



MÜHENDİSLİK JEOLJİSİ
TÜRK MİLLİ KOMİTESİ
BÜLTENİ

2015
YIL
OCAK
1996

İÇİNDEKİLER

* MÜHENDİSLİK JEOLJİSİ 1995
YIRMİNCİ YILA GİRERKEN

* MÜHENDİSLİK JEOLJİSİNDE AYRINTILI
JEOLJİNİN ÖNEMİ

* TÜRKİYE'DE JEOTERMAL ALANLARDAKİ DOĞAL
KAYNAK İLE KUYU AKIŞKANLARININ KİMYASAL
KARŞILAŞTIRILMASI VE HİDROJEOLJİK
BALNEOLOJİK AÇIDAN ÖNEMİ

* KAYA ORTAMINDAKİ BASINÇLI SU DENEY
VERİLERİNİN BUREAU OF RECLAMATION
YÖNTEMİYLE DEĞERLENDİRİLMESİNE YENİ
BİR YAKLAŞIM

* ADAPAZARI ARITMA TESİSLERİ SAHASININ
MÜHENDİSLİK JEOLJİSİ VE GEOTEKNİK ETÜDÜ

* HARRAN-CEYLANPINAR OVALARINDA YILLIK
YERALTISUYU BİLANÇOLARININ GAP PROJESİ
UYGULAMASI İLE DEĞİŞİMİ.

* MÜHENDİSLİK PROJELERİNDE
YENİLENEBİLME ÖZELLİĞİ

* ULAŞILAMAYAN YAMAÇLARDAKİ SÜREKSİZLİK
İZLERİNİN ELEKTRONİK TAKEOMETRE
KULLANILARAK BELİRLENMESİ: RİZE-İKİZDERE
YÖRESİ ÖRNEĞİ

* METEOROLOJİK BİLGİLERİN YETERSİZ OLDUĞU
BÖLGELERDE YERALTISUYU BİLANÇOLARININ
HAZIRLANMASI.

* MÜHENDİSLİK JEOLJİSİNDE SAYISAL MODELLER.

* BARAJ TEMELLERİNDEKİ KAYAÇLARIN
SINIFLAMASINDA YENİ BİR YÖNTEM VE
TÜRKİYE'DEKİ UYGULAMADAN BİR ÖRNEK

I. KETİN

Ş. ŞİMŞEK

F. BULUT, v. d.

M. YILDIRIM, v. d.

**H. TÜMER
B. ÇONGAR**

**İ. YILMAZER
T. DUMAN**

**F. BULUT
Ş. TÜRDEŞ**

S. ORAN

E. AKYOL

H. H. ÇOĞALAN

YÖNETİM KURULU

Başkan	: Pof. Dr. Erdoğan YÜZER (İTÜ MADEN FAK.-İSTANBUL)
Genel Sekreter	: Prof. Dr. Okay EROSKAY (İÜ MÜHENDİSLİK FAK - İSTANBUL)
Sayman	: Dr. Erdal ŞEKERCİOĞLU (DSİ JEOTEKNİK HİZ.-ANKARA)
Üye	: Prof. Dr. Necdet TÜRK (DOKUZEYLÜL ÜNİV -İZMİR)
Üye	: Jeo. Müh. Behiç ÇONGAR (SİAL-ANKARA)

YAYIN DANIŞMA KURULU

Prof. Dr. Ergün TOĞROL (İTÜ)
Prof. Dr. Azlı ERTUNÇ (ÇÜ)
Prof. Dr. Okay GÜRPINAR (İÜ)
Prof. Dr. Remzi DİLEK (KTÜ)
Prof. Dr. Fikret TARHAN (KTÜ)
Prof. Dr. Vedat DOYURAN (ODTÜ)
Prof. Dr. Mahir VARDAR (İTÜ)
Prof. Dr. Erçin KASAPOĞLU (HÜ)
Prof. Dr. Gültekin GÜNAY (HÜ)
Prof. Dr. Şakir ŞİMŞEK (HÜ)
Prof. Dr. Necdet TÜRK (DEÜ)

Bu sayının baskısı **TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası** tarafından gerçekleştirilmiştir.

YAZIŞMA ADRESİ

Prof. Dr. E. YÜZER

İTÜ Maden Fak. Uygulamalı Jeoloji Anabilim Dalı
Ayazağa Kampüsü 80626 MASLAK-İstanbul
Tele Fax: 0212 - 285 61 46

Prof. Dr. Okay EROSKAY

İÜ Mühendislik Fak. Uygulamalı Jeoloji Anabilim Dalı
Avcılar Kampüsü 34850 AVCILAR-İstanbul
Tel: 0212 - 591 38 73-74/238 Fax: 0212 - 257 13 69

İÇİNDEKİLER

* MÜHENDİSLİK JEOLojİSİ 1995
YİRMİNCİ YILA GİRERKEN

* MÜHENDİSLİK JEOLojİSİNDE AYRINTILI
JEOLojİNİN ÖNEMİ

İ. KETİN

* TÜRKİYE'DE JEOTERMAL ALANLARDAKİ DOĞAL
KAYNAK İLE KUYU AKIŞKANLARININ KİMYASAL
KARŞILAŞTIRILMASI VE HİDROJEOLojİK
BALNEOLojİK AÇIDAN ÖNEMİ.....

Ş. ŞİMŞEK

* KAYA ORTAMINDAKİ BASINÇLI SU DENEY
VERİLERİNİN BUREAU OF RECLAMATION
YÖNTEMİYLE DEĞERLENDİRİLMESİNE YENİ
BİR YAKLAŞIM.....

F. BULUT, v. d.

* ADAPAZARI ARITMA TESİSLERİ SAHASININ
MÜHENDİSLİK JEOLojİSİ VE GEOTEKNİK ETÜDÜ.....

M. YILDIRIM, v. d.

* HARRAN-CEYLANPINAR OVALARINDA YILLIK
YERALTISUYU BİLANÇOLARININ GAP PROJESİ
UYGULAMASI İLE DEĞİŞİMİ.

H. TÜMER
B. ÇONGAR

* MÜHENDİSLİK PROJELERİNDE
YENİLENEBİLME ÖZELLİĞİ

İ. YILMAZER
T. DUMAN

* ULAŞILAMAYAN YAMAÇLARDAKİ SÜREKSİZLİK
İZLERİNİN ELEKTRONİK TAKEOMETRE
KULLANILARAK BELİRLENMESİ: RİZE-İKİZDERE
YÖRESİ ÖRNEĞİ

F. BULUT
Ş. TÜRDEŞ

* METEOROLOJİK BİLGİLERİN YETERSİZ OLDUĞU
BÖLGELERDE YERALTISUYU BİLANÇOLARININ
HAZIRLANMASI.

S. ORAN

* MÜHENDİSLİK JEOLojİSİNDE SAYISAL MODELLER.

E. AKYOL

* BARAJ TEMELLERİNDEKİ KAYAÇLARIN
SINIFLAMASINDA YENİ BİR YÖNTEM VE
TÜRKİYE'DEKİ UYGULAMADAN BİR ÖRNEK

H. H. ÇOĞALAN

ULUSLARARASI MÜHENDİSLİK JEOLJİSİ TÜRK MİLLİ KOMİTESİ

20. YILINA GİRERKEN

Uluslararası Mühendislik Jeolojisi Türk Milli Komitesi (UMJTMK), ülkemizde yapılan mühendislik jeolojisi çalışmalarını yurt dışında, dış ülkelerde yapılanları da yurt içinde duyurarak iletişimi sağlamak, ülkemizdeki mühendislik jeolojisi çalışmalarının düzeyini yükseltmek ve uygulama alanlarını geliştirmek amaçları ile, 5 Kasım 1976'da merhum Hocamız **Prof. Dr. Kemal ERGUVANLI**'nin ısrarlı gayretleri sonucunda kurulmuştur.

Bu yazıda sizlerle birlikte gerçekleştirdiklerimizi anımsatmak ve yapmayı tasarladıklarımızı bilgilerinize sunmak istedik. Başka bir deyişle 20. yılına girmekte olan komitemiz etkinliklerini gözden geçirmeye niyetlendik.

Ülkemizde gelenek oluşturma kavramının önemini her fırsatta bizlere aktaran hocamız, Mühendislik Jeolojisi Türk Milli Komitesi yıllık Bülteni'nin ilk sayısını çıkartırken, ileriki yıllarda bunun gelenekselleşmesini düşlemişti. Şimdi geriye doğru dönüp, geçen 19 yılda 15. sayıya ulaştığımızı görünce, bu düşün büyük ölçüde gerçekleştiğini kıvançla görüyoruz. Sizlerin değerli katkılarıyla oluşan bu kıvancı, yine sizlerle paylaşmak istiyoruz. Komitemizin Türkçe yayın organı olarak nitelendirilebilecek bu derginin, **hakemli dergi** düzeyine çıkarılabilmesi gayreti içindeyiz.

Nisan 1995'te çıkan 51. sayısını üyelerimize gönderdiğimiz **Uluslararası Mühendislik Jeolojisi Bülteni** (Bulletin of Engineering Geology)'nin dağıtılması Komitemizin önemli bir etkinliği olarak üyelerimizin değerli çalışmalarını uluslararası platformda duyurma olanağı buluyoruz. Özellikle son senelerde hemen her sayıda bir veya birkaç üyemizin makalelerini bu bültende izliyoruz. Kuşkusuz yaptıklarımızla, yayınlayabildiklerimiz arasındaki açığı halen kapatabilmiş değiliz.

Komitemiz tarafından kuruluşundan günümüze kadar **ulusal nitelikte üç sempozyum** düzenlenmiştir. Sırası ile **Devlet Su İşleri, Jeoloji Mühendisleri Odası ve Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi** ile ortaklaşa düzenlenen bu sempozyumların üniversite ve uygulayıcı kuruluşlarda çalışan meslektaşlarımızı biraraya getirme yönünde çok olumlu katkılar sağladığına tanık olduk. Komitemizin, yıllar sonrasında bile taktirle anılan en önemli etkinliği 1981 yılında düzenlenen "**Uluslararası Eriyebilir Kayalar Sempozyumu**" olmuştur. Daha sonraki yıllar bu tür bir etkinliği tekrar düzenleyebilmenin özlemi içinde geçmiş ancak ülkemizin, hepimizin yakından bildiği siyasal ve ekonomik koşulları buna olanak vermemiştir. 1 - 5 Eylül 1997 tarihleri arasında, **Jeoloji Mühendisleri Odası** tarafından **İstanbul**'da düzenleme kararı alınan "**Geology and Environment**" konulu **Uluslararası Sempozyum**, yıllar sonra bu özlemi giderme yönünde atılacak bir adım olacaktır.

Üyelerimizin, Uluslararası Birlik tarafından toplantıları olanaklarını zorlayarak da olsa katılma gayreti içinde olduklarının biliyoruz. 1994 Pekin toplantısı dışındaki hemen her bilimsel toplantıya bir veya bir-

kaç üyemiz katılma olanağı bulmuştur. 1997 Mayıs ayında **Atina'da** düzenlenecek olan **Sempozyuma** olabildiğince fazla üyemizin katılması ve onların kişisel temas olanağı bulmaları, 1997 Eylül İstanbul sempozyumuna yurt dışından geleceklerin artırılması yönünde bir fırsat olacaktır.

Bilindiği üzere Muhterem Hocamız Prof. Dr. Kemal ERGUVANLI'nın kaybindan sonra, **Yurt Madenciliğini Geliştirme Vakfı** bünyesinde oluşturulan **ERGUVANLI EĞİTİM FONU**'ndan sağlanan maddi destekle her yıl, **İlsans, yüksek İlsans ve doktora** düzeyindeki tezler arasından seçilenlere ödüller verilmektedir. 1996 yılından itibaren tezlerin yanısıra yurtiçi veya yurtdışındaki dergilerde Mühendislik Jeolojisi konusunda yayınlanmış **makaleler** arasından seçilen birine de **ödü**l verilmesi kararlaştırılmıştır.

İTÜ Maden Fakültesi Ayazağa Kampüsündeki "ERGUVANLI MÜHENDİSLİK JEOLojİSİ KİTAPLIĞI " üye ve diğer meslektaşlarımızın araştırmalarında başvuru bir uğrak yeri olarak gün geçtikçe daha fazla kullanılmaktadır. Bu arada, konu ile ilgili kitap ve periyodik bağışlarınıza açık olduğumuzu anımsatmak isteriz.

"ERGUVANLI KOLLOKYUM" ları 1994 senesinde alınan karara göre her iki yılda bir Kasım aylarında düzenlenecek **1996 Kasım** ayı Kollokyumunu , 1997 **"Jeoloji ve Çevre"** Uluslararası Sempozyumu hazırlıklarının gözden geçirilmesi olarak değerlendirmeyi düşünmekteyiz.

Özellikle son 10 yıldan bu yana **"Çevre"** kavramının kazandığı çok boyutluluk kapsamı içinde ülkemizdeki **Mühendislik Jeolojisi ve ÇED Raporu** uygulamaları da ayrı bir önem kazanmıştır. 1996 **"ERGUVANLI KOLLOKYUM"**u ve 1997 Jeoloji ve Çevre Uluslararası Sempozyumunun mesleğimizin bu alandaki uygulamalarının sergileneceği önemli fırsatlar yaratacağına inanıyoruz.

1996 yılı içinde GAP alanında bir **teknik gez**i düzenlemenin ve **Mühendislik Jeolojisi Uygulamaları** ile ilgili olan firmaların **kataloğunun** basım hazırlığı içindeyiz. Meslek dayanışmasını ve iletişimini sağlayacak benzer etkinliklerin sizlerin katkıları ile gelişeceği kuşkusuzdur.

Sizlere geçikme ile ulaştırabildiğimiz bültenimizin **15. sayısı, Jeoloji Mühendisleri Odamızın** değerli katkıları ile basılabildi. Her türlü bilimsel etkinliğimizdeki birliktelikleri ve desteklerinden kıvanç duyduğumuz Jeoloji Mühendisleri Odası Yöneticilerine içten teşekkürlerimizi sunuyoruz.

Komitemiz önümüzdeki yıllarda, gelenekselleşen bu etkinliklerini artırarak sürdürmesini diler, saygılarımızı sunarız.

Aralık, 1995
İstanbul

UMJTMK
Yönetim Kurulu

ÖZ - Mühendislik Jeolojisini kısaca; **Jeolojinin, özellikle ayrıntılı jeolojinin İnşaat Mühendisliğine uygulaması** olarak tanımlayabiliriz. Yeryüzünde, zeminde ve kaya içinde yapılacak her çeşit inşaat için zeminin veya kaya kütlelerinin jeolojik durumunun mühendislik ölçeğinde, yani ayrıntılı biçimde bilinmesi, yapılacak inşaatın boyutuna ve niteliğine göre gerekli olan sağlam jeolojik verilerin elde edilmesi, inşaatın her yönü ile **sağlam temeller üzerinde** sürdürülmesi ve sonuçlandırılması bakımından hayati önem taşır.

GİRİŞ

Mühendisin beklediği jeolojik verilerin başında, inşaat sahasında yeralan zeminin veya kayalık topluluğunun litolojik ve jeoteknik özelliğinin kesin olarak bilinmesi gelir. Bu bilgilerin elde edilmesi de, inşaat sahası ve yakın çevresinin 1/500, 1/1000 veya 1/2000 ölçeğinde ayrıntılı jeolojik (çoğukez litolojik) haritasının yapılması, ölçülü yatay ve düşey kesitlerinin çıkarılması ve arazide toplanan zemin veya kayalık örneklerinin jeoteknik özelliklerinin de, laboratuvar deneyleriyle saptanması sonucu ancak mümkün olur.

Ayrıntılı Jeoloji ise, doğayı-araziye 1/500 veya 1/1000 ölçeğinde inceleme ve değerlendirme anlamına gelir. Memleketimizde yapılan ve kullanılan en **ayrıntılı** jeoloji haritasının ölçeği 1/25.000'dir. Bunlar da, basılmış-yayınlanmış değillerdir. Üniversitelerimizin Jeoloji Mühendisliği Bölümlerinde yapılan **jeolojik harita alma uygulamaları**, bitirme ödevleri ve hatta master tezleri bile, genelde 1/25000 veya 1/12.500 ölçekli topoğrafya haritalarının üzerinde sürdürülmektedir. Bu ölçekteki haritalarda **jeolojik birim** olarak formasyonlar alınmakta ve bir formasyon içinde bazen 3-5 değişik litoloji (Kayalık türü) bulunabilmektedir. Ayrıca, 1/25.000 ölçekli bir haritada 1000 m²'lik bir inşaat sahasının büyüklüğü sadece 1.6 mm² (milimetrekare) dir. Arazide 25 m kalınlıktaki bir kayalık birimi, bu harita üzerinde ancak 1 mm kalınlıkta gösterilebilir. Daha az kalınlıklar ise, hiç gösterilemez.

* E. Prof. Dr., İTÜ Maden Fakültesi, Ayazağa/İSTANBUL

M.T.A. Genel Müdürlüğünün son yıllarda hazırlayıp zaman-zaman yayınladığı 1/100.000 ölçekli jeoloji haritaları ise, mühendislik jeolojisi uygulamaları için hiç elverişli değildir.

MÜHENDİSLİK JEOLJİSİ UYGULAMALARI

Yukarıda belirtilen nedenlerle, her boyuttaki, her türdeki mühendislik jeolojisi uygulamasında, bahis konusu inşaat sahasının ve yakın çevresinin 1/500, 1/1000 veya 1/2000 ölçeğinde jeoloji haritasının yapılması, ölçülü kesitlerinin çıkarılması zorunlu olmaktadır.

Diğer yönden, mühendislik jeolojisi uygulaması, inşaatın cinsine ve niteliğine göre düzenlenir. Örneğin; Heyelanlarda kayan kütlelerin litolojik ve yapısal özelliği, kaymayan taban kütlelerinden titizlikle ayrılması, ayrışma olayının derecesi ve boyutu, yeraltı suyunun durumu ve etkisi, killi zeminlerde şişme kabarma veya sıkışma-büzülme olaylarının ayrıntılı olarak incelenmesi gerekir.

Kaya kütleleri içinde sürdürülecek mühendislik jeolojisi çalışmalarında ise, örneğin; Çok katlı binaların derin temel çukurlarında, tünel ve metro kazılarında, baraj gövdesinin tabanında ve sağ-sol yamaçlarında, kayalık şevlerde, kaya kütlelerinde çok sayıda ve değişik yönlerde gelişmiş olan süreksizliklerin yani; Tabaka yüzeylerinin yarık-çatlak-fisür yüzeylerinin kayma düzlemlerinin klivaj ve şistilik düzlemlerinin ve ezik fay zonlarının doğrultu ve eğimlerinin ölçülmesi ve bu ölçülerin diyagramlarla değerlendirilmesi; Yeryüzünden ve sondajlardan toplanacak kayaç örneklerinin jeoteknik özelliklerinin laboratuvar deneyleriyle saptanması gerekmektedir. Burada önemli olan, tabaka yüzeylerinin fisür veya çatlak-yarık yüzeylerinden ve bunların klivaj-şistilik düzlemlerinden, tabakalararası kayma düzlemlerinin ezik zonlardan ve faylanmalardan ayırd edilmesidir.

Baraj-göl sahasının ise, en azdan 1/5000 veya 1/10.000 ölçeğinde jeolojik haritasının yapılması ve kayaç türlerinin petrografik ve sedimentolojik özelliklerinin ayrıntılı biçimde incelenmesi gerekir.

İNŞAAT ŞİRKETLERİNİN JEOLojİ MÜHENDİSLERİNDEN İSTEDİKLERİ-BEKLEDİKLERİ JEOLojİK BİLGİLERİN ve VERİLERİN BAŞLICALARI

Şirketin yapmak istediği bir iş için yazacağı teklif mektubuna esas olmak üzere, işin bulunduğu sahanın genel jeolojik durumunun belirlenmesi, sahaya gidip inceleme yapılması ve açılacak sondaj kuyularında ne tür kayalara veya zemin çeşitlerine rastlanabileceği hakkında, takribi de olsa, bir tahminde bulunulması;

Teklif mektubunun içeriği işveren tarafından kabul edildiği takdirde, sahanın ve yakın çevresinin büyük ölçekli (1/500, 1/1000, 1/2000 veya 1/5000) ayrıntılı jeoloji haritasının ve ölçülü kesitlerinin yapılması, İstanbul Paleozoyiğindeki Trakya formasyonu ve arkoz serisi gibi çok çeşitli tortul kayaç tabakalarından meydana gelmiş arazi için de, bir bakıma zorunludur.

