evapotranspiration values of Tuzla-Çanakkale region which are classically computed by using Penman's method [4]

5- SONUÇLAR:

- Penman yöntemiyle evapotranspirasyonun hesabında kullanılan tablo ve grafikler formüle edilerek zaman kaybı ve kişisel hatalar tamamen ortadan kalkmıştır.

- . Tablo ve grafiklerin formülasyonu sırasında ortaya çıkan hata ve bilgisayar programında bazı değerlerin Türkiye'nin ortalaması kabul edilerek sadece 40° K enlem için data olarak girilmesinden oluşan hataların toplam o/oo 5 ile 5 arasında olup, sonucu önemli derecede etkilememektedir.

6- YARARLANILAN KAYNAKLAR:

- [1] ERGUVANLI, K., YÜZER, E., (1984), Yeraltısuları Jeolojisi (Hidrojeoloji), 2. Baskı, s: 10-23, İTÜ Maden Fak. Matbaası, İstanbul.
- [2] KORKMAZ, N., (1983), Yeraltısuyu Hidroliği, DSİ Hidrojeolojik Eğitim Semineri, s: 48-160, Ankara.
- [3] ŞAHİNCİ, A., (1980), Hidrojeoloji Ders Notları.
- [4] YALÇIN, T., (1989), Çanakkale-Tuzla Kaplıcası Dolayının Hidrojeolojisi ve Kaynağın Kökeninin Araştırılması, s: 2-10, Y.Lisans Tezi (İTÜ)

ÇİZELGE 1

PENMAN ÇİZELGESİ											
TUZLA						r= .25					
AYLAR											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
SICAKLIK (T, °C)											
5.00	5.80	6.70	11.70	16.80	20.10	23.00	21.90	18.90	13.40	10.50	5.00
A											
0.97	1.01	1.06	1.39	1.83	2.12	2.61	2.42	2.05	1.52	1.30	0.97
RA, mm. su/gün											
6.00	8.30	11.00	14.00	16.20	16.90	16.20	14.70	12.00	9.40	6.80	5.50
n, saat/gün											
3.29	4.40	5.29	7.53	10.12	11.39	12.34	12.00	9.25	6.51	4.55	3.23
N, saat/gün											
10.10	11.00	12.00	13.10	14.00	14.50	14.20	13.50	12.50	11.40	10.30	9.85
Rc, mm. su/gün											
1.62	2.49	3.49	5.21	7.02	7.76	7.99	7.37	5.28	3.48	2.16	1.49
B, mm. su/gün											
12.00	12.16	12.34	13.34	14.36	15.02	15.60	15.38	14.78	13.68	13.10	12.00
RH											
0.785	0.775	0.730	0.635	0.600	0.545	0.540	0.590	0.617	0.748	0.807	0.803
ea, mm. Hg											
6.54	6.91	7.36	10.30	14.34	17.63	21.05	19.69	16.36	11.52	9.51	6.54
RB, mm. su/gün											
1.66	1.94	2.13	2.67	3.13	3.33	3.44	3.41	3.03	2.44	1.99	1.66
U2(RÜZGAR HIZI), m/sn											
0.841	1.050	0.968	0.882	0.685	0.882	2.800	1.130	1.160	1.700	0.648	0.800
Ea											
0.319	0.441	0.519	0.896	1.060	1.910	7.321	2.463	1.963	1.332	0.321	0.278
E, mm. su/gün											
0.141	0.495	0.952	1.848	2.888	3.619	5.323	3.525	2.157	1.161	0.235	0.058
Ep, mm. su/ay											
4.2	14.9	28.6	55.4	86.6	108.6	159.7	105.8	64.7	34.8	7.0	1.7
Ep, MM. SU/YIL= 672.08											

PENMAN ÇİZELGESİ

ÖZELLİKLER	AYLAR											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
SICAKLIK(°C)	5.0	5.8	6.7	11.7	16.8	20.1	23.0	21.9	18.9	13.4	10.3	5.0
A	0.90	0.95	1.05	1.40	1.90	2.20	2.50	2.35	2.10	1.50	1.30	0.90
RA(mm.su/gün)	6.00	8.30	11.10	13.90	16.00	16.90	16.30	14.60	12.20	9.30	6.70	5.50
n(saatt/gün)	3.29	4.40	5.29	7.53	10.12	11.39	12.34	12.00	9.25	6.51	4.55	3.23
N(saatt/gün)	9.70	10.70	11.90	13.30	14.30	15.00	14.80	13.80	12.50	11.10	10.00	9.30
Rc(mm.su/gün)*	1.65	2.52	3.51	5.14	6.84	7.58	7.77	7.20	5.37	3.54	2.17	1.53
B	12.00	12.15	12.50	13.40	14.30	14.80	15.70	15.30	14.70	13.70	13.00	12.00
ea(mm.Hg)	6.54	6.91	7.36	10.31	14.35	17.64	21.05	19.70	16.36	11.53	9.52	6.54
RB(mm.su/gün)	1.70	1.94	2.17	2.68	3.06	3.13	3.32	3.24	3.08	2.50	2.00	1.74
U10(m/sn)	2.05	2.35	2.20	2.10	1.85	2.10	4.10	2.43	2.46	2.00	1.80	2.00
U2(m/sn)	0.80	1.20	1.00	0.90	0.70	0.90	3.00	1.20	1.30	0.80	0.70	0.80
Ea	0.30	0.50	0.54	0.90	1.08	1.95	7.85	2.62	2.20	1.35	0.35	0.28
E(mm.su/gün)	0.134	0.539	0.950	1.840	2.850	3.669	5.420	3.560	2.260	1.146	0.248	0.048
Ep(mm.su/ay)	4.02	16.17	28.50	55.20	85.50	110.07	162.60	106.80	67.80	34.38	7.44	1.44
Ep(mm.su/yıl)	679.92											

(*) Albedo değeri (r) 0.25 olarak alınmıştır.