Sondaja başlandığında, kuyudan çıkan malzemenin (çeşitli kaya veya zemin türlerinin) titizlikle incelenmesi, özelliklerinin ayrıntılı biçimde belirtilmesi, isimlendirilmesi ve daha sonra kuyu logunun düzenlenmesi;

Jeoteknik raporun yazılması, özellikle raporun baş kısmında yer alan **jeomorfoloji, bölgesel ve yerel jeoloji** paragraflarının mümkün olduğu kadar ayrıntılı biçimde kaleme alınması;

Zemin mekaniği ve kaya mekaniği laboratuvarlarındaki deney çalışmalarına katılma ve buralarda ortaya çıkabilecek jeoloji ile ilgili sorunlara çözüm aranması.

E. Hoek ve J.W. Bray'in (1974-1981) **Rock Slope Engineering** adlı, türkçeye de **Kaya Şev Stabillitesi** olarak 1977'de A. Günhan Paşamehmetoğlu ve arkadaşları tarafından çevrilmiş bulunan eserinde, mühendislik jeolojisinden beklenen hususlar, şöylece sıralanmıştır:

Hava fotoğrafları, jeoloji haritaları ve sondaj karotlarından yararlanmak suretiyle,

ilk jeolojik verilerin toplanması;

Şevin kritik bölgelerinin ayrıntılı-detaylı olarak incelenmesi, yüzey haritalarının yapılması, sondaj loglarının çıkarılması;

Elde edilen jeolojik verilerin stereografik projeksiyon diyagramlarıyla gösterilmesi;

Heyelanların ve ezik fay zonlarının özel olarak incelenmesi ve yeraltısuyu akımının-hidrojeolojisinin araştırılması.

MÜHENDİSLİK JEOLJİSİ UYGULAMALARININ İNŞAAT MÜHENDİSLERİNCE DEĞERLENDİRİLMESİ

Prof. Akın ÖNALP, İnşaat Mühendislerine Geoteknik Bilgisi adlı iki ciltlik çok kıymetli eserinde (K.T.Ü.Yayını, No.187, Trabzon, 1982) mühendislik jeolojisi uygulamalarını aşağıdaki ifadeleriyle değerlendirmektedir:

İnşaat alanının jeolojik olarak tanımlanması,mühendislik çalışmalarına ışık tutarak, sağlam kararlar alınmasına büyük ölçüde yardımcı olur. Jeoloji, jeotekniğin dayandığı temel bilim dalıdır.

Jeoteknik çalışmaların sağlıklı jeolojik bilgilerle yakından desteklenmesi hayati önem taşır.

Bugün inşaat mühendisi jeoloji biliminden, kullanacağı arazinin oluşumunu, bu oluşumdan beri geçirdiği olayları ve bunların zemin veya kayaç kütlesindeki etkilerinin neler olduğunu açıklamasını beklemektedir. Bu amaçla, jeoloji ve mühendislik jeolojisi haritaları ilk kaynak olarak kullanılır.

Sayın Akın ÖNALP, jeolojinin tünel mühendisliğindeki önemi hakkında da, şunları eklemektedir:

Jeoteknikte geniş jeolojik uygulama yapılmadan geçilemeyen tek konunun tüneller olduğu tereddütsüz söylenebilir.

Tünelin alacağı gerilmeler ve hareketler, kayaç ya da zeminin türünden çok, kütle- nin jeolojik geçmişine ve bunun göstergesi olan yapısal jeolojisine bağlıdır.

Jeolojik çalışmalar, tünelin planlama ve yapım aşamalarında sürekli olarak devam eder. Bölgenin jeolojik haritasının yapılması ve jeolojik geçmişinin ortaya çıkarılması ilk yapılan işlemdir. Harita almada, belirli bir şerit yerine, alan jeolojisinin çıkarılması ana kural olarak benimsenir.

Tünel etüdünde en önemli bölüm, eksenin fay bölgesinden geçip-geçmediğinin saptanmasıdır. Fayın varlığı, en sağlam kayaç kütlelerinde bile, ortamın güvenliğini sıfıra düşürebilmektedir. Su hücumu olasılığı da, jeolojik incelemeleri zorunlu duruma getirmiştir.

Ortamın su alması veya şişme gösteren minerallerin bulunması gibi olaylara neden olacak malzemeyi de jeologların belirlemeleri-tanımlamaları çok önemlidir. Tünel bölgesinde yeraltısuyu kaynağı varsa, kaynak hakkında, debisiyle birlikte bilgi edinilmesi gerekir. Sivas-Kangal'da yapılmakta olan tünel kazısında beliren nehir, tünel mühendislerine 1982'nin getirdiği yeni bir ders olmuştur.

Tünel jeolojisi günümüzde bir uzmanlık dalı haline gelmiştir, Prof.Dr.Ahmet SAĞLAMER (1992): Deliktaş Demiryolu Tünelinde kazanılan deneyimler yeraltı yapılarının projelendirilmesi aşamasında gerekli olan detaylı yerbilimleri araştırmalarının ne kadar önemli olduğunu bir kere daha ortaya koymuştur, şeklinde görüşlerini belirtmiştir.

EĞİTİM ve DENEYİM

Değişik üniversitelerden (İTÜ, İstanbul, Trabzon, Ankara ve Hacettepe'den) yeni mezun olmuş genç meslektaşlarımızın özellikle saha jeolojisinde karşılaştıkları ortak güçlükleri şöylece sıralayabiliriz:

Arazide ve kuyu başında gördükleri, incelemek istedikleri kaya türlerini veya-zemin çeşitlerini tanımada ve özellikle isimlendirmede;

İstanbul Paleozoyik arazisi gibi, şiddetli tektonik deformasyon geçirmiş bir sahada doğal olarak gelişmiş bulunan çok sayıdaki süreksizlikleri (tabaka, fisür, çatlak, yarık, klivaj, şistilik, kayma ve ezilme yüzeylerini) birbirinden ayırmada; özellikle tabaka yüzeyini diğerlerinden ayırmada;

Ayrıntılı-büyük ölçekli (1/2000 ilâ 1/500) jeoloji haritaları yapmada ve bunlara bağlı olarak, ölçülü düşey ve yatay kesitler çıkarmada ve rapor yazmada.

Karşılaşılan bu güçlükler, hiç şüphesiz 4 yıllık öğretim sırasında yeteri kadar arazi uygulamasının yapılamamış olmasından ileri gelmektedir. Eğer, 4 anabilim dalından oluşan Jeoloji Mühendisliği öğretiminde her bilim dalı ayrı ayrı ve sık sık öğrencileri araziye götürür ve özellikle bitirme ödevlerinde öğrencilerinden küçük bir sahanın ayrıntılı jeoloji haritasını da yapmaları istenirse, güçlüklerin büyük ölçüde önleneceğini sanıyorum. Ayrıca, her iki Jeoloji Anabilimdalı tarafından öğrencilere ayrışma, toprak oluşumu, güncel sedimentasyon Kuaterner jeolojisi ve jeomorfoloji konularında yeteri kadar bilgi verilmesi de çok yararlı olacaktır.

ÖĞRENCİLERE ÖNERİLERİM

Şimdi sevgili öğrencilerimize de birkaç sözüm var: Önce, üniversite öğrencisinin ortaokul ve lise öğrencisinden farklı bir durumda olduğunu belirtmek istiyorum. Üniversite öğrencisinin batı dillerindeki karşılığı; **Etudiant'e, Student'** dir ve bu sözler, etüd yapan, araştıran-inceleleyen kişi anlamına gelir.

Okullarda her çeşit genel bilgi öğretmenlerden ve kitaplardan öğrenilir; Üniversite-de ise, hocalar ve kitaplar sizlere, seçtiğiniz meslek için neler öğrenmeniz gerektiğini ve bunları nasıl öğreneceğinizi gösterirler, anlatırlar ama, asıl mesleği tam olarak öğrenmek, hayatta başarılı olabilmek için, bizzat kendinizin de, üniversite içinde ve dışında

çok yönlü çaba göstermeniz gerekmektedir. Özellikle, **doğayı gerçek yönleriyle tanıma ve değerlendirme mesleği olan jeoloji mühendisliğinde** başarılı olmanın sırrı, bu kişisel çabalara-gayretlere bağlıdır. Bunların başında da, arazi uygulamaları gelir.

1957'de yayınlanan ilk ders kitabımın ilk sahifesinde Jeolojinin kitaplardan çok, doğanın kendisinden öğrenileceğini yazmıştım. Bu görüşün ne kadar doğru, gerçeklere ne kadar uygun olduğunu da, 50 yılı aşkın meslek hayatım boyunca hep yaşamışımıdır. Şimdi bile, araziye çıkma imkânım olduğunda, yeni şeyler öğrendiğimi açıkça söyleyebilirim.

Sevgili öğrenciler, bu uzun sözlerden sonra, jeoloji mühendisi olmak isteyen sizlere önerim-tavsiyem; Fakültede öğrenime başlarken, kalem, kağıt, defter ve kitap alırken, bir de çekiç almanız ve onu hep yanınızda taşımanız, her fırsatta araziye çıkarak rastladığınız taşları-kayaları kırarak, iç kısımlarına bakarak, onları tanımaya çalışmanız, tanıyamadıklarınızı da hocalarınıza göstermeniz olacaktır. Bu arazi gezilerini tatil ve boş günlerinizde 4 yıl süre ile devam ettirebilirseniz, iyi yetişmiş, başarılı bir jeoloji mühendisi olarak mezun olursunuz ve de en önemlisi daha kolay iş bulabilirsiniz. Şunu da belirtiyim ki, iyi yetişmiş jeolog her zaman-her yerde aranan bir kişidir.

Diğer yönden, İstanbul bölgesi ve Silivri'den Gebze'ye kadar uzanan yakın çevresi, jeoloji öğrenmek için ideal bir okul, bir laboratuvar niteliğindedir. Burada jeoloji tarihinin 500 milyon yıllık bir devrini temsil eden taşları, kayaları ve toprakları, hemen hemen eksiksiz olarak görmek incelemek olanağı vardır. Bu bakımdan kendinizi şanslı sayabilirsiniz; Bu gezilerle hem İstanbul'un, boğazın, adaların, Çamlıcaların doğal güzelliklerini yaşayacaksınız, hem de iyi bir meslek sahibi olacaksınız. Hepinize başarılar diliyorum.

Sizlere de, beni sabırla dinlediğiniz için teşekkür ediyorum.

TÜRKİYE'DE JEOTERMAL ALANLARDAKİ DOĞAL KAYNAK İLE KUYU AKIŞKANLARININ KİMYASAL KARŞILAŞTIRILMASI VE HİDROJEOLJİK-BALNEOLOJİK AÇIDAN ÖNEMİ

Şakir ŞİMŞEK *

ÖZ - Türkiye'deki jeotermal alanlarda bugüne kadar yaklaşık 400 adet arama ve üretim kuyusu açılmıştır. Bu alanlardaki mevcut sıcak ve mineralli suların kimyasal analizleri ile aynı sahada açılan kuyulardan üretilen jeotermal suların, kimyasal açıdan büyük ölçüde benzerlik göstermesine rağmen, özellikle derin kuyu açılan sahalarda sıcaklık ve kimyasal açıdan oldukça farklı kompozisyon sundukları gözlenmiştir. Bu durum farklı hidrojeolojik yapıdan kaynaklanmakta olup sahalarda mevcut sıcak su kaynakları ve kuyulardan alınan suların, balneolojik önemi nedeniyle ayrı ayrı değerlendirmeleri gerekmektedir.

ABSTRACT - Approximately 400 exploration and production wells have been drilled in geothermal fields in Turkey up to date. Although, there is a similarity of chemical analyses between hot spring water produced from wells in same area, but especially in deep well drilled areas same differences in temperatures and chemical compositions have been observed. This conditions are related to different hydrogeological structure of the geothermal fields. The hot spring waters and thermal waters produced from wells should be evaluated individually in each field, because of different balneological importance.

GİRİŞ

Türkiye'deki son yıllarda jeotermal alanlarda, başta Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA) olmak üzere, Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı (TPAO) ve Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü (DSİ) tarafından 400'e yakın sığ ve derin arama ve işletme kuyusu açılmış bulunmaktadır. Bu kuyuların derinlikleri 30-2398 m arasında olup, 32-232°C rezervuar sıcaklığında ve 150 lt/sn'ye ulaşan debide jeotermal akışkan üretimi sağlanmıştır.

* Prof. Dr., Hacettepe Üniv., Müh.Fak., Jeoloji Müh.Bl., Hidrojeoloji Anabilim Dalı, Beytepe/ANKARA

Türkiye'deki yerel hidrojeolojik koşullar nedeniyle değişik kimyasal kompozisyonda termal sular oluşmuştur. Herhangi bir termal alanda farklı kimyasal bileşimde ve sıcaklıkta sular oluşabilmektedir (Şimşek, Tarakçıoğlu, Yıldırım 1989). Jeotermal alanlarda bugüne kadar açılan kuyulardan elde edilen suların analizinin sahadaki mevcut termal su kaynaklarında alınan suların analizleri ile karşılaştırıldığında genel olarak benzer özellik göstermek beraber bir çok alanda da gerek sıcaklık, gerekse kimyasal bileşim açısından farklı bileşimlere sahip oldukları da görülmüştür.

Bu yayında, Türkiye'de kuyu açılarak debileri artırılan bazı jeotermal alanlardaki akışkanların kimyasal yönden karşılaştırılması ve bu konunun hidrojeolojik ve balneolojik yönden önemi üzerinde durulacaktır.

TERMAL KAYNAK VE KUYU AKIŞKANLARININ KARŞILAŞTIRILMASI

Türkiye'de son 30 yıldan beri birçok jeotermal su verimi ve sıcaklığını artırmak ve daha iyi kaptaj sağlamak amacıyla bir çok kuyu açılarak olumlu sonuçlar alınmıştır. Yapılan değerlendirmelere göre, bazı alanlarda kaynak ve kuyu sularından elde edilen akışkanın sıcaklık ve kimyasal bileşim açısından hemen hemen aynı özellikte olduğu belirlenmiştir. Bu sahalara örnek olarak Konya-Ilgın ve Diyarbakır Çermik, Eskişehir-Sakarlı Ilıca sahaları verilebilir (Canik 1981, Şimşek ve Ölmez 1990). Bazı alanlarda ise kimyasal kompozisyonları benzemesine rağmen sıcaklık farkı bulunmaktadır. Buna örnek olarak, Rize-Ayder'de kaynak (43°C) ve kuyu suları (56°C) ve Ankara-Kızılcahamam'da kaynak (51°C) ve kuyu suları (76-86°C) değerleri verilebilir. Yine bazı sahalarda sıcaklıklar aynı olmasına rağmen suların kimyasal analizleri bazı farklılıklar göstermektedir. Erzurum Ilıca'da akışkan sıcaklığının aynı (38-39°C) olmasına karşın erimiş madde (4016-4884 mg/l) ve iyon karşılaştırmasına göre farklılıklar bulunduğu saptanmıştır.

Yukarıda verilen örneklerle göre, gerek sıcaklık, gerekse kimyasal bileşim açısından doğal kaynak ve kuyu sularının oldukça farklı olduğu alanlar belirlenmiştir. Bu alanlara örnek olarak, Aydın-Salavatlı, Kütahya-Eynal ve İzmir-Balçova jeotermal sahaları sayılabilir.

Aydın Salavatlı sahasında kaynak suyu 39°C, toplam erimiş madde 1250 mg/lt ve iyon karakteristiği Ca Mg Na ve HCO₃ Cl SO₄ iken açılan 1500 m (AS-I) ve 962 m (AS-2) derinliğindeki kuyularda rezervuar sıcaklığı 162-171°C, toplam erimiş madde 4362 mg/lt ve iyon karakteristiği Na K Ca ve HCO₃ Cl SO₄ olan bir akışkan üretilmiştir (Şekil 1-2-3). Kütahya Eynal sahasında termal kaynak suyu 63°C, toplam erimiş madde 1992 mg/lt, iyon karakteristiği Na K Ca ve SO₄ HCO₃ Cl iken, açılan 960 m'lik kuyuda (EJ-I) 164°C rezervuar sıcaklığı toplam erimiş madde 1520 mg/lt ve iyon karakteristiği Na K Ca ve CO₃ SO₄ HCO₃ olan akışkan elde edilmiştir (Tablo 1).

İzmir Balçova alanında ise termal kaynak suyu 63°C toplam erimiş madde 826 mg/lt ve iyon karakteristiği Na Ca Mg ve HCO₃ Cl SO₄ iken kuyudan (B-9) 126°C rezervuar sıcaklığı, toplam erimiş madde 1442 mg/lt ve iyon karakteristikleri Na K Ca ve HCO₃ Cl SO₄ olan akışkan üretilmiştir. Benzer durum Çanakkale-Tuzla jeotermal alanında da görülmektedir (Tablo 1).

Yukarıda belirtilen Aydın-Salavatlı, Kütahya-Eynal, Çanakkale-Tuzla ve İzmir-Balçova'da diğer fiziksel özelliklerde de farklılıklar belirlenmiştir.

Eskişehir-Sakarılıca, Çanakkale-Tuzla ve Aydın-Salavatlı jeotermal sahalarında kimyasal analiz karşılaştırılması ile kaynak ve kuyu sularının benzerlikleri ve farklılıkları Şekil 1 A-B, şekil 2 A-B, şekil 3 A-B'de gösterilmiştir.

SAKARILICA HS 37

Na+K= 13.78 KATYON
Mg = 9.79 Cations
Ca = 3.59

Cl = 1.35 ANYON
SO4 = 1.26 Anions
HCO3 = 24.47
+CO3

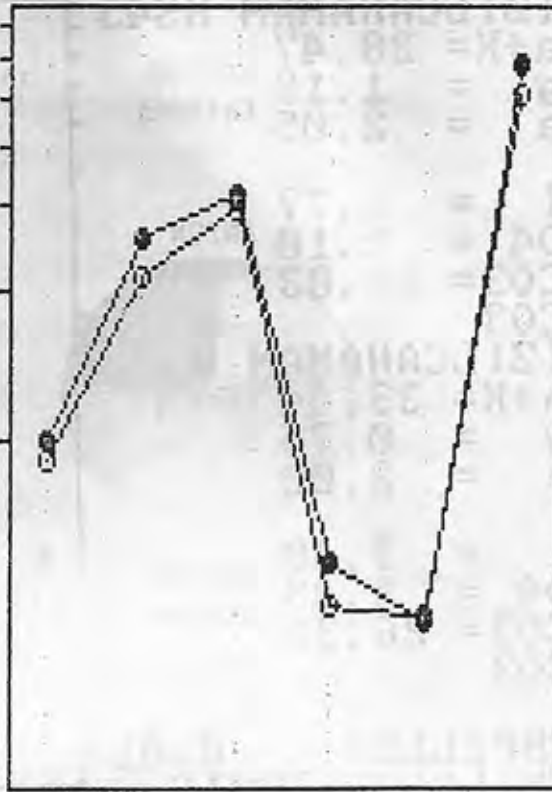
SAKARILICA W

Na+K= 14.78 KATYON
Mg = 12.01 Cations
Ca = 3.99

Cl = 1.84 ANYON
SO4 = 1.21 Anions
HCO3 = 27.73
+CO3 Mek/lt

SCHOELLER 0.01
SEMILOGARITHMIC
DIAGRAM

Hot spring-Kaynak
Well-Kuyu



Ca Mg Na Cl SO4 HCO3

Şekil 1 A

SALAVATLI HS 90

Na+K= 1.96 KATYON
Mg = 9.13 Cations
Ca = 12.95

Cl = 0.76 ANYON
SO4 = 6.08 Anions
HCO3 = 17.19
+CO3

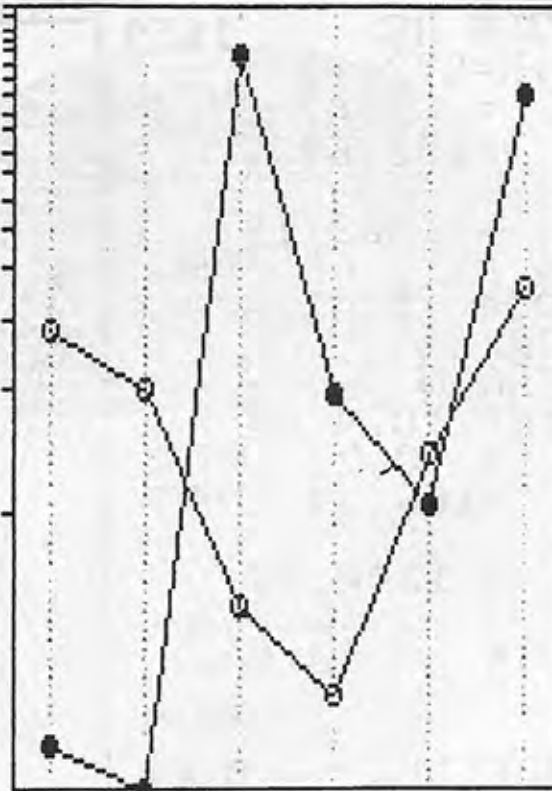
SALAVATLI W

Na+K= 67.42 KATYON
Mg = 0.00 Cations
Ca = 0.30

Cl = 8.72 ANYON
SO4 = 4.25 Anions
HCO3 = 54.75
+CO3 Mek/lt

SCHOELLER 0.01
SEMILOGARITHMIC
DIAGRAM

Hot spring-Kaynak
Well-Kuyu



Ca Mg Na Cl SO4 HCO3

Şekil 1 B

Şekil 1 A-B Eskişehir-Sakarılca ve Çanakkale-Tuzla kaynakları ve kuyularından alınan sıcak suların kimyasal karşılaştırılması.