MÜHENDİSLİK JEOLJİSİ TÜRK MİLLİ KOMİTESİ ÜYELERİ

AKIN, Nuran
AKMAN, M. Kemal
AKYOL, Erdal
AKTAN, Edip
ALGAN, Melih
ALTUĞ, Saydun
ANIK, Ferruh
ARAL, Feda Y. Doç. Dr.
ARIKAN, Alparslan Doç. Dr.
ARIOĞLU, Ergin Prof. Dr.
AŞÇIOĞLU, Erman
ATAOĞLU, Erhan
AYAN, H. Tamer
AYDAY, Can Y. Doç. Dr.
BAŞARAN, M. Tanju
BAŞTEKİN, A. Hamdi
BARGU, Simav Doç. Dr.
BAYKAL, Hasan Dr.
BOYNUKALIN, Suat Dr.
BULUT, Fikri Dr.
BULUTLAR, Erdal
BUZLU, H. Baki
BÜYÜK, Mehmet Dr.
BÜYÜKKÖSE, Nevzat
CAĞLAR, İlyas Y. Doç. Dr.
CANİK, Baki Prof. Dr.
CORUK, Özkan
ÇANLI, Turgut
ÇELEBİ, Levent
ÇETİNCELİK, A. Mesut
ÇETİNER, Levent
ÇOĞALAN, Hasan Hüseyin
ÇONCAR, Behiç
DADAŞBİLGE, Kırhan
DALGIÇ, Süleyman
DEMİREL, Zeynel A. Dr.
DEMİRKOL, Cavit Prof. Dr.
DIĞIŞ, Aytaç
DİLEK, Remzi Prof. Dr.
DOYURAN, Vedat Prof. Dr.

DURGUNOĞLU, Turan Prof. Dr.
EĞİN, Dinçer Dr.
ERCAN, Ahmet Prof. Dr.
ERDOĞAN, Eray Dr.
ERDOĞAN, Mustafa Y. Doç. Dr.
ERİŞ, İsmail
EROSKAY, S. Okay, Prof. Dr.
ERTUNÇ, Aziz Prof. Dr.
GENÇ, Deniz
GÖKTEN, Y. Ergün Doç. Dr.
GÖZÜBOL, A. Malik Y. Doç. Dr.
GÜL, Adnan
GÜNAY, Gültekin Prof. Dr.
GÜRPINAR, Okay Prof. Dr.
GÜRSEL, Fatma
GÜVEN, M. Müfit
GÜZEL, Ahmet Y. Doç. Dr.
KALE, Saim
KARACAN, Ergün Y. Doç. Dr.
KARAHANOGU, Nurhan Doç. Dr.
KARAOĞULLARINDAN, Talip
KASAPOĞLU, Erçin Prof. Dr.
KAVLAK, Hikmet
KAYA, M. Kenan
KETİN, İhsan Prof. Dr.
KILIÇ, Recep Y. Doç. Dr.
KILINÇ, Mehmet Dr.
KOCA, M. Yalçın
KODAMANOĞLU, Tuncer Prof.
KORKMAZ, Turgut
KOŞAR, Ercan
KÖKEN, Tanju
KÖSEOĞLU, Mesut Doç. Dr.
KUMBASAR, Vahit Prof.
MUCUKGİL, Rıza
MUT, Taner
MUTLUTÜRK, Mahmut Dr.
OTKUN, Galip Dr.
ÖZGÜZEL, Nuri
ÖZİŞ, Ünal Prof. Dr.

ÖZKER, Ertan
ÖZSAN, H. Aydın Y. Doç. Dr.
ÖZTÜRK, Kurultay Prof. Dr.
SAÇLITÜRE, A. Koray
SAFA, M. Turgut
SAĞLAMER, Ahmet, Prof. Dr.
SARISU, Ali
SESÖREN, Atilla Doç. Dr.
SOMEL, A. Namık
SOMKAYA, Muammer
SUNAR, Seyhan
SÜMERHAN, Kaler
ŞAMİLGİL, Erman Prof. Dr.
ŞEKERCİOĞLU, Erdal Dr.
ŞENYUVA, Tahsin Dr.
ŞİMŞEK, Orhan
ŞİMŞEK, Şakir Doç. Dr.
TARCAN, Gültekin
TARHAN, Fikret Prof. Dr.
TAŞLICA, A. Hamdi
TEMİZ, Halit
TOĞROL, Ergün Prof. Dr.
TOPAL, Tamer
TOSUN, Hasan
TÜRK, Necdet Doç. Dr.
TÜRKEL, Erçin
TÜYSÜZ, Okan Y. Doç. Dr.
UĞURLU, Atiye
ULUSAY, Reşat
UNAY, Güngör
UYSAL, Bayram
ÜNSAL, Muammer
ÜSTÜN, Olgun
VARDAR, Mahir Prof. Dr.
YALÇIN, Tolga
YEŞİLOĞLU, M. Kemal
YILDIRIM, Mustafa Y. Doç. Dr.
YÜZER, Erdoğan Prof. Dr.
ZARİF, İ. Halil

KURUMSAL ÜYELER

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