KIZILCAHAMAM HS45

Na+K= 28.47
Mg = 1.18
Ca = 2.05

KATYON
Cations

Cl = 6.77
SO4 = 2.10
HCO3 = 22.83
+CO3

ANYON
Anions

KIZILCAHAMAM U

Na+K= 33.44
Mg = 0.74
Ca = 2.00

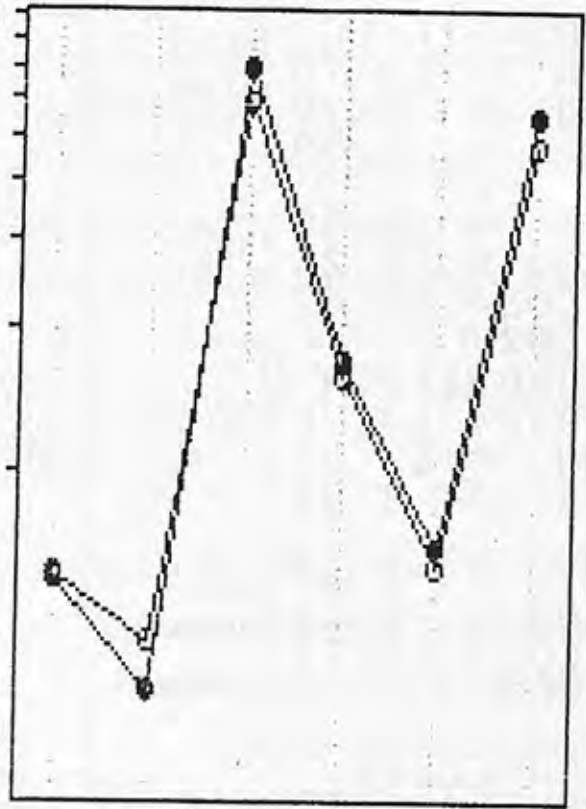
KATYON
Cations

Cl = 7.40
SO4 = 2.43
HCO3 = 26.35
+CO3

ANYON
Anions
Mek/lt

**SCHOELLER 0.01
SEMILOGARITHMIC
DIAGRAM**

Hotspring-Kaynak
Well-Kuyu



Ca Mg Na Cl SO4 HCO3

Sekil 2 A

TUZLA HS 1659

Na+K=872.12
Mg = 2.47
Ca =153.69

KATYON
Cations

Cl = 1023.19
SO4 = 3.66
HCO3 = 1.42
+CO3

ANYON
Anions

TUZLA U

Na+K= 1074.04
Mg = 0.73
Ca =166.54

KATYON
Cations

Cl = 1244.75
SO4 = 3.66
HCO3 = 0.90
+CO3

ANYON
Anions

Mek/lt

**SCHOELLER 0.01
SEMILOGARITHMIC
DIAGRAM**

Hotspring-Kaynak
Well-Kuyu



Ca Mg Na Cl SO4 HCO3

Sekil 2 B

Şekil 2 A-B Ankara-Kızılcahamam ve Çanakkale-Tuzla kaynakları ve kuyularından alınan sıcak suların kimyasal karşılaştırılması

■ Na+K= 1.85

□ Mg = 8.72 Katyonlar

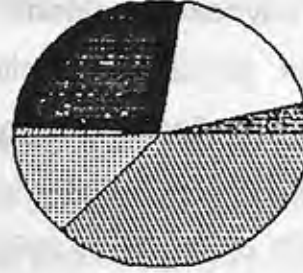
■ Ca =12.38

Mek/lt

▨ Cl = 0.8

▤ SO4 = 6.1 Anyonlar

▧ HCO3=17.2



SALAVATLI KAP.

Şekil 3 A

▨ Na+K=65.78 Katyonlar

□ Mg = 0.00

■ Ca = 0.30

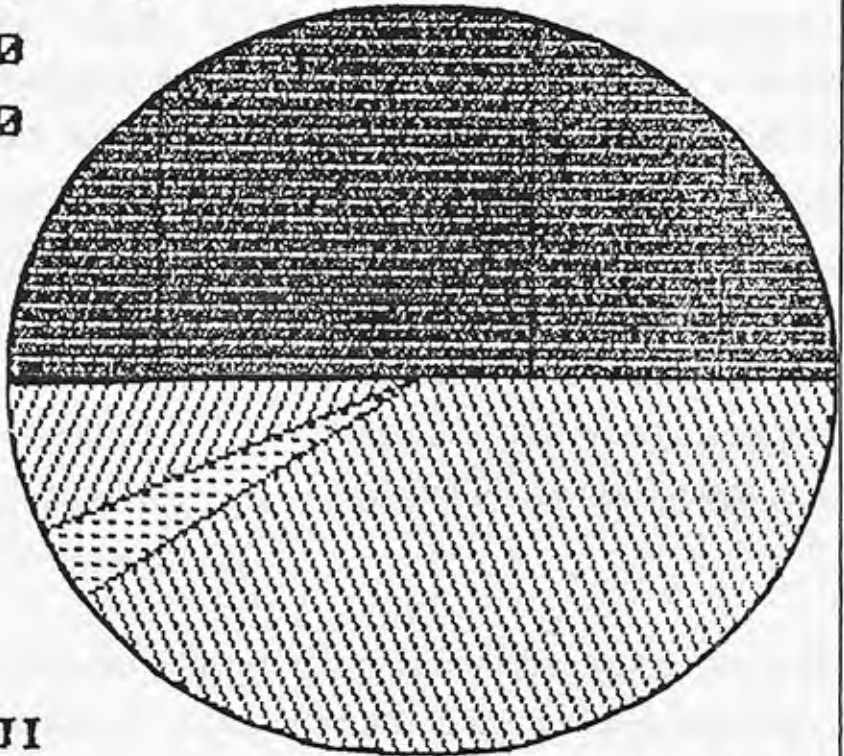
Anyonlar

▨ Cl = 8.4

▤ SO4 = 4.1

▧ HCO3=52.6

Mek/lt



ASI SONDAJI

Şekil 3 B

Şekil 3 A-B Aydın-Salavatlı jeotermal alanındaki termal kaynak ve kuyu suyunun majör iyon karşılaştırılması

GENEL DEĞERLENDİRME

Görüldüğü gibi, Dünyadaki termal alanlarda da kaynak ve kuyu suları benzer ve farklı fiziksel kimyasal kompozisyonda bulunabilmektedir. Bu benzer ve farklılıklar yöredeki hidrojeolojik yapıdan kaynaklanmaktadır. Kaynak ve kuyu sularındaki benzerliklerin en önemli nedenleri olarak; kuyuların genellikle sığ oluşu, örtü kaya bulunmaması ve bölgede aynı kökenli ve benzer özellikteki kayaların hakim olması, farklılıklarının nedenleri olarak ta; jeotermal alanda farklı orijinli kayaçların bulunuşu, rezervuarların derinlerde ve açılan kuyuların derin oluşu, örtü kayaçlarının kalınlığı ve jeotermal alanların orta ve yüksek entalpili sahalardan oluşmaktadır. Jeotermal alanlarda farklı hidrojeolojik koşullar nedeniyle kuyu ve kaynak sularındaki fiziksel ve kimyasal farklılıklar balneolojik açıdan da önem taşımaktadır. Bu nedenle kuyu açılan sahalarda, sahadaki termal kaynağın balneolojik değerlendirilmesine ilaveten yeni açılan kuyu veya kuyuların ayrı ayrı balneolojik açıdan değerlendirilmesi gerekmektedir.

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

1- Jeotermal alanlarda mevcut kaynak ile açılan kuyulardan elde edilen termal sular fiziksel ve kimyasal yönden her sahadaki hidrojeolojik koşullara göre benzer veya tamamen farklı özellik taşıyabilmektedir. Örnek olarak incelenen sahalardan; Rize-Ayder ve Kızılcahamam'da kimyasal bileşimler aynı olmasına rağmen sıcaklıkların farklı olduğu belirlenmiştir. Konya-Ilgın, Diyarbakır-Çermik ve Eskişehir-Sakarılıca'da sıcaklık ve kimyasal özelliklerin hemen hemen aynı olduğu anlaşılmıştır. Sıcaklıkları aynı olmasına rağmen kimyasal kompozisyonlarında farklılık olan sahalara örnek olarak,Erzurum-Ilıca sahası gösterilebilir. Sıcaklık ve kimyasal bileşim açısından benzerlik göstermeyen sahalardan ise, Aydın-Salavatlı, Kütahya-Eynal, Çanakkale-Tuzla ve İzmir-Balçova sahaları sayılabilir.

2- Kaynak ve kuyu sularındaki benzerlikler ve farklılıklar yöredeki hidrojeolojik koşullarla yakından ilgilidir. Kuyu açılan sahalardaki yapılan değerlendirmelere göre kaynak ve kuyu sularındaki benzerliklerin en önemli nedenleri bölgede örtü kaya bulunma-

ması, yörede aynı kökenli ve tip kayaların hakim olması ve açılan kuyuların sığ oluşu sayılabilir. Kaynak ve kuyu sularındaki farklılıklar ise jeotermal alanda farklı litolojik birimlerin bulunuşu, örtü kayanın yeterli ve kalın oluşu, rezervuarların ve dolayısıyla açılan kuyuların derin oluşu ve jeotermal alanların orta ve yüksek entalpili sahalar olmasından doğmaktadır.

3- Termal su imkanlarının artırılması ve sağlıklı kaptajı amacıyla kuyu açılan sahalardan elde edilen suların fiziksel ve kimyasal farklılıkları nedeniyle kullanıma sunulmadan önce yeniden balneolojik değerlendirme yapılmasında büyük yarar vardır.

YARARLANILAN KAYNAKLAR

BÜYÜK M., 1986. Batı Almanya Kaplıcalar Birliği tanımlamalarına göre Türkiye'deki sıcak su sondajlarından elde edilen suların sağlık amacı ile kullanımı SITH XXII.Uluslararası Hidrotermal Mühendisliği ve Kaplıca Hekimliği Kongresi, Cilt 4. Sayı 1-2-3 İSTANBUL

CANİK B., 1981. Konya-İlgın sıcaksu kaynaklarının hidrojeoloji incelemesi. S.Ü.Fen Fak.Dergisi Sayı 1 Seri A. s.1-8 KONYA

ŞİMŞEK Ş.,und Demir A. 1989. Reservoir and Cap Rock Characteristics of Some Geothermal Fields Based on Lithology, Seminar on New Developments in Geothermal Energy EP/SEM. 14/R. 22 ANKARA

ŞİMŞEK Ş.,Tarakçıoğlu H. und Yıldırım T., 1989. Bazı jeotermal sahalardaki kuyu ve sıcak su kaynaklarından alınan su örneklerinin kimyasal analizlerinin karşılaştırma tablosu. MTA arşivi ANKARA.

**KAYA ORTAMINDA YAPILAN BASINÇLI SU DENEY VERİLERİNİN
BUREAU OF RECLAMATION YÖNTEMİYLE DEĞERLENDİRİLMESİNE
YENİ BİR YAKLAŞIM**

Fikri BULUT *
Suat BOYNUKALIN *
Fikret TARHAN **
Remzi DİLEK **

ÖZ - Su yapıları ile ilgili mühendislik projelerinde, temel kayasının geçirgenliğinin bilinmesi büyük bir öneme sahiptir. Bilindiği gibi, doygun ve doygun olmayan kaya ortamlarında yapılan, tek ve çift lastik basınçlı su deney verilerinin Bureau of Reclamation tarafından önerilen ampirik ifadeler veya grafikler yardımıyla değerlendirilmesi esnasında zaman alıcı pek çok ara işlemin yapılması gerekmektedir. Bu araştırmada, permeabilite katsayısının bulunmasında kullanılmak üzere, yukarıda belirtilen işlemleri gerektirmeyen, yeni bir grafik yöntem önerilmiştir. Önerilen grafik, basınçlı su deneyi yapılan zonda, ortamın permeabilite katsayısı büyüdükçe, deney zonuna verilen su miktarının artacağı düşüncesine dayanılarak hazırlanmıştır. Eğer 2 m.'lik bir deney zonunda 10 dakikada giden ortalama su miktarı biliniyorsa, bu zonun ortalama permeabilite katsayısı önerilen grafik yardımıyla büyük bir yaklaşımla bulunabilir.

ABSTRACT - The determination of permeability of foundation rock has a great importance in engineering projects. As known, coefficient of permeability of saturated and unsaturated rock mass can be found by Bureau of Reclamation method using single or double packer water-pressure test results obtained from drill holes. However, the determination of permeability coefficient by the Bureau of Reclamation method requires some time consuming processes. In this study, a new graphical method which doesn't need the processes indicated above is proposed for determination of coefficient of permeability. This graphic has been prepared with the idea of the amount of water injected into the testing zone will increase as the permeability of rock mass increases. If the amount of average water-flow in a 2 meters test zone is known, average permeability coefficient of this zone can be found easily by the proposed graphic.

* Yrd. Doç. Dr. , KTÜ Müh.Mim.Fak. , Jeoloji Müh.Bölümü - TRABZON

** Prof. Dr., KTÜ Müh. Mim. Fak., Jeoloji Müh. Bölümü - TRABZON

**KAYA ORTAMINDA YAPILAN BASINÇLI SU DENEY VERİLERİNİN
BUREAU OF RECLAMATION YÖNTEMİYLE DEĞERLENDİRİLMESİNE
YENİ BİR YAKLAŞIM**

Fikri BULUT	*
Suat BOYNUKALIN	*
Fikret TARHAN	**
Remzi DİLEK	**

ÖZ - Su yapıları ile ilgili mühendislik projelerinde, temel kayasının geçirgenliğinin bilinmesi büyük bir öneme sahiptir. Bilindiği gibi, doygun ve doygun olmayan kaya ortamlarında yapılan, tek ve çift lastik basınçlı su deney verilerinin Bureau of Reclamation tarafından önerilen ampirik ifadeler veya grafikler yardımıyla değerlendirilmesi esnasında zaman alıcı pek çok ara işlemin yapılması gerekmektedir. Bu araştırmada, permeabilite katsayısının bulunmasında kullanılmak üzere, yukarıda belirtilen işlemleri gerektirmeyen, yeni bir grafik yöntem önerilmiştir. Önerilen grafik, basınçlı su deneyi yapılan zonda, ortamın permeabilite katsayısı büyüdükçe, deney zonuna verilen su miktarının artacağı düşüncesine dayanılarak hazırlanmıştır. Eğer 2 m.'lik bir deney zonunda 10 dakikada giden ortalama su miktarı biliniyorsa, bu zonun ortalama permeabilite katsayısı önerilen grafik yardımıyla büyük bir yaklaşımla bulunabilir.

ABSTRACT - The determination of permeability of foundation rock has a great importance in engineering projects. As known, coefficient of permeability of saturated and unsaturated rock mass can be found by Bureau of Reclamation method using single or double packer water-pressure test results obtained from drill holes. However, the determination of permeability coefficient by the Bureau of Reclamation method requires some time consuming processes. In this study, a new graphical method which doesn't need the processes indicated above is proposed for determination of coefficient of permeability. This graphic has been prepared with the idea of the amount of water injected into the testing zone will increase as the permeability of rock mass increases. If the amount of average water-flow in a 2 meters test zone is known, average permeability coefficient of this zone can be found easily by the proposed graphic.

* Yrd. Doç. Dr. , KTÜ Müh.Mim.Fak. , Jeoloji Müh.Bölümü - TRABZON

** Prof. Dr., KTÜ Müh. Mim. Fak., Jeoloji Müh. Bölümü - TRABZON

GİRİŞ

Bureau of Reclamation Yönteminde kaya ortamının geçirgenlik katsayısı, doymun ve doymun olmayan ortamlarda yapılan basınçlı su deneylerinden sağlanan veriler kullanılarak matematiksel eşitlikler veya bu eşitliklerden türetilmiş abaklar yardımıyla bulunmaktadır.

Bilindiği gibi Bureau of Reclamation Yöntemiyle ortamın geçirgenlik katsayısının bulunmasında su seviyesinin konumuna göre belirlenen üç ayrı zon için farklı matematiksel eşitlikler veya farklı abaklar kullanılmaktadır (Şekil 1). Ayrıca, zon ayrımı ve borulardaki sürtünme kayıpları için hazırlanmış abaklardan da yararlanılmaktadır.

Her deney kademesi için farklı basınçlarda ve belli bir sürede deney kademesine verilen su miktarına göre hesaplanan geçirgenlik katsayısı değerlerinin ortalaması alınarak o deney kademesinin ortalama geçirgenlik katsayısı bulunmaktadır.

Geçirgenlik katsayısının matematiksel eşitlikler yardımıyla belirlenmesi, çok sayıda hesaplama yapmayı gerektirmektedir. Abak kullanıldığında ise benzer hesaplamalara ek olarak sıkıcı ve zaman alıcı değerlendirme işlemleri ile uğraşmaktadır. Ayrıca, abaklar her gerçek yük (H) veya $Tu+H-A$ değerini içermediğinden, ara değerler için enterpolasyon yapma zorunluluğu vardır.

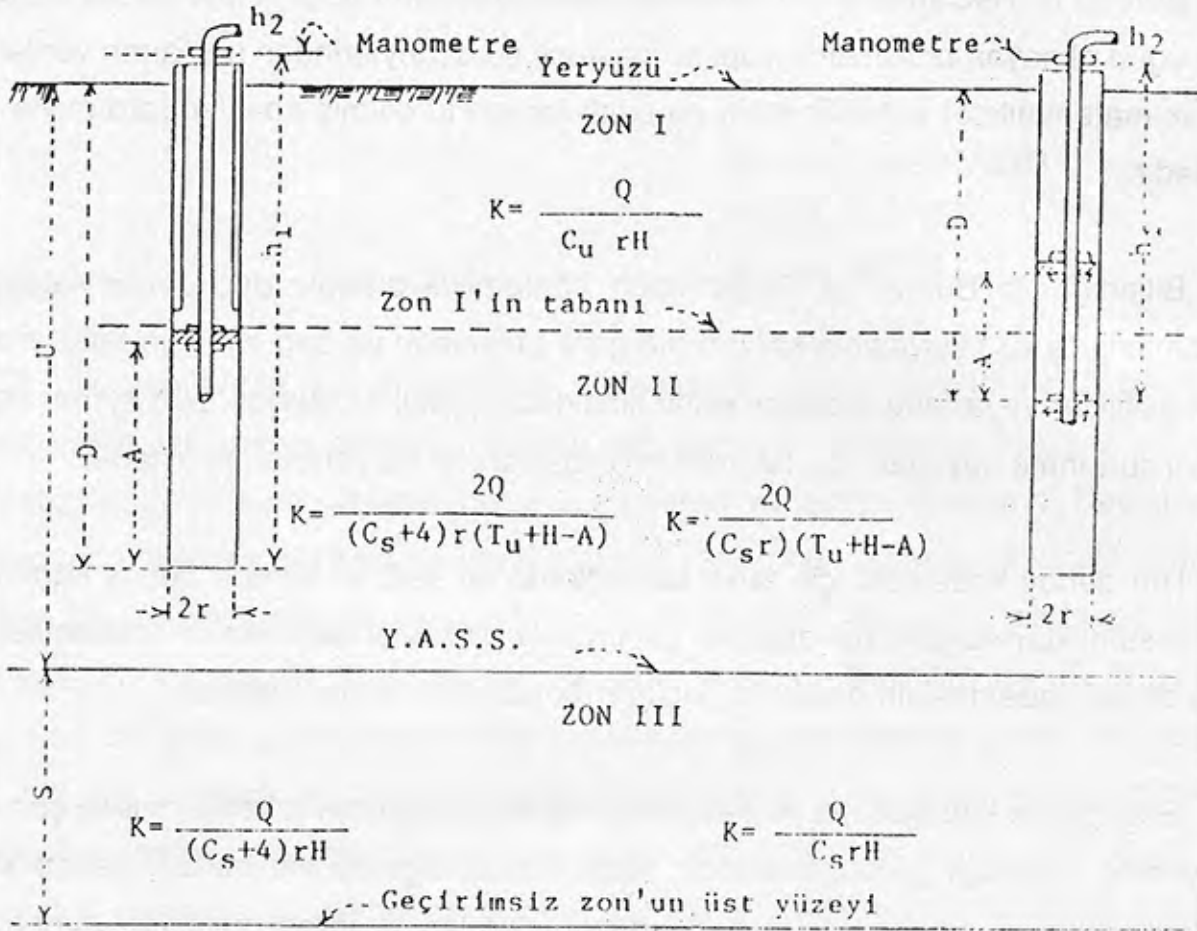
Bu makalede önerilen yaklaşım, Bureau of Reclamation Yöntemiyle kaya ortamının geçirgenlik katsayısının belirlenmesinde yukarıda özetlenen güçlükleri ortadan kaldırmaktadır.

ÖNERİLEN YAKLAŞIM

Bu yaklaşım, deney kademesindeki ortalama su kaybı ile ortamın ortalama geçirgenlik katsayısı arasında doğrusal bir ilişki olduğu esasına dayanmaktadır. Bu ilişkiyi araştırmak üzere Doğu Karadeniz Bölümünde yapımı planlanan Artvin, Çambaşı (Çay-

TEK LASTİK

ÇİFT LASTİK



$$C_u = \frac{2(2AH - A^2) \pi}{rH \left[\sin^{-1} \left(\frac{A}{r} \right) - \frac{A}{H} \right]}$$

$$C_s = \frac{2 \pi A}{r \ln (A/r)}$$

$$T_u = U - D + H$$

$$H = h_1 + h_2 - L$$

K = Geçirgenlik katsayısı ft/sn

Q = Deney kademesindeki su kaybı ft³/sn

H = Efektif yük, ft

h₁ = Kuyudaki su yüksekliği, ft

h₂ = Manometrede okunan basınç su yüksekliği türünden değeri, ft

L = Sürtünme nedeniyle borulardaki su kaybı, ft

A = Deney kademesi uzunluğu, ft

r = Denev yapılan sondajın yarıçapı, ft

C_u = Deygun olmayan tabakanın geçirgenlik katsayısı

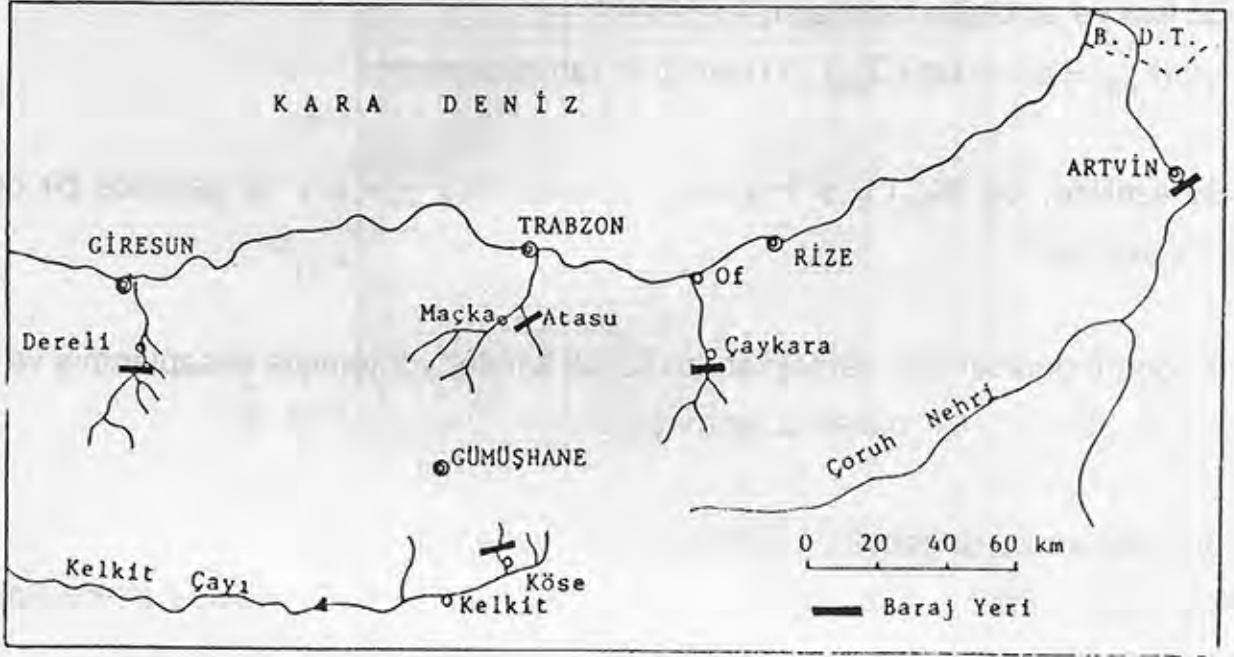
C_s = Deygun tabakanın geçirgenlik katsayısı

D = Yüzeyden deney kademesi tabanına olan uzaklık, ft

U = Yüzeyden Y.A.S.S.ine olan uzaklık, ft

Şekil I Bureau of Reclamation Yöntemine göre geçirgenlik katsayısının belirlenmesinde kullanılan eşitlikler.

kara-Trabzon), Atasu (Trabzon), Köse (Gümüşhane) ve Dereli (Giresun) baraj yerlerinde (Şekil 2), değişik litolojilerdeki kaya ortamlarında açılmış temel sondajlarında toplam 450 deney kademesinde gerçekleştirilen basınçlı su deneyi verileri kullanılmıştır.



Şekil 2 Basınçlı su deney verilerinin sağlandığı baraj yerleri

Önce, 2 metre uzunluğundaki her deney kademesi için Bureau of Reclamation tarafından verilen matematiksel eşitlikler kullanılarak 2, 4, 6, 8 ve 10 atmosfer basınç değerleri için geçirgenlik katsayısı değerleri hesaplanmış ve bulunan değerlerin aritmetik ortalaması alınarak, o deney kademesine ait ortalama geçirgenlik katsayısı (K_{ort}) değeri belirlenmiştir. Benzer şekilde, her deney kademesinde 2, 4, 6, 8 ve 10 atmosferlik basınçlarda 10 dakikada meydana gelen su kayıplarının ortalaması alınarak, o deney kademesine ait ortalama su kaybı (Q_{ort}) bulunmuştur. Daha sonra, deney kademesindeki ortalama su kaybı ile ortalama geçirgenlik katsayısı arasında bir ilişkinin olup olmadığı araştırılmıştır.

Bu amaçla, Q_{ort} ile K_{ort} değerleri aritmetik eksen takımında işaretlenmiştir. Şekil 3'te görüldüğü gibi, Q_{ort} değerlerine ait eksen ölçeği küçük kaldığından, düşük debi değerleri üst üste düşmektedir. Dolayısıyla, Q_{ort} ile K_{ort} arasında olması gereken lineer ilişkinin aritmetik eksen üzerinde gösterilmesi, apsisi çok uzun olan bir grafiği gerektirmek-

tedir. Bu nedenle, Q_{ort} ile K_{ort} değerleri çift logaritmik eksen takımında işaretlenmiş ve bu iki değişken arasında lineer bir ilişkinin var olduğu açıkça görülmüştür (Şekil 4).

Bu ilişkiye ait doğru denklemi;

$$\log (K_{ort}) = a + b \log (Q_{ort}) \quad (1) \text{ eşitliği ile tanımlanmıştır.}$$

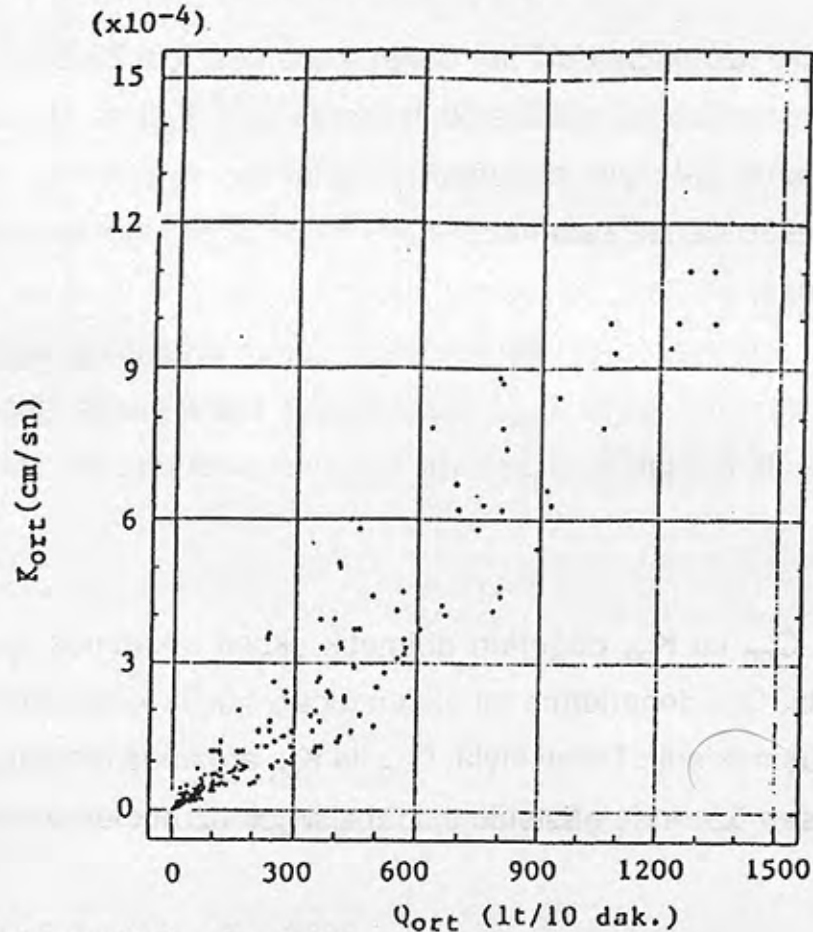
Bu eşitlikte, $\log (K_{ort}) = y$, $\log (Q_{ort}) = x$ konursa; $y = a + bx$ şeklinde bir doğru denklemi elde edilir.

Bu doğru denkleminin katsayıları en küçük kareler yöntemiyle hesaplanmış ve $a = -6.23$ $b = 1.01$ olarak bulunmuştur.

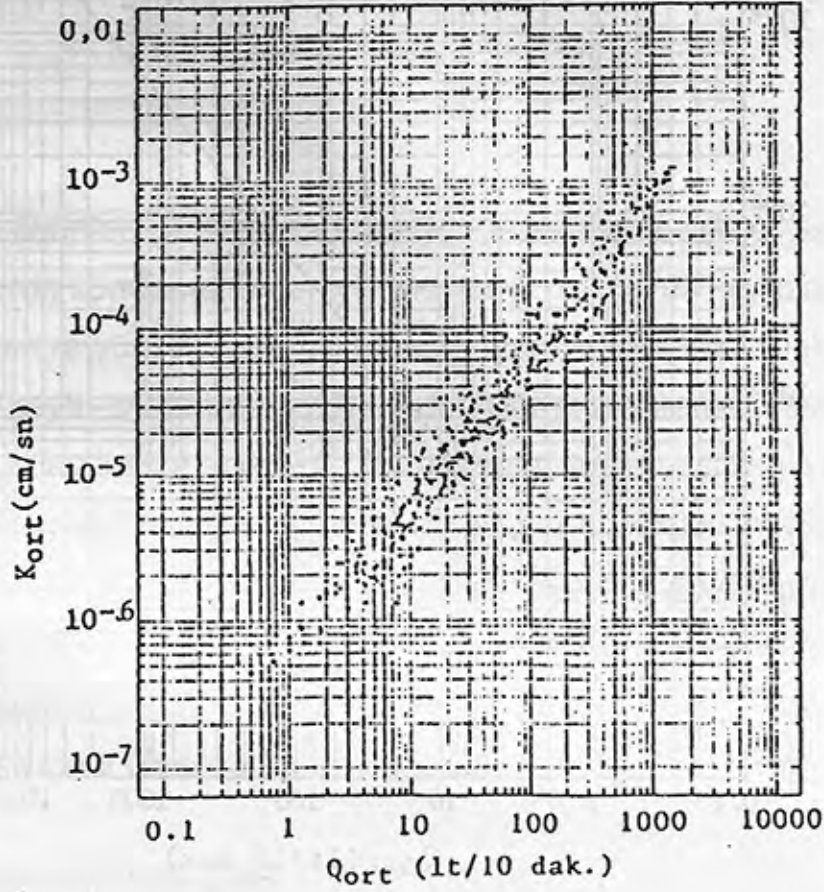
Bulunan a ve b değerleri (1) denkleminde yerlerine konursa;

$\log (K_{ort}) = 6.23 + 1.01 \log (Q_{ort})$ (2) eşitliği elde edilir. Bu ilişkiye ait korelasyon katsayısı;

$r = 0.98$ olup, tahminin standart hatası ise 0.165'tir.



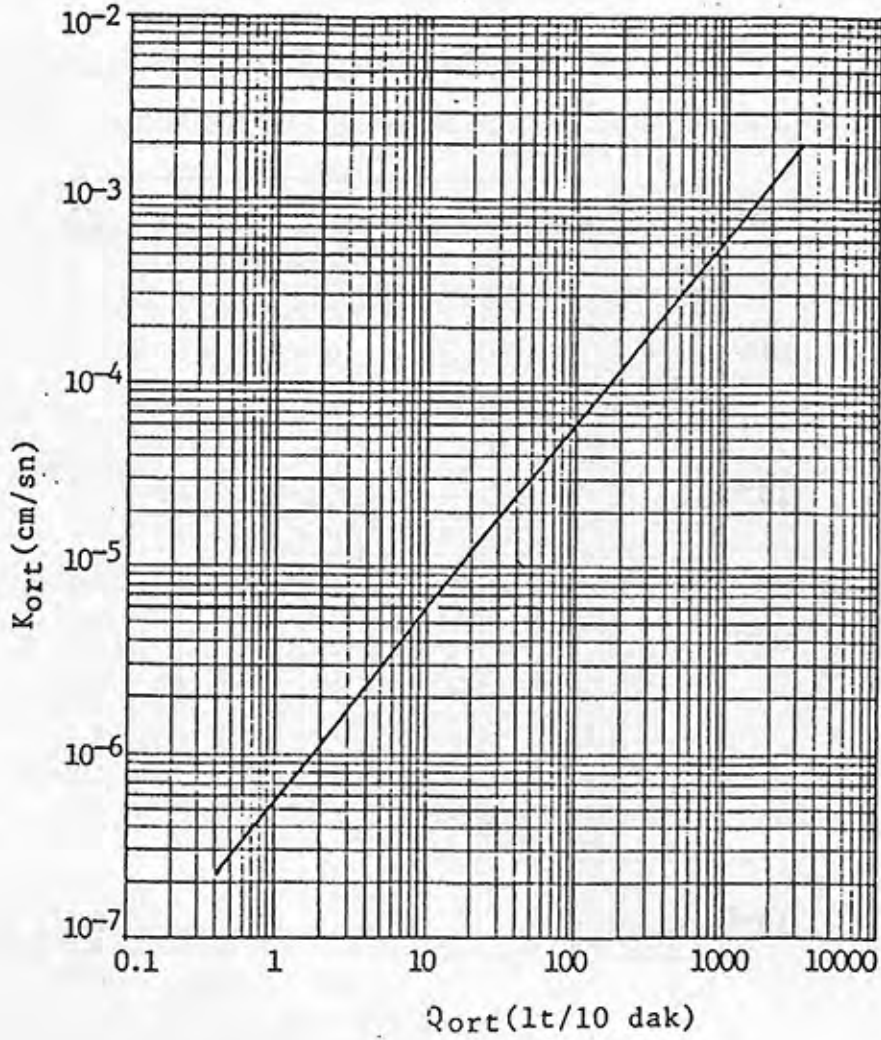
Şekil 3. Aritmetik eksen takımında K_{ort} - Q_{ort} ilişkisi



Şekil 4. Çift logaritmik eksen takımında K_{ort} - Q_{ort} ilişkisi

Korelasyon katsayısının kritik değerleri gözönüne alındığında, 450 veri çiftine ait 0.98'lik korelasyon katsayısı değeri K_{ort} ile Q_{ort} arasındaki lineer ilişkinin %99 olasılıkla anlamlı olduğunu ve (2) nolu eşitlik yardımıyla hesaplanacak geçirgenlik katsayısının, pratik çözümler için, büyük bir yaklaşımla kullanılabileceğini göstermektedir.

(2) eşitliği kullanılarak hazırlanan grafik Şekil 5'te verilmiştir.



Şekil 5. Ortalama geçirgenlik katsayısının tayininde kullanılmak üzere önerilen grafik.

Deney kademesinde 10 dakikadaki ortalama su kaybı (Q_{ort}) biliniyorsa, ortamın geçirgenlik katsayısı (K_{ort}) değeri Şekil 5'te verilen grafik yardımıyla da bulunabilir.

Bilindiği gibi, geçirgenlik katsayısı değeri bir katsayı ile bir üstel sayının çarpımı verilmektedir (Örneğin, $K=2.3 \times 10^{-5}$ cm/sn).

Mühendislik problemlerinde kaya ortamının geçirgenlik katsayısı değerleri gözönüne alınarak yapılan sınıflandırmada, sınıf sınırları üstel sayılara göre belirlendiğinden, önerilen eşitlik veya grafikten bulunan geçirgenlik katsayısı değeri ile Bureau of Reclamation tarafından verilen eşitlikler veya grafiklerden bulunacak geçirgenlik katsayısı de-

ğerleri arasında, üstel sayının önündeki katsayı bazında bir farklılık olsa bile, aradaki fark çok küçük bir değer olacağından ihmal edilebilir. Bu nedenle, önerilen eşitlik ya da grafik yardımıyla bulunacak geçirgenlik katsayısı değeri güvenle kullanılabilir.

SONUÇ

Bu yaklaşımda önerilen geçirgenlik katsayısı hesaplama eşitliği veya grafiği; zon ayrımı hesabı, borularda sürtünme nedeniyle meydana gelen yük kayıpları, deney kademesi derinliği, manometre yüksekliği, kuyu çapı, deney kademesinde belirli basınç altında 10 dakikadaki su kaybı, yeraltı su seviyesi derinliği gibi parametreleri içeren gerçek deney sonuçları kullanılarak elde edilmiştir. Bu nedenle, verilen eşitlik ya da grafik yardımıyla geçirgenlik katsayısı bulunurken, yeniden bu parametreleri hesaplamaya gerek yoktur. Başka bir deyişle, verilen eşitlik ya da grafik yukarıda sayılan parametrelerden bağımsızdır. Yani bu yaklaşımla kaya ortamındaki bir deney kademesinin ortalama geçirgenlik katsayısını bulabilmek için, sadece o deney kademesinde 10 dakikadaki ortalama su kaybını bilmek yeterli olmaktadır.

YARARLANILAN KAYNAKLAR

- ALBAYRAK, Z. (1975) Temel sondajlarında yapılan permeabilite testleri hakkında genel bilgiler, DSİ.
- BUREAU OF RECLAMATION (1951) Permeability test using drill holes and wells, Geology report no.G-97, U.S.A.
- PRIEST, S.D., (1993) Discontinuity analysis for rock engineering, Chapman and Hall.
- TOĞROL, E., (1969) Kaya ve zeminlerden numune alma ve arazi deneyleri sempozyumu (Derleme), İ.T.Ü. Zemin Mekaniği Araştırma Kurumu, no.4, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi.

ADAPAZARI ARITMA TESİSLERİ SAHASININ MÜHENDİSLİK JEOLJİSİ VE GEOTEKNİK ETÜDÜ

Mustafa YILDIRIM *

Erkan DİNÇER **

Kutay ÖZAYDIN ***

ÖZ - Adapazarı ilinin, Çarksuyu'na verilen sanayi ve evsel atıklarının tümü, Karaman Köyü yakın civarındaki bir alanda inşa edilecek tesislerde arıtılacaktır. 2024 yılının ihtiyacını karşılayacak şekilde projelendirilen tesislerde atıksu, Çarksuyu yatağına bitişik ve paralel uzanan kollektörle arıtma tesisi sahasında toplanıp biyolojik arıtması yapılarak tekrar Sakarya nehrine birleşen Çarksuyu'na verilecektir. Dolayısıyla tüm Adapazarı ili merkezinin atıksularını arıtacak bu tesislerin yerleştirileceği alan, mühendislik jeolojisi ve geoteknik etüdlerinin yapılması açısından önem kazanmaktadır. Arıtma tesisinin yapılacağı alan Eosen çökelleri ve bu çökelleri örten alüvyon üzerinde yer almakta ve bu çökeller, arıtma tesisinin yapılacağı alanda içerdikleri özellikler açısından zemin yüzeyinden alta doğru üç ayrı zondan oluşmaktadır. Bu zonlar, Kum zonu (yeni alüvyon ; Siltli kil/killi silt zonu (eski alüvyon) ve Anakaya zonudur (Eosen çökelleri). Bu zonlarda sondaj bulguları, çeşitli laboratuvar ve arazi deneyleri sonuçları ile arazide yapılan incelemeler de gözönünde tutularak projeye esas olacak inşaat alanının mühendislik jeolojisi ve geoteknik değerlendirmesi yapılmıştır.

ABSTRACT - The wastewater of Adapazarı which is currently being discharged to Çarksuyu river, is planned to be treated at a treatment plant which will be constructed at the vicinity of Karaman village located at 9 km north of the city. The wastewater of the city will be transmitted to the treatment plant site via a main collector line to be constructed paralel to the Çarksuyu river bed, and after biological treatment it will be discharged to the river. The wastewater treatment plant is designed for the projected discharge capacity of 9500 sec for the year 2024.

The engineering geological and geotechnical at the proposed wastewater treat-

* Yrd. Doç., Dr., Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi

** Doç. Dr., Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi

*** Prof. Dr., Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi

ment plant site are investigated by surface geology explorations, soil borings and laboratory testing. It is determined that the site soil profile consists of three zones. The base rock consists of Eosen aged sandstones which are overlaid by alluvial deposits. The lower zone of the alluvial deposits are identified as old alluvium which is composed of silty clay/clayey silt deposits, and the upper levels are identified as young alluvium consisting of sandy deposit.

GİRİŞ

Adapazarı merkezinin nüfusu 225.000'dir. Bu sayının 2024 yılında, 860. 000 ' i aşacağı ve gelişme-yerleşim bölgeleriyle tesislerin, yaklaşık 7404 ha'lık bir alanda kurulacağı ve oluşacak toplam pis su debisinin 9487 l/s'ye ulaşacağı hesaplanmaktadır. İlin mevcut sanayi ve evsel atık suları, Sapanca Gölü'nden çıkıp kuzeye akan Çarksuyu'na dökülmektedir. 1967 yılına kadar içme suyu olarak kullanılan Çarksuyu bu tarihten sonra çevresinde kurulan çeşitli sanayi tesislerinin endüstriyel ve mesken bölgesinin evsel atık sularıyla kirlenmiştir. Bu kirlenmeye engel olmak için Adapazarı Kanalizasyon Tatbikat Projesi başlatılmıştır. Bu proje kapsamında yapılan ön çalışmalara göre Adapazarı'nın pis suları kentin kuzeyinde Çarksuyu ile çevre yolunun kesişim noktasında toplanmaktadır. Bu noktadan itibaren evsel atık suları ile sanayi tesislerinin evsel pis su niteliğine getirilmiş atık suları kollektör hattına bağlanacaktır. Kollektör ve arıtma tesisi 2024 yılı nüfusunun pis suyunu arıtabilecek düzeyde projelendirilmiştir. Kollektör kuzey istikamendi alçalan düşük eğimli topoğrafyada Çarksuyu'nun sağ sahilini izleyerek, inceleme alanını oluşturan sahada kurulacak arıtma tesisinde biyolojik arıtılması yapıldıktan sonra Çarksuyu'na verilecektir.

MÜHENDİSLİK JEOLJİSİ

Adapazarı'nın kuzeyi ve çevresinde, Mesozoyik yaşlı Akveren formasyonu (Aydın, vd.1987) ile Senozoyik yaşlı Kusuri formasyonu (Ketin; Gümüş, 1962) mostra vermektedir. Kretase-Alt Paleosen yaşlı Akveren formasyonu grimsi beyaz, krem, ince-orta katmanlı sert kireçtaşlarıdır. Kambriyen yaşlı kırmızı çamurtaşı-kumtaşlarını (Soğuksu-

ment plant site are investigated by surface geology explorations, soil borings and laboratory testing. It is determined that the site soil profile consists of three zones. The base rock consists of Eosen aged sandstones which are overlaid by alluvial deposits. The lower zone of the alluvial deposits are identified as old alluvium which is composed of silty clay/clayey silt deposits, and the upper levels are identified as young alluvium consisting of sandy deposit.

GİRİŞ

Adapazarı merkezinin nüfusu 225.000'dir. Bu sayının 2024 yılında, 860. 000 ' i aşacağı ve gelişme-yerleşim bölgeleriyle tesislerin, yaklaşık 7404 ha'lık bir alanda kurulacağı ve oluşacak toplam pis su debisinin 9487 l/s'ye ulaşacağı hesaplanmaktadır. İlin mevcut sanayi ve evsel atık suları, Sapanca Gölü'nden çıkıp kuzeye akan Çarksuyu'na dökülmektedir. 1967 yılına kadar içme suyu olarak kullanılan Çarksuyu bu tarihten sonra çevresinde kurulan çeşitli sanayi tesislerinin endüstriyel ve mesken bölgesinin evsel atık sularıyla kirlenmiştir. Bu kirlenmeye engel olmak için Adapazarı Kanalizasyon Tatbikat Projesi başlatılmıştır. Bu proje kapsamında yapılan ön çalışmalara göre Adapazarı'nın pis suları kentin kuzeyinde Çarksuyu ile çevre yolunun kesişim noktasında toplanmaktadır. Bu noktadan itibaren evsel atık suları ile sanayi tesislerinin evsel pis su niteliğine getirilmiş atık suları kollektör hattına bağlanacaktır. Kollektör ve arıtma tesisi 2024 yılı nüfusunun pis suyunu arıtabilecek düzeyde projelendirilmiştir. Kollektör kuzey istikamendi alçalan düşük eğimli topoğrafyada Çarksuyu'nun sağ sahilini izleyerek, inceleme alanını oluşturan sahada kurulacak arıtma tesisinde biyolojik arıtılması yapıldıktan sonra Çarksuyu'na verilecektir.

MÜHENDİSLİK JEOLJİSİ

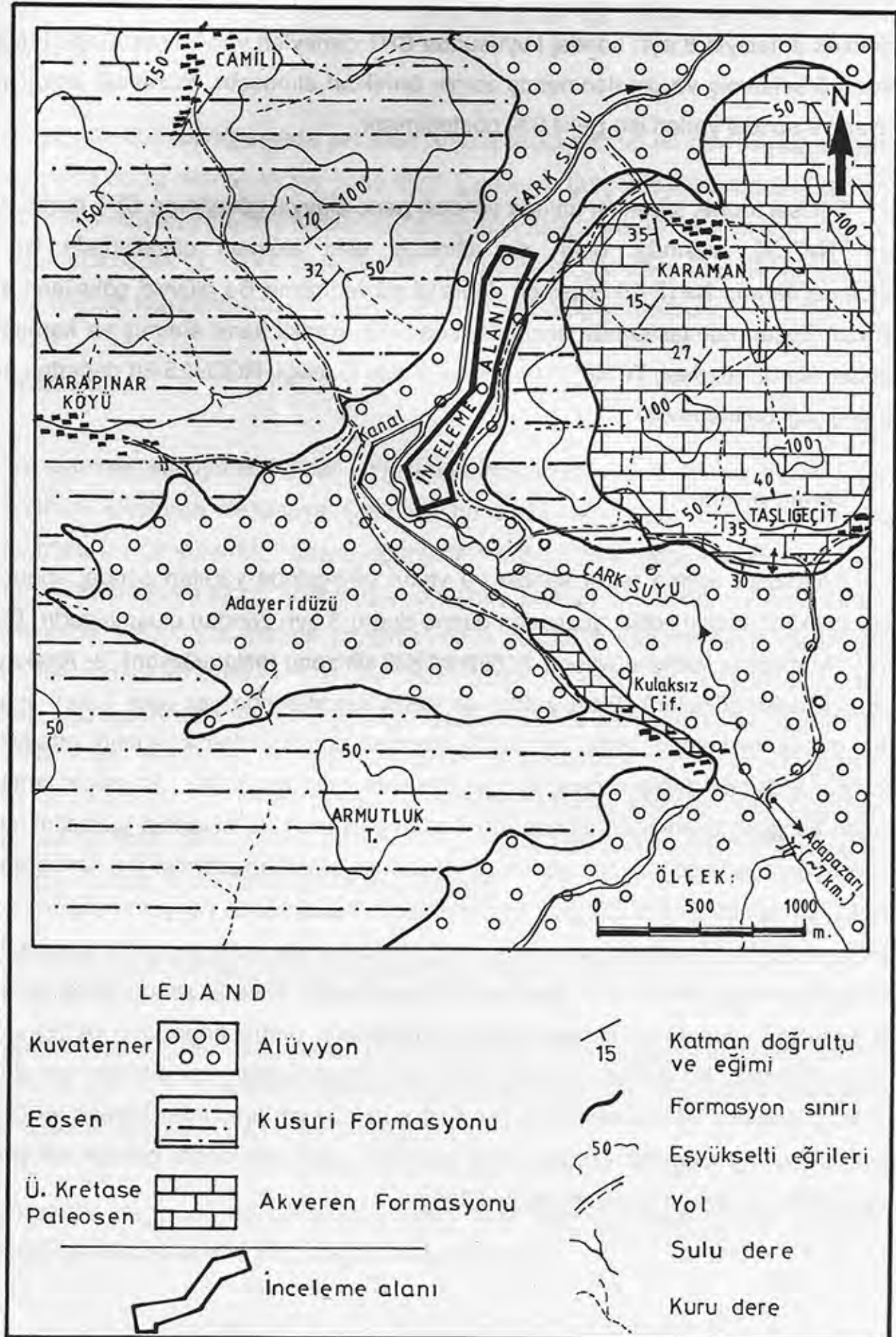
Adapazarı'nın kuzeyi ve çevresinde, Mesozoyik yaşlı Akveren formasyonu (Aydın, vd.1987) ile Senozoyik yaşlı Kusuri formasyonu (Ketin; Gümüş, 1962) mostra vermektedir. Kretase-Alt Paleosen yaşlı Akveren formasyonu grimsi beyaz, krem, ince-orta katmanlı sert kireçtaşlarıdır. Kambriyen yaşlı kırmızı çamurtaşı-kumtaşlarını (Soğuksu-

Karadere formasyonları; Kaya, 1982) açısız uyumsuz olarak örten ve yöredeki kalınlığı yaklaşık 300 metreye ulaşan Akveren formasyonu, Taşlıgeçit ve Karaman köylerinde (Şekil 1) görüldüğü gibi tabanda sığ ortamı temsil eden kumlu karbonatlarla başlayıp üste doğru gittikçe derinleşen ortamda krem renkli killi kireçtaşlarına geçmektedir. Bu kireçtaşları Taşlıgeçit batısında kılavuz düzey niteliğindeki 5m kalınlığa erişen kırmızı killi çamurtaşlarını içermekte ve istif üste doğru formasyonun hakim litolojisini oluşturan orta katmanlı, marn arakatkılı killi kireçtaşlarına geçiş göstermektedir. Bu düzeyler çört yumrulu, türbiditik, derin denizel olup, Üst Kretase yaşlıdır. İstif daha üstte Üst Kretase-Paleosen yaşlı gri-boz renkli dağılgan marnlara geçer. Düşük eğimli topoğrafyayı oluşturan bu düzeyler yer yer gri-krem renkli kireçtaşı arakatkılarını içerirler.

İnceleme alanı içinde Akveren formasyonu üzerine Kusuri formasyonu (Akçakoca üyesi) açısız uyumsuz olarak gelmektedir. Kusuri formasyonu, tabanda sarımsı gri-kahverenkli, sert, kuvarslı, karbonat çimentolu kumtaşlarıyla ya da irili ufaklı serpantin çakılları içeren kumlu marnlarla başlayıp üste doğru grimsi kahverenkli, ince-orta katmanlı dağılgan kilaşı-silttaşı-marn aralanmasıyla devam etmektedir. Formasyonun hakim litolojisini oluşturan ve türbiditik kumtaşı arakatkılarını içeren bu düzeyler ile istif bir fliš fasiyesini temsil etmektedir. İnceleme alanı içinde kalınlığı 300 metreyi aşan ve Camili, Armutluk Tepe ile Karapınar köyünde yüzeylenen Kusuri formasyonu, batıya inceleme alanı dışına doğru mostra alanı genişleyerek devam etmektedir. Akveren ve Kusuri formasyonları, Çarksuyunun her iki yamacında ve düz alanlarda alüvyonla örtülmektedir. Alüvyon ise inceleme alanı güneyinde yer alan Adapazarı ovasında geniş alanlar kaplamaktadır.

Arazi incelemeleri

Arıtma tesisi sahası ve civarında yapılan jeolojik incelemelere göre belirlenen formasyonların litolojileri, özellikleri ve bunların yapısal konumları 1/5000 ölçekli haritada gösterilmiştir. Bu özelliklere göre, uygun görülen yerlerde derinlikleri 5m ile 15.45m arasında değişen ve toplam uzunluğu 78.4m olan 8 adet zemin sondajı yapılmıştır. Sondajlar sırasında killi zeminlerin kıvamı ve kohezyonsuz tabakaların sıklığı hakkında bilgi



Şekil 1. İnceleme alanı ve çevresinin jeoloji haritası

Figure 1. Geological Map for the Area Under Investigation and its Vicinity

edinmek amacıyla 8 ayrı sondaj kuyusunda SPT deneyleri yapılmıştır. Değişik derinliklerden örselenmiş ve örselenmemiş zemin örnekleri alınmıştır. Yüzeysel jeoloji incelemeleri ve sondaj yerleri ise Şekil 3'te gösterilmiştir.

Bitkisel toprak tabakası altında yeralan genç alüvyal çökellerde SPT darbe sayılarının $N=7-50$ arasında, onun da altındaki eski alüvyon çökellerinde ise SPT darbe sayılarının $N=12-45$ arasında değiştiği gözlenmiştir. Bu alüvyal çökellerin altında yeralan Eosen kumtaşlarında sondajlar sırasında sürekli karot alınmış ve karotlar için, Toplam Karot Yüzdesi, $TCR=70-100$; Kaya Kalite Özelliği, $RQD=25-60$ değerleri arasında değiştiği belirlenmiştir.

Zemin profili

Adapazarı arıtma tesisi sahası ve yakın çevresinde yapılan sondaj sonuçlarına göre (Şekil 2) zemin kesiti, yüzeyden derine doğru 3 ayrı zondan oluşmaktadır. Bu zonlar: 1- Kum zonu (genç alüvyon), 2- Siltli kil/Killi silt zonu (eski alüvyon), 3- Anakaya zonedir (Eosen çökelleri). Dere yatağı ve yakın kesimlerinde yer alan 1.zon, inceleme alanı güney kesimlerini oluşturan düzlük alandaki düşük kotlarda kalınlığı ortalama 5-8 metreler arasında değişen genç alüvyal çökelleri oluşturmaktadır. Az çakıllı kumlardan oluşan bu genç alüvyonun altında ise 2.zonu oluşturan ve bölgenin yükselimi sonucu oluşmuş taraçada çoğunlukla eosen çökellerinden aktarılan sarımsı gri, kahverenkli kil, siltli kil, ya da killi silt gibi çökeller yer almaktadır. Yanal yönde yer yer kesikliğe de uğrayan bu ikinci zon, eski alüvyal tortullar olup, inceleme alanında yaygınca görülmekte ve yaklaşık kalınlığı 1m ile 10 m arasında değişmektedir. 1. ve 2. zonun yanal yönde yer yer kesikliğe uğramaları karasal-akarsu çökellerinin ortam enerjisinin değişkenliğinin doğal bir sonucu Bu zonların altında 3.zonu oluşturan Eosen yaşlı çökeller yer almaktadır. Bu çökellerin üst seviyeleri yer yer 50 cm ile 150 cm arasında değişen ve bilhassa killi siltli kaya gruplarında görülen ayrık çökelleri, daha alta doğru gittikçe ayrışmamış, sağlam karbonatlı kumtaşlarına geçmektedir.

Hidroloji

Yataya yakın bir topoğrafyada yer alan Arıtma tesisi sahası ve çevresinde oluşan yüzey sularında doğal drenajı kuzey yöne akan Çarksuyu gerçekleştirmektedir. Su kaynaklarına rastlanmayan yörede mevcut düşük eğimli topoğrafya ve tepeler aşırı sellenmeye neden olabilecek büyüklükte değildirler. Kuru dereler Çarkderesi'ne dik yönde yer almakta ve yayvan topoğrafyada düşük eğimli yamaçları oluşturmaktadır.

Hidrojeoloji

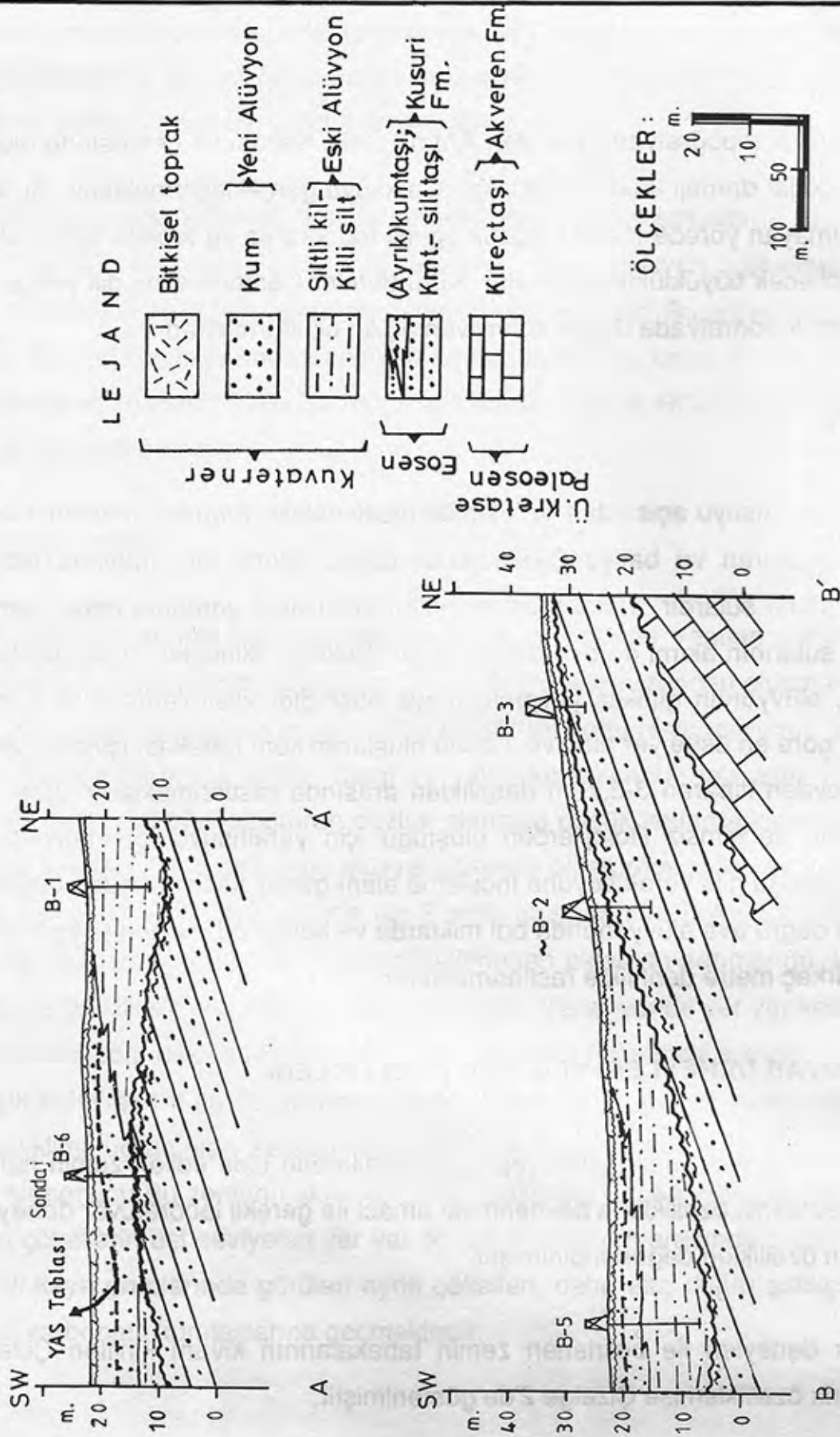
Tesis alanı yeraltısuyu açısından iki kısımda incelenebilir. Birincisi, inceleme alanı kuzey kesimini oluşturan ve batıya Çarksuyu'na doğru eğimli topoğrafyada tabaka ve çatlaklardaki sızıntı sulardır. Tabaka eğimlerinin batıya dere yatağına doğru olması sebebiyle sızıntı sularının akımı dereye dik yöndedir (Şekil 3). İkinci kısım ise inceleme alanı güneyinde, alüvyonun gittikçe yaygınlaşmaya başladığı kesimlerde 5 ve 6 nolu sondaj verilerine göre en üstte yer alan ve 1.zonu oluşturan kum tabakası içindeki yeraltısuyu olup, yüzeyden itibaren 3-3.70m derinlikleri arasında rastlanmaktadır (Şekil 3). Daha alttaki 2.zon geçirimsiz litolojilerden oluştuğu için yeraltısuyu içermemektedir. Şekil 2'de de görüldüğü gibi yeraltısuyuna inceleme alanı güney kesimlerinden başlayarak Adapazarı'na doğru ova alüvyonunda bol miktarda ve kumlu düzeylerin yaygın olduğu kesimlerde, birkaç metre derinlikte rastlanmaktadır.

LABORATUVAR DENEYLERİ VE ZEMİN ÖZELLİKLERİ

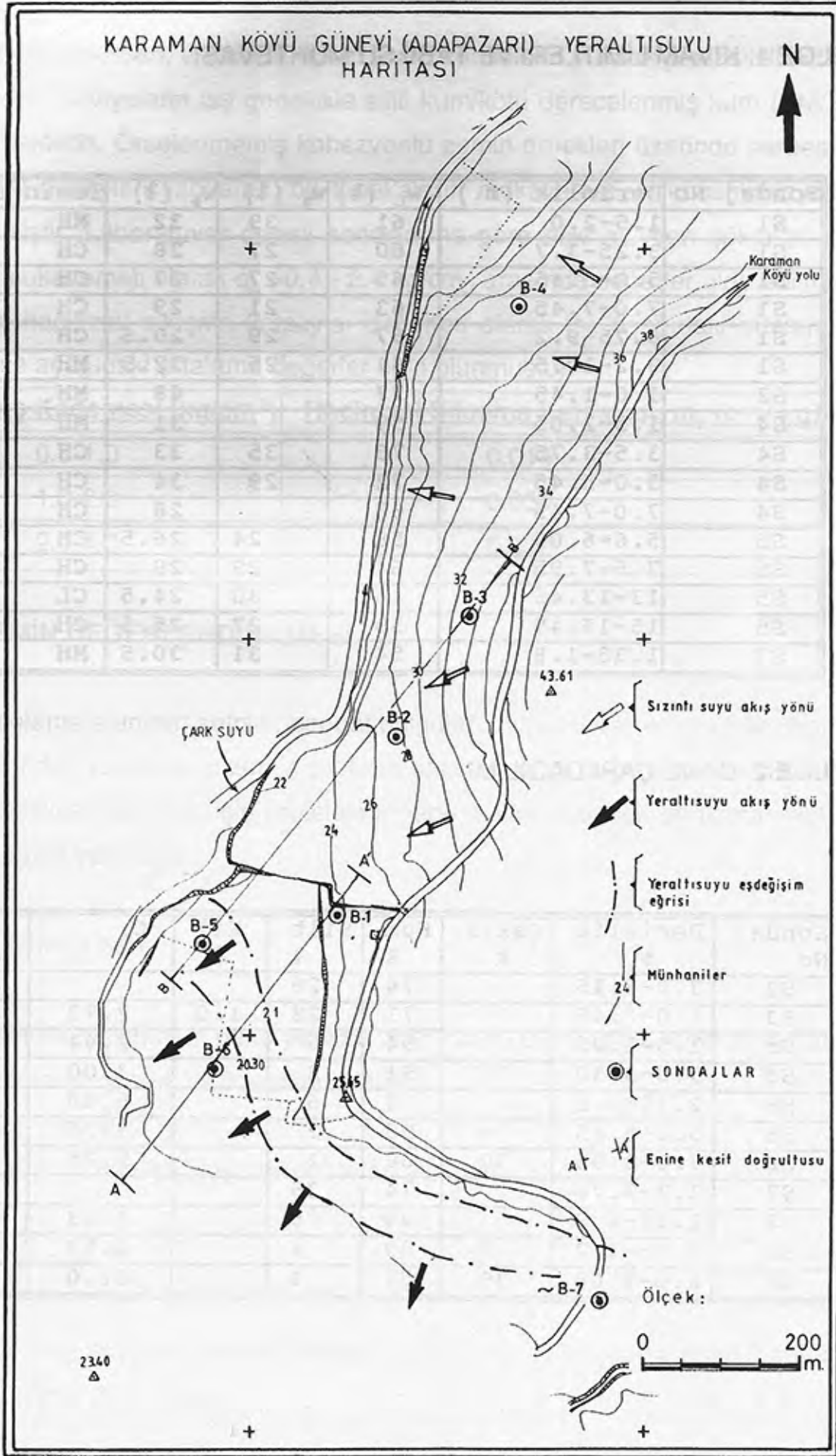
Adapazarı Arıtma tesisi sahasında yapılan sondajlardan elde edilen zemin numuneleri üzerinde geoteknik özelliklerin belirlenmesi amacı ile gerekli laboratuvar deneyleri yapılmış ve zemin özellikleri değerlendirilmiştir.

Laboratuvar deneyleri ile belirlenen zemin tabakalarının kıvam limitleri Çizelge 1'de -granülometrik özellikleri ise Çizelge 2'de gösterilmiştir.

İNCELEME ALANININ JEOLÖJİK YAPISINI GÖSTERİR KARAKTERİSTİK KESİTLER



Şekil 2. İnceleme alanının jeolojisi enine kesitleri
Figure 2. Geological Sections for the Site



Şekil 3. Yeraltı suyu haritası ve sondaj vaziyet planı
Figure 3. Groundwater Map and Boring Locations

ÇİZELGE 1. KIVAM LİMİTLERİ VE TABİİ SU MUHTEVASI

Sondaj No	Derinlik (m.)	w _L (%)	w _n (%)	w _p (%)	Zemin Sınıfı
S1	1.5-2.0	61	39	32	MH
S1	3.25-3.7	60	27	28	CH
S1	5.0-5.45	65	27	27	CH
S1	7.0-7.45	63	21	29	CH
S1	8.75-9.2	57	29	29.5	CH
S1	9.2-10.5	61	25	32.5	MH
S2	1.0-1.45	77		48	MH
S4	1.5-2.05	59		31	MH
S4	3.5-3.75	75	35	33	CH
S4	5.0-5.45	72	29	34	CH
S4	7.0-7.45	65		28	CH
S5	5.6-6.05	58	24	26.5	CH
S5	7.5-7.95	64	29	29	CH
S5	13-13.45	46	30	24.5	CL
S5	15-15.45	59	27	25.5	CH
S7	1.35-1.8	54	31	30.5	MH

ÇİZELGE 2. DANE ÇAPI DAĞILIMI

Sondaj No	Derinlik m.	Çakıl %	Kum %	Silt %	Kil %	C _u	Zemin Sınıfı
S2	3.0-3.15		74	26			SM
S3	1.0-1.45		71	28	1.0	2.70	SM
S5	1.5-1.95		94	6		2.44	SP-SM
S5	3.0-3.30	7	91	2		3.00	SP
S6	2.75-3.2		94	6		5.00	SP
S6	5.0-5.45	4	95	1		4.36	SP
S6	7.6-8.05	30	68	2		9.25	SW
S7	3.3-3.70		74	26			SM
S8	1.35-1.8		94	6		2.13	SP
S8	3.75-4.2	7	89	4		4.58	SP
S8	6.6-7.05	39	57	4		22.0	SW

Bu değerlerden, arazideki kohezyonlu zeminlerin yüksek plastisiteli silt ve kil (MH/CH), kumlu seviyelerin ise genellikle siltli kum/kötü derecelenmiş kum (SM/SP) olduğu gözlenmektedir. Örselenmemiş kohezyonlu zemin örnekleri üzerinde serbest basınç ve ödometre deneyleri yapılarak, bu tabakaların mukavemet ve konsolidasyon özellikleri belirlenmiştir. Laboratuvar deney sonuçlarına göre eski alüvyon çökelleri için serbest basınç mukavemeti olarak $q_u = 0.4 - 2.4 \text{ kg/cm}_2$ arasında değerler elde edilmiştir. Düzeltilmemiş hacimsal sıkışma katsayısı değerleri olarak ise aşağıdaki ortalama değerleri olarak ise aşağıdaki ortalama değerler elde olunmuştur.

Basınç Kademesi (kg/cm²)	Hacimsal Sıkışma Katsayısı, m_v (cm²/kg)
0.5-1.0	0.014
1.0-2.0	0.030
2.0-4.0	0.020

ZEMİN DEĞERLENDİRİLMESİ

İnceleme alanının zemini, sondaj bulguları, laboratuvar ve arazide yapılmış deney sonuçlarından yararlanılıp zemin profilleri esas alınarak değerlendirilmiştir. Arazide rastlanılan başlıca tabakalar için projelendirmede kullanılabilecek ortalama geoteknik özellikler aşağıda verilmiştir.

Birinci zon

İncelenen alanın en üstte yeralan birinci zon olarak gözönüne alınan kum tabakası için ortalama geoteknik özellikleri olarak:

$$\gamma_n = 1.80 \text{ t/m}^3 \quad \gamma_d = 1.96 \text{ t/m}^3$$

$$\phi = 30^\circ \quad Mc = 150 \text{ kg/cm}^2 \text{ değerleri alınabilir.}$$

İkinci zon

İnceleme alanında yüksek plastisiteli siltli kil ve killi siltten oluşan 2.zonun ortalama geoteknik özellikleri olarak;

Bu değerlerden, arazideki kohezyonlu zeminlerin yüksek plastisiteli silt ve kil (MH/CH), kumlu seviyelerin ise genellikle siltli kum/kötü derecelenmiş kum (SM/SP) olduğu gözlenmektedir. Örselenmemiş kohezyonlu zemin örnekleri üzerinde serbest basınç ve ödometre deneyleri yapılarak, bu tabakaların mukavemet ve konsolidasyon özellikleri belirlenmiştir. Laboratuvar deney sonuçlarına göre eski alüvyon çökelleri için serbest basınç mukavemeti olarak $q_u = 0.4 - 2.4 \text{ kg/cm}^2$ arasında değerler elde edilmiştir. Düzeltilmemiş hacimsal sıkışma katsayısı değerleri olarak ise aşağıdaki ortalama değerleri olarak ise aşağıdaki ortalama değerler elde olunmuştur.

Basınç Kademesi (kg/cm^2)	Hacimsal Sıkışma Katsayısı, m_v (cm^2/kg)
0.5-1.0	0.014
1.0-2.0	0.030
2.0-4.0	0.020

ZEMİN DEĞERLENDİRİLMESİ

İnceleme alanının zemini, sondaj bulguları, laboratuvar ve arazide yapılmış deney sonuçlarından yararlanılıp zemin profilleri esas alınarak değerlendirilmiştir. Arazide rastlanılan başlıca tabakalar için projelendirmede kullanılabilecek ortalama geoteknik özellikler aşağıda verilmiştir.

Birinci zon

İncelenen alanın en üstte yeralan birinci zonu olarak gözönüne alınan kum tabakası için ortalama geoteknik özellikleri olarak:

$$\gamma_n = 1.80 \text{ t/m}^3 \quad \gamma_d = 1.96 \text{ t/m}^3$$

$$\phi = 30^\circ \quad Mc = 150 \text{ kg/cm}^2 \text{ değerleri alınabilir.}$$

İkinci zon

İnceleme alanında yüksek plastisiteli siltli kil ve killi siltten oluşan 2.zonun ortalama geoteknik özellikleri olarak;

$$\gamma_n = 1.85 \text{ t/m}^3$$

$$\gamma_d = 2.00 \text{ t/m}^3$$

$$C_u = 0.7 \text{ kg/cm}^2$$

$$M_c = 250 \text{ kg/cm}^2 \text{ değerleri alınabilir.}$$

Üçüncü zon

İnceleme alanının temelinde yeralan 3.zon, anakaya olup sert kumtaşlarından oluşmaktadır. Bu zonun üst kesimleri ise yer yer ayrışmıştır. Bu kesimler, sıkı-çok sıkı kum özelliğini taşımaktadır. Geoteknik özellikleri ise:

$$\gamma_n = 2.00 \text{ t/m}^3 \quad \phi_d = 36 \text{ değerlerinin alınması öngörölmüştür.}$$

Dayanımlı ayrışmamış karbonat çimentolu Eosen kumtaşları örnekleri üzerinde laboratuvarda yapılan çapsal nokta yükleme deneylerinden nokta yükleme dirençlerinin 1.2-2 MN/m² arasında değişen dirençte kayalar olduğu anlaşılmaktadır.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Adapazarı ilinin, sanayi ve evsel atıklarının biyolojik arıtmasını sağlayacak tesislerin inşa edileceği yörenin mühendislik jeolojisi çalışmaları yapılarak 1/25.000 ve 1/5.000 ölçekli jeoloji, yeraltısuyu haritaları ve enine kesitleri üretilmiştir.

Sondaj loglarından faydalanılarak arazinin zemin profillerinde gözlenen tabakalar üzerinde yapılan laboratuvar deneylerinden yararlanılarak arazinin zemin yapısı değerlendirilmiştir.

Yürütölen araştırma ve değerlendirmeler sonucu, inceleme konusu sahanın jeolojik, geoteknik ve çevresel etki değerlendirmesi (ÇED) açılarından inşaası öngörölen arıtma tesisleri için uygun bir konumda olduğu kanaatine varılmıştır.

Arıtma tesisi sahasında inşaa edilecek yapılarda, bu çalışmada zemin özelliklerini belirtir mühendislik jeolojisi verileri kullanılacaktır. Bu geoteknik değerler alınırken Arıtma tesisi sahasındaki yapıların temel boyutları, derinliklerinin belirlenmesinden sonra zeminin sıkışma özellikleri de dikkate alınarak zemin emniyet gerilmeleri belirlenmelidir.

YARARLANILAN KAYNAKLAR

- AYDIN, M. ve diğ erleri (1987) Ç amdağ (Sakarya)-Sünnicedağ (Bolu) yöresinin jeolojisi, TJK Bülteni, Cilt 30, Sayı 1.
- KAYA, O. (1982) Ereğ li, Yiğ ilca, Bolu Kuzey, Mengen alanlarının stratigrafi ve yapı özellikleri; TPAO, Arama Grubu, Rap.no:1639 (yayımlanmamış).
- KETİN, İ. ve GÜMÜŞ, Ö. (1962) Sinop, Ayancık ve Güneyinde III. Bölgeye dahil sahaların jeolojisi hakkında rapor; I-II. TPAO Arama Grubu, rap.no: 213-288 (yayımlanmamış).

**HARRAN - CEYLANPINAR OVALARINDA
YILLIK YERALTI SUYU BİLANÇOLARININ GAP PROJESİ
UYGULANMASI İLE DEĞİŞİMİ**

Behiç ÇONGAR *

Hikmet TÜMER **

ÖZ - GAP sulamaları kapsamında, Atatürk barajından sulanacak Urfa-Harran, Ceylanpınar ovalarındaki yeralan (476.000 ha.) alanda, yeraltısuyu kullanım potansiyeli hesaplanmıştır. Bu potansiyel, emniyetli verim olarak, her iki ova için, toplam 1552.779 hm³/yıl olarak bulunmuştur. Hesaplanan bu potansiyelin, aynı proje kapsamında kullanıldığı takdirde, doğal boşalımı güney komşumuz Suriye topraklarında olan yeraltısuyu havzasının bilançosundaki oynamalar, yeraltısularının etkin olarak kullanılmadığı doğal şartlarda, bugünkü su kullanımı şartlarında ve Urfa tünellerinden sulama projesinin gerçekleşmesi halindeki şartlarda ayrı ayrı hesaplanmıştır.

Dünyada farklı ülkeler tarafından bölüşülen yüzey suyu havzalarının sayısı, azımsanmayacak kadar çok sayıda olduğu bilinmektedir. Ancak beslenme bölgesi başka ülkede olan, yeraltısuyu havzalarının sayısı az sayıdadır. Bu havzalarda geliştirilecek yeraltısuyu kullanım projelerinde, beslenme ve boşalma bölgelerindeki su kullanım haklarının gerçekçi olarak değerlendirilmesi zorunludur.

Bu bildiride, geçmişte yeraltısuyu kullanılmadığı dönemlerde (1960 öncesi) Suriye'deki yeraltısuyu havzasındaki boşalımının toplamının: 1574 hm³/yıl, bugünkü şartlarda bölgede yalnız yeraltısuyu kullanımı halinde; 1001.8 hm³/yıl ve Urfa tünellerinden Atatürk barajı sulamaları gerçekleştiğinde ve projede 1552.779 hm³/yıl yeraltısuyu kullanılması halinde, Suriye'deki boşalımın = 1027.3 hm³/yıl olacağı hesaplanmıştır. Bu miktar suyun Suriye'de halen işletmede bulunan ve tarafımızdan uzay görüntüleri ile saptanan, sulama alanlarının su gereksinimlerinin üstünde olduğu da gösterilmiştir.

* Jeo. Müh., SIAL Yerbilimleri Etüd ve Müş.Ltd.Şti.

** Jeo. Y. Müh., TEKSAN Temel A.Ş.

GİRİŞ

Urfa Harran-Ceylanpınar ovaları yeraltısuyu Fizibilite Etüdü çalışmaları aşamasında elde edilen veriler değerlendirilerek, Harran ve Ceylanpınar ovalarındaki yeraltısuyu potansiyeli hesaplanmıştır. Yeraltısuyu kullanımının ekonomik sonuçları, DSİ Planlama Raporunda kabul edilen, gelir ve gider değerleri esas alınarak yapıldığında, Urfa tünellerinden projelendirilen sulama alanları kapsamında, 150.000 ha.'lık tarım alanının yeraltısuyu ile sulanmasının, Atatürk barajı suyu ile yapılacak, yüzey suyu projelerinden, daha ekonomik olduğu görülmüştür. Ayrıca Urfa tünellerinin toplam kapasitesi olan 328 m³/s'lik bir akımın, belirlenen bitki pateni için, proje alanında kurulması planlanan kış suları ile doldurulacak Mardin barajı gibi ara depolamalara rağmen, 476.000 ha.'lık alanı sulamaya yeterli değildir. Bu nedenle de, yeraltısuyu kaynaklarının kullanımı zorunludur.

Bu projede, yeraltısuyu kullanıldığı takdirde, doğal boşalımı Suriye'ye olan havzanın, yeraltısuyu bilançosundaki oynamalar, doğal şartlarda, bugünkü su kullanımı şartlarında ve Urfa tünellerinden sulama projesinin gerçekleşmesi halindeki şartlarda, ayrı ayrı hesaplanmıştır.

HAVZADA YERALTI SUYU BESLENİMİ VE BOŞALIMI

Proje alanının yeraltısuyu potansiyelini sağlıklı olarak hesaplayabilmek için, Ceylanpınar ve Harran bölgelerinde, yağış akış ve yeraltına süzülme ilişkilerini ayrı ayrı irdelemek gerekmiştir. Bu bölgelerde, tipik havza durumundaki, Habur ve Culap derelerinin akımları ve bu derelerin havzalarında yeralan, meteoroloji istasyonları verileri değerlendirilerek yeraltına süzülme oranları saptanmıştır. Culap ve Habur çayı havzaları için, iklim özellikleri gözönünde tutularak, Thornthwaite yöntemi ile su bilançoları hazırlanmıştır.

Çizelge 1 ve 2'de Thornthwaite yöntemiyle değerlendirmenin sonuçlarından, aşağıdaki değerler elde edilmiştir.

HABUR ÇAYI HAVZASI ORTALAMA DEĞERLERİ

Evapotrans	275.63 mm
Fazla su	<u>237.77 mm</u>
Yağış	513.40 mm

Habur çayı akım değerleri, 81.30 mm'lik fazla suya karşılık geldiğine göre, yeraltına sızma miktarı 156.44mm olarak bulunmuştur.

CULAP DERESİ HAVZASI ORTALAMA DEĞERLERİ

Evapotrans	280.32 mm
Fazla su	<u>186.00 mm</u>
Yağış	466.32 mm

Culap deresinde de ölçülen akış değerleri 43 mm karşılığı geldiğine göre, yeraltına süzülme 143 mm olmaktadır.

CEYLANPINAR HAVZASI SU BİLANÇOSU

Thornthwaite yöntemiyle hesaplanan değerlere göre, havzada evapotranspirasyon (net buharlaşma-terleme) 275.63 mm'lik %54, ölçülen akış değeri 81.30 mm ile %16 ve yeraltına süzülme 156.47 mm ile %30 oranlarını sağlamaktadır. Bulunan süzülme miktarı ile, Resul Ayn kaynaklarından ölçülen gerçek boşalım değerleri kıyaslandığında beslenme alanı=1217.979 hm³: 0.15647 m = 7784 km² olarak hesaplanmaktadır.

Bu değer Ceylanpınar havzasında, kireçtaşı akiferinin beslenme alanı olarak harita üzerinden ölçülen drenaj alanından (7607.09 km²) yaklaşık %2 daha büyük çıkmaktadır. Hidrojeolojik havza ile, harita üzerinden ölçülen beslenme alanı arasında bu kadar az bir fark çıkması, hesaplanan bilançonun gerçeğe yakın olduğunu gösterir. Bu da bize, boşalım değerlerine sahip olmadığımız, Harran havzasında da aynı yöntemle yapacağımız hesaplamada fazla yanılmayacağımızı gösterir.

HARRAN HAVZASI SU BİLANÇOSU

Thornthwaite yöntemiyle hesaplanan değerlere göre, evapotranspirasyon değeri 280.32 mm'lik %60, ölçülen akış değeri 43 mm ile %9 ve yeraltına süzülme 143 mm ile %31 oranlarında görülmektedir (Graf.1). Bu havza alanında, geçirimsiz örtü özelliğindeki Fars formasyonu, kireçtaşı akiferini bu kesimde kaplayarak, beslenmeyi sınırlamış ve havzada basınçlı akifer özelliği oluşmuştur. Geçirimsiz örtü durumundaki killi seviyenin kapladığı 1312.90 km²'lik alan, Harran havzasından düşüldüğünde fazla sudan beslenme olanağı olan alan: 4239.51 km² - 1312.90 km² = 2926.61 km² kalmaktadır.

Bu alanın yağışın %31'ini oluşturan 143 mm'lik yeraltına süzülme miktarı ile havza'nın beslenme kapasitesi = 2926.61 km² x 10⁶ x 143 mm x 10⁻³ = 418.5 hm³/yıl olarak bulunmaktadır.

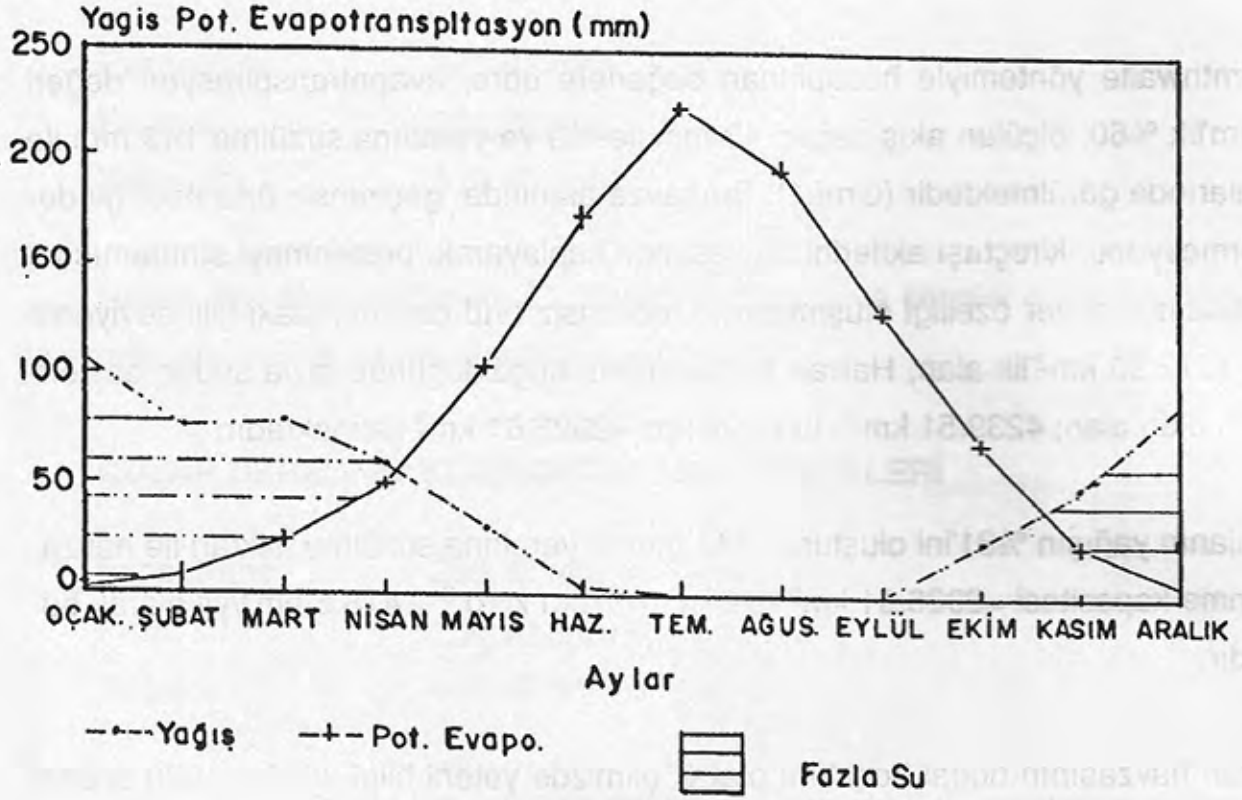
Harran havzasının doğal boşalımı olarak elimizde yeterli bilgi yoktur. 1970 öncesi havzada kayda değer yeraltısuyu kullanımı olmadığı bilinmektedir. Havza boşalımının Suriye topraklarında kalan Ayn el Arus ve Ayn Slaq kaynakları ile olduğu bilinmektedir. Ne yazık ki, bu kaynakların boşalım değerleri hakkında ayrıntılı bilgi bulunamamıştır. Yalnız Ayn el Arus kaynağı ile ilgili olarak, 1960 tarihli FAO raporunda 6 m³/s gibi tek bir değer sağlanabilmiştir. Yine bu rapor eklerinde, sayısal bir değer verilmemekle birlikte, Ayn Slaq kaynağı şekil olarak, Ayn el Arus kaynağı ebadında bir kaynak olarak gösterilmiştir.

EMNİYETLİ VERİM

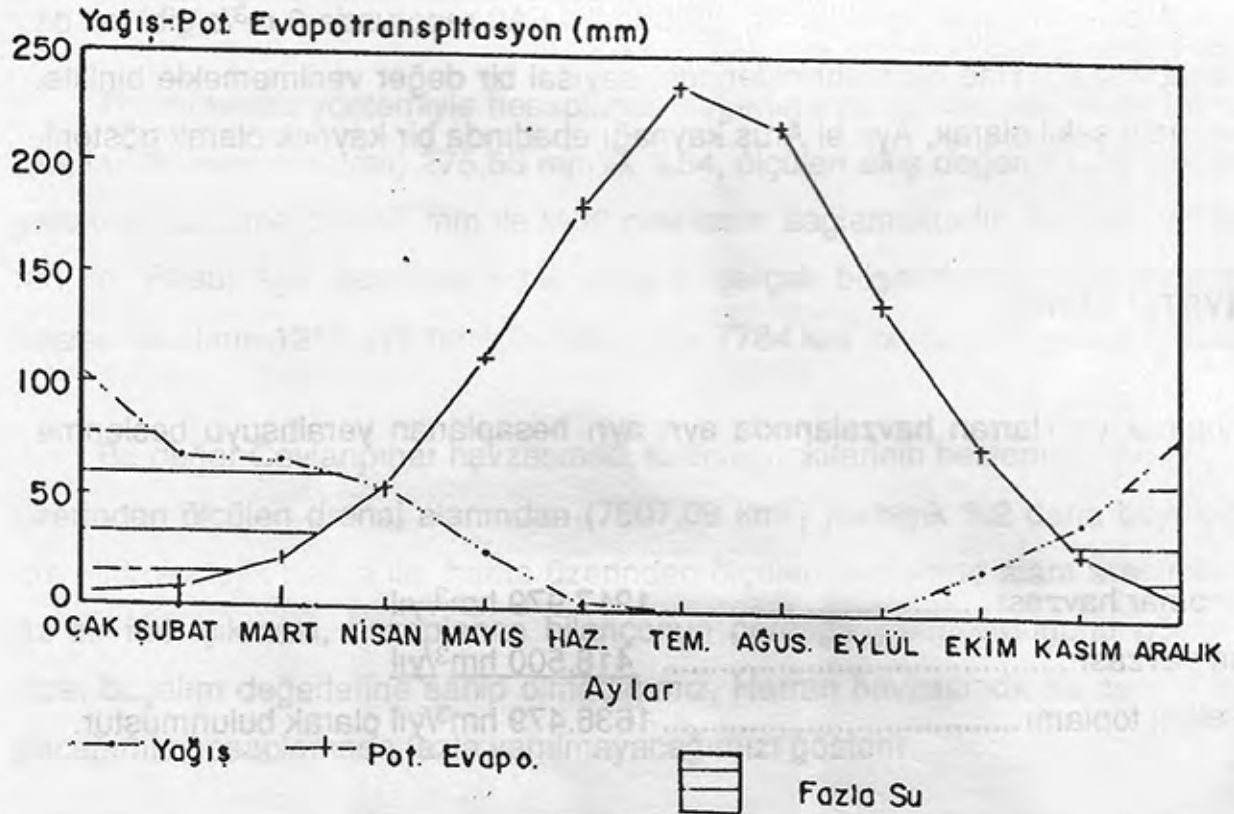
Ceylanpınar ve Harran havzalarında ayrı ayrı hesaplanan yeraltısuyu beslenme olanakları:

Ceylanpınar havzası	1217.979 hm ³ /yıl
Harran havzası.....	<u>418.500 hm³/yıl</u>
Proje alanı toplamı	1636.479 hm ³ /yıl olarak bulunmuştur.

**CEYLANPINAR (HABUR) HAVZASI
ORTALAMA YAĞIŞ VE BUHARLAŞMA GRAFİĞİ**



**URFA HAVZASI
ORTALAMA YAĞIŞ VE BUHARLAŞMA GRAFİĞİ**



Bu hesaplamalar doğal şartlarda, uzun yıllar ölçülen meteoroloji değerleri ortalamalarından yararlanılarak yapılmıştır. Proje alanında Urfa tünellerinden, Atatürk barajı suyu ile, yüzey suyu sulamaları gerçekleştirildiğinde, bölgeye havza dışından, yılda yaklaşık 4000 hm³ su gelecektir. Bu sulama suyundan yeraltına süzülme ve sulamadan dönen suların dere yatakları boyunca süzülme, doğaldır ki yeraltısuyunun beslenme olanaklarını arttıracaktır.

Bundan daha önemlisi, sulamadan dönen suların komşu ülkeye gitmesini önlemek için, DSI tarafından projelendirilen besleme barajları, bu suların büyük bir yüzdesinin yeraltına süzülmesini sağlayacaktır. Besleme barajları, sulamadan dönen suların yeraltına sızmasını sağlamasından başka, yağışlı dönemlerdeki doğal akışların da yeraltına sızmasını kolaylaştıracak ve ek beslenme olanakları sağlayacaktır.

Doğal şartlarda, proje alanından güney komşumuza geçen yüzeysel akış miktarı:

Ceylanpınar havzasında $7607\text{km}^2 \times 10^6 \times 84.30 \text{ mm} \times 10^{-3} = 618.449 \text{ hm}^3/\text{yıl}$ ve Harran havzasında $4239\text{km}^2 \times 10^6 \times 43\text{mm} \times 10^{-3} = 182.277 \text{ hm}^3/\text{yıldır}$.

Toplam = 800.726 hm³/yıl olacaktır.

Bölgede projeler gerçekleştirildiğinde, sulama ve içme suyu olarak, yerüstü ve yeraltı suyu olmak üzere, toplam 5500 hm³/yıl mertebesinde, su kaynağı kullanılacaktır. Bu kullanımdan 700 hm³'ünün (sulama ve içme suyundan dönen) akışa geçeceği kabul edilmiştir. Havzalarda akışın yaklaşık 1500 hm³/yıl mertebesinde olacağı görülmektedir. Bu akışın genelde, DSI Planlama Raporu kabulleri ile, yaklaşık %47'sinin, Cırcıplar boyunca inşaa edilecek bekletme bentleri ve besleme barajları ile yeraltına sızdırılabilir. Bu da yaklaşık 705 hm³/yıl'lık bir ek potansiyel olarak görülmektedir.

Sulamada kullanılacak suyun da, Harran ovasında %3.5'i Ceylanpınar ovasında da %7'sinin sulamadan doğrudan süzüleceği kabul edilmiştir. Bu değerler, 330 hm³/yıl mertebesinde dir. Böylelikle toplam 1035 hm³/yıl mertebesinde ek beslenme olacağı kabul edilmiştir. Bu miktar doğal beslenme miktarının yaklaşık %63'ü kadardır. Bu ek

beslenme olanağı, yeraltısuyu işletme potansiyelinin hesaplanmasında, güney komşumuz için muktesep hak olarak kabul edilmiştir.

Proje alanındaki yeraltısuyu emniyetli veriminin hesaplanmasında, ek beslenme olanakları gözönünde bulundurulduğunda, Ceylanpınar havzası için, direkt gözlenen 1217.979 hm³/yıl miktarı %100'ü, Harran havzası için de hesaplanan 418.500 hm³/yıl miktarın %80'i alınabilir.

Proje alanı için yıllık yeraltısuyu emniyetli verimi:

Ceylanpınar havzası için 1217.979 hm³

Harran havzası için 334.800 hm³

Toplam 1552.779 hm³ olarak kabul edilmiştir.

HAVZA YERALTISUYU BİLANÇOLARI

Harran ve Ceylanpınar havzalarının yeraltısuyu bilançoları, hesaplanan yeraltısuyu beslenme olanaklarına göre ayrı ayrı düzenlenmiştir. Bilanço hesaplarında, yeraltısuyunun önemli miktarlarda kullanılmadığı, eski yıllardaki doğal denge durumu için, bugünkü yeraltısuyu kullanımı için ve Atatürk barajından sulama projelerinin tam olarak uygulanması hali için, ayrı ayrı yeraltısuyu beslenme ve boşalma dengeleri irdelenmiştir.

Bu hesaplamalarda, havzaların ülkemiz sınırları içinde beslenme olanakları ile yine ülkemiz sınırları içindeki boşalım, yeraltısuyu kullanımı ve komşu ülkeye intikal eden yeraltısuyu miktarları hesaplanarak, bilanço dengeleri sağlanmıştır.

a. Doğal durumda yeraltısuyu bilançoları

Bu durum 1960'lı yıllar ve daha öncesini temsil etmektedir. Bu yıllarda havzalarda ülkemiz sınırları içinde, su kullanımı yalnız Ayn-Zeliha kaynağı ile olmuştur. Yeraltısuyunun ana boşalımları komşu ülkede, sınır boyunca yeralan Ayn el Arus, Ayn Slaq, Resül Ayn kaynakları ve sınır boyunca o yıllarda yaygın alanlar kaplayan yüksek su tablası

şartlarında olmuştur.

Urfa-Harran havzası

Havza alanı : 4239 km², toplam yağışı = 1678.8 hm³

Beslenme (hm³)

Yağıştan süzülen 418.5

Kaynak akışından

süzülme 1.1

Toplam 419.6

Boşaltma (hm³)

Kaynak boşalımları 15.75
(Ayn-Zeliha)

Suriye'ye geçen 403.85

419.6

Mardin-Ceylanpınar havzası

Havza alanı : 7706 km², toplam yağışı = 3950.1 hm³

Beslenme (hm³)

Yağıştan süzülen 1217.9

Toplam 1217.9

Boşaltma (hm³)

Kaynak boşalımları 47.3

Resül Ayn(Suriye) 1170.6

1217.9

b. Bugünkü su kullanımı durumunda yeraltısuyu bilançosu

Bu bilançoda, Urfa-Harran havzasında, Ayn-Zeliha ve 1964 yılından bu yana geliştirilen Direkli kaynağının kullanımları ile, Harran ve Ceylanpınar havzalarında, 1990 yılı boyunca, içme ve sulama amaçlı yeraltısuyu kullanımları esas alınmıştır.

Urfa-Harran havzası (Yağış 1678.8 hm³)

Beslenme (hm³)

Yağıştan süzülen 418.5

Boşaltma (hm³)

Kaynak boşalımları
(Ayn -Zeliha+Direkli) 25.2

Kaynak akışından		Sulama amaçlı	
süzülme	1.8	yeraltısuyu kul.	
		Kuyulardan çekilen	384.0
Sulamadan yeraltına		İçme suyu amaçlı	
süzülme	13.4	yeraltısuyu kullanımı	3.5
Yeraltısuyu rezerv		Suriye'ye geçen	63.3
değişimi	<u>42.3</u>		
Toplam	476.0		476.0

Mardin Ceylanpınar Havzası (yağış 3950.1 hm³)

Beslenme (hm³)

Yağıştan süzülen	1217.9
Sulamadan yerel.	
süzülme	19.6
Yeraltısuyu rezerv	
değişimi	<u>15.4</u>
Toplam	1252.9

Boşaltma (hm³)

Kaynak boşalımları	
yeraltısuyu kull.	280.9
İçme suyu amaçlı	
yeraltısuyu kull.	2.9
Suriye'ye geçen	
(Resül Ayn)	<u>938.5</u>
	1252.9

c. Proje gerçekleştiğinde yeraltısuyu bilançosu

Bu bilanço hesaplarında, Atatürk barajı sulamalarının tam olarak gerçekleştiği kabul edilmiş ve bu projeler kapsamında, DSİ Planlama Raporunda öngörülen, **besleme barajlarının** yapılacağı ve Harran ovasında, yine öngörülen, sulamadan dönen suların yeraltına sızdırılması veya sulamada kullanılması aynen kabul edilmiştir.

Urfa-Harran havzası (Yağış 1978.8 hm³ + baraj suyu 1491.3 hm³)

Beslenme (hm³)

Yağıştan süzülen	418.5
------------------	-------

Boşaltma (hm³)

Kaynak boşalımları	2.52
(Ayn-Zeliha+Direkli)	

Kaynak akışından		Sulama amaçlı	
süzülme.	1.8	yeraltısuyu kull.	334.8
Sulamadan yeraltına		İçmesuyu amaçlı	
süzülme	63.9	yeraltısuyu kull	1.2
Besleme barajı	16.8	Suriye'ye geçen	259.5
Sulamadan dönen			
suların sızdırılması	119.7		
Yeraltısuyu rezerv			
değişimi	0.0		
Toplam	620.7		620.7

Mardin Ceylanpınar Havzası (yağış 3950.1 hm³ + baraj suyu 2562.3 hm³)

<u>Beslenme (hm³)</u>		<u>Boşaltma (hm³)</u>	
Yağıştan süzülen	1217.9	Sulama amaçlı	
		yeraltısuyu kull	1217.9
Sulamadan yeral.		İçmesuyu amaçlı	
süzülme	264.9	yeraltısuyu kull	66.1
Sulamadan dönen		Suriye'ye geçen	767.8
suların sızdırılması	215.0		
Beslenme barajları	354.0		
Yeraltısuyu rezerv			
değişimi	0.0		
Toplam	2051.8		2051.8

SONUÇ

Bilanço değerlerinden görüldüğü gibi, proje gerçekleştiğinde, Suriye'ye geçecek yeraltısuyu miktarı bugünkünden daha çok olacak ve bu miktar Suriye'de bu bölgede bugün varolan sulama projelerinin su gereksinimlerini karşılayacaktır. Son bilanço değerleri tüm sulama alanlarının işletmeye açılması durumunda geçerlidir. Yüzeysuyu su-

lamaları önümüzdeki yıllarda, yeraltısuyuna göre, daha hızlı gelişmesi halinde, bilanço-
da gösterilen yeraltısuyu kullanımına ulaşılması uzun yıllar alacaktır. Bu arada güney
komşumuza intikal eden yeraltısuyu miktarı bilançodakinden daha fazla olacaktır. Bu
dönemde, güneyde yeni sulama projelerinin gelişmesi halinde uzun sürede yeni sorun-
lar ortaya çıkabilir. Buna olanak tanımamak için, projedeki yeraltısuyu kullanımının yü-
zeysuyu ile birlikte geliştirilmesi en sağlıklı yol olacaktır.

ÇİZELGE 1 - CALLUP DERESİ HAVZASINA AİT THORNTWAİTE METODU İLE EVAPOTRANSPIRASYON
POTANSİYEL VE SU BİLANÇO DEĞERLERİNİN TAYINI

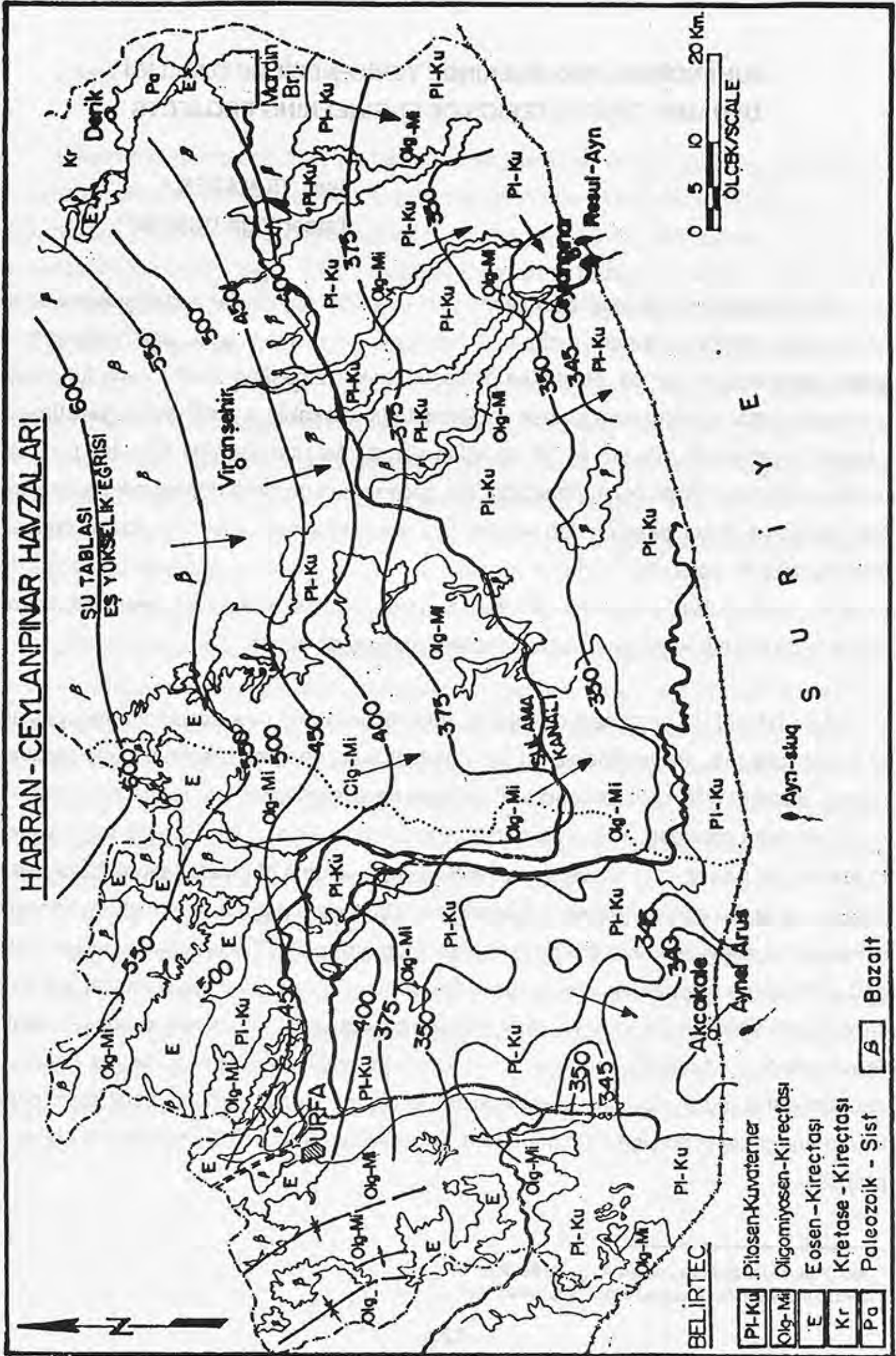
URFA İSTASYONU AYLIK ORTALAMA SUHUNETLER
URFA-HARRAN OVASINA DÜŞEN ORTALAMA YAĞIŞ

ENLEM DERECESİ :37.2°

NO	OCAK	ŞUBAT	MART	NİSAN	MAYIS	HAZİRAN	TEMMUZ	AĞUSTOS	EYLÜL	EKİM	KASIM	ARALIK	YILLIK
1	5.10	6.60	10.10	15.80	21.80	27.80	31.70	26.60	26.60	19.90	13.10	7.40	18.11
2	1.03	1.52	2.90	5.71	9.29	13.43	16.38	16.15	12.56	8.10	4.30	1.81	93.18
3	5.71	9.35	21.15	49.88	92.47	147.39	189.58	186.16	135.43	77.64	34.82	11.65	961.23
4	0.86	0.84	1.03	1.10	1.22	1.23	1.25	1.17	1.03	0.97	0.85	0.83	
5	4.91	7.86	21.78	54.87	112.81	181.29	236.98	217.80	139.50	75.31	29.60	9.67	1092.38
6	103.70	67.70	64.90	54.20	25.70	2.80	0.50	0.70	1.20	21.40	42.90	81.40	467.10
7				-0.67	-87.11	-12.22					13.30	71.73	
8	100.00	100.00	100.00	99.33	12.22	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	13.30	85.03	
9	4.91	7.86	21.78	54.87	112.81	15.02	0.50	0.70	1.20	21.40	29.60	9.67	280.32
10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	166.27	236.48	217.10	138.30	53.91	0.00	0.00	812.06
11	98.79	59.84	43.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-14.97	186.79
12	45.70	52.77	47.94	23.97	11.99	5.99	3.00	1.50	0.75	0.37	0.19	-739	186.79
13	3.96	5.98	8.64	7.86	5.88	2.47	0.82	0.51	0.59	1.39	2.17	2.99	43.26
14	41.74	46.79	39.30	16.11	6.11	3.52	2.18	0.99	0.16	-1.02	-1.98	-10.38	143.53
TOPLAM													186.79

NOT : Satır 2; $Index (ay) = (C^{\circ}/5) \wedge 1.514$ ve $Index (yıl) = Toplam (Index (ay)) = TE$
 Satır 3; $a = 0.00000673 \cdot (TE) \wedge 3 - 0.0000771 \cdot (TE)^2 + 0.017921 \cdot (TE) + 0.49239$ olduğuna göre Et (bürüt) (mm) = $16 \cdot (10 \cdot C^{\circ}/TE)^a$
 Satır 4; Aylık Güneşlenme Faktörü (G) (enlem derecesine göre)
 Satır 5; Et (potansiyel) = Et (bürüt) * G
 Satır 13; Incirli İstasyonu'nda ölçülen

HARRAN - CEYLANPINAR HAVZALARI



MÜHENDİSLİK PROJELERİNDE YENİLENEBİLME ÖZELLİĞİ

DYNAMIC CHARACTERICS OF ENGINEERING PROJECTS

İlyas YILMAZER *

Tamer Yiğit DUMAN**

ÖZ - Değişen ve daha iyi özümmlenen yeni koşullara dayalı olarak değişebilme özelliği taşıyan projeler; Zaman, maliyet ve teknoloji gereksinimi açısından yadsınamaz önem taşımaktadır. Ayrıca, eleştiri ve özeleştiri mekanizmasının sürekli canlı tutulması da olası olumlu değişimlere olanak sağlamaktadır. **Ankara'ya içme suyu getirilmesi projesi** kapsamında yeralan ve 30 yılı aşkın süredir çalışılan Gerede havzası, bu bağlamda çarpıcı bir örnek oluşturmaktadır. Bu geçen uzun çalışma döneminde, aynı koridor içerisinde ortaya çıkarılan dört seçenekten birkaç katı daha yapılabilir özellik taşıyan doğu koridor E5 kara yolu boyunca yer almaktadır. Ulaşım sorunu olmayan bu koridorda tünel vb. mühendislik yapılarına gereksinme yoktur. Bu seçenekte, gözardı edilemeyecek oranda önemli ikincil enerji elde edebilme olanağı da vardır.

ABSTRACT - The dynamic projects, adaptable to any new conditions recognized at further phases, are preferable on the basis of time, cost, and technological requirements. Besides that, criticism and self criticism have significant role in the execution of recommended changes. The project including the diversion of the Gerede basin water to Ankara, has been kept active since 1965. A large volume of investigations have been carried out in the corridor between Gerede and Çamlıdere dam. A very high technology is needed to alleviate inevitable geotechnical problems along the proposed long tunnels and at the large engineering structures in this corridor. The Eğrekkaya dam was put into service just after 1990 and Akyar dam is being constructed in the newly proposed **eastren corridor**. Fortunately, tunnel or any other large engineering structures are not needed along this route. However, investigations along the former corridor is still being continued and there is no sign from the Client, State Water Works (DSİ), to discuss the new proposal.

* Jeo. Yük. Müh. Specra Jeotek A. Ş. /ANKARA

** Jeo. Yük. Müh. MTA Genel Müdürlüğü/ANKARA

GİRİŞ

Ülkemizde gerçekleştirilen mühendislik projelerinde, önceki çalışmalara duyulan saygı sevindiricidir. Ancak eleştiri-özeleştiri mekanizmasının yeterince hayata geçirilmediği, dolayısıyla giderilmesi olanaksız yanlışlıkların yapıldığına çok sayıda örnek verilebilmektedir (Yılmaz, 1994). Otuz yıl öncesi **Çamlıdere barajı** ve **Çamlıdere-İvedik** su taşıma hattı gündemde iken, bir Fransız mühendisinin Gerede havzası suyunun bu baraja aktarılması önerisi, 10 km'nin üzerinde tünel içerse de belirli ölçülerde, kabul edilebilir bulunabilir (Şekil 1). Ancak, çok zor doğa koşulları içeren bu koridorda araştırmalar sürdürülürken, Kızılcahamam'ın kuzeyinde bulunan Eğrekkaya ve Akyar barajlarının yapımına geçilmiştir. Daha sonraki yıllarda gerçekleştirilen bu çalışmaların değerlendirmeye sokulmaması düşündürücüdür. **E5** karayolu boyunca kolayca ulaşılabilen bu alanların bir mühendislik jeolojisi modeli hazırlanmış olsaydı, **doğru seçenek** çok seneler öncesi değerlendirmeye alınabilirdi.

Metakırıntılılardan oluşan Nurdağı'nın (Yılmaz ve diğ. 1992) 150 yıldır şeyl, miltaş ve kumtaşından oluşuyor diye tanımlanması, sadece otoyol projesinde 300 milyon doların üzerinde gereksiz harcamalara neden olmuştur. Benzer şekilde uzun zamandır çalışılan **Gerede-Çamlıdere su iletim koridorunda** gözlenebilen fonolit ve volkanotortullar için filiş sözcüğünün kullanılması (Yılmaz, 1990) ayrıca palagonit ve tuf palagonit gibi aşırı zayıf kayaların varlığının söz konusu edilmemesi benzer olumsuz sonuçlar doğurmuştur. DSI tarafından ışıklı tünelinin ilk 3 km'si için görüşleri istenen Kovari (1991) önemli bir çalışma gerçekleştirmiştir. Mühendislik özellikleri karşılaştırılamayacak kadar kötü olan palagonit, tuf palagonit ve dövitrik tüfler hiç konu edilmezken, tünelin bu kesiminin vitrik tüfler içerisinde yer aldığı anlatılmaktadır. Buna karşın, engin deneyim ile 3200 m uzunluğundaki tünelin açımının 1330 günde tamamlanabileceğini ön görmüştür! Böyle bir koridorda, 10 km'den daha uzun bir tünelin yapılabilmesi için yüksek teknoloji ve yüksek yatırımın yanısıra kabul edilemez büyüklükte zamana gereksinme duyulacağı açıktır.

ÖNERİ KORİDOR VE BATI KORİDORUN GENEL ÖZELLİKLERİ

Konunun daha iyi takip edilebilmesi için öneri seçenek ve 30 yılı aşkın süredir gündemde tutulan koridor sırası ile Şekil 2 ve 3'te verilmiştir. Batı koridoru üzerinde dört ayrı seçenek çalışılmıştır. Buna karşılık doğu koridorda tek bir seçenek önerilmiştir. Ancak, Şekil 2'den anlaşılabileceği gibi Gerede havzasının suyu Akyar barajı havzasına km 21+500'de serbest akıtılabileceği gibi, bu noktadan Akyar barajı akış aşağısına kadar yüzeyden boru ile taşınıp ikincil enerji elde edilebilir. Bu iki koridor çeşitli yönleri ile Çizelge 1'de özet olarak sunulmuştur. •

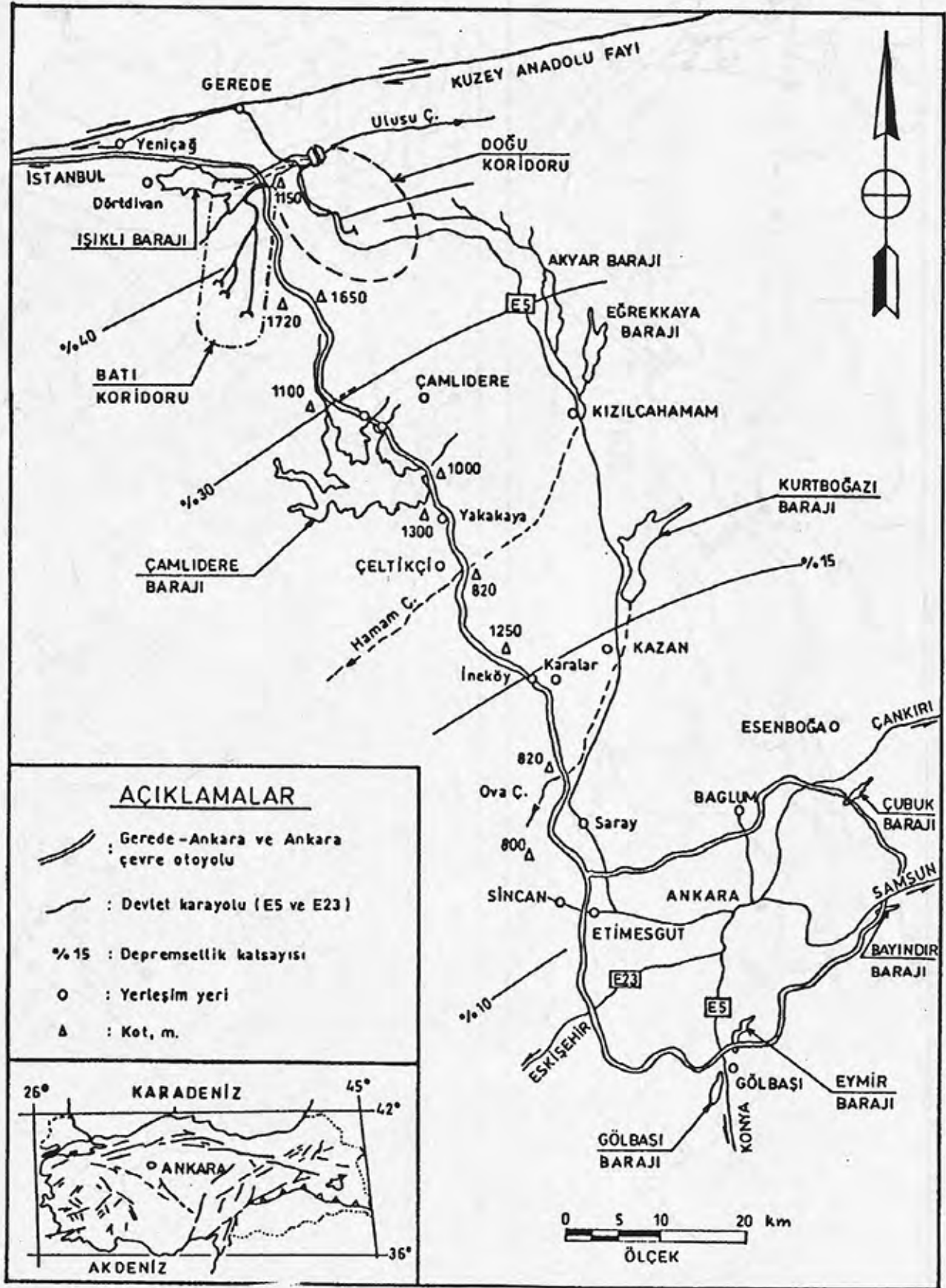
TARTIŞMA VE ÖNERİLER

Mühendislik projelerinin özgün özellikleri gereği yapılan yanlışlıklar projenin ömrü boyunca göze batarcasına ayakta duracaktır. Ankara'da Çamlıdere havzasına otoyolla geçiş %2 eğimli ve ~ 700m uzunluğunda bir tünelle yapılabilecekken bu önerinin tamamen dışında %6 eğimli, yüksekliği yüz metreyi aşan dolgu ve yarmalardan oluşan bir geçit seçilmiştir. Bugün bu yolu kullananların ne düşündüklerini anlatmaya gerek yoktur!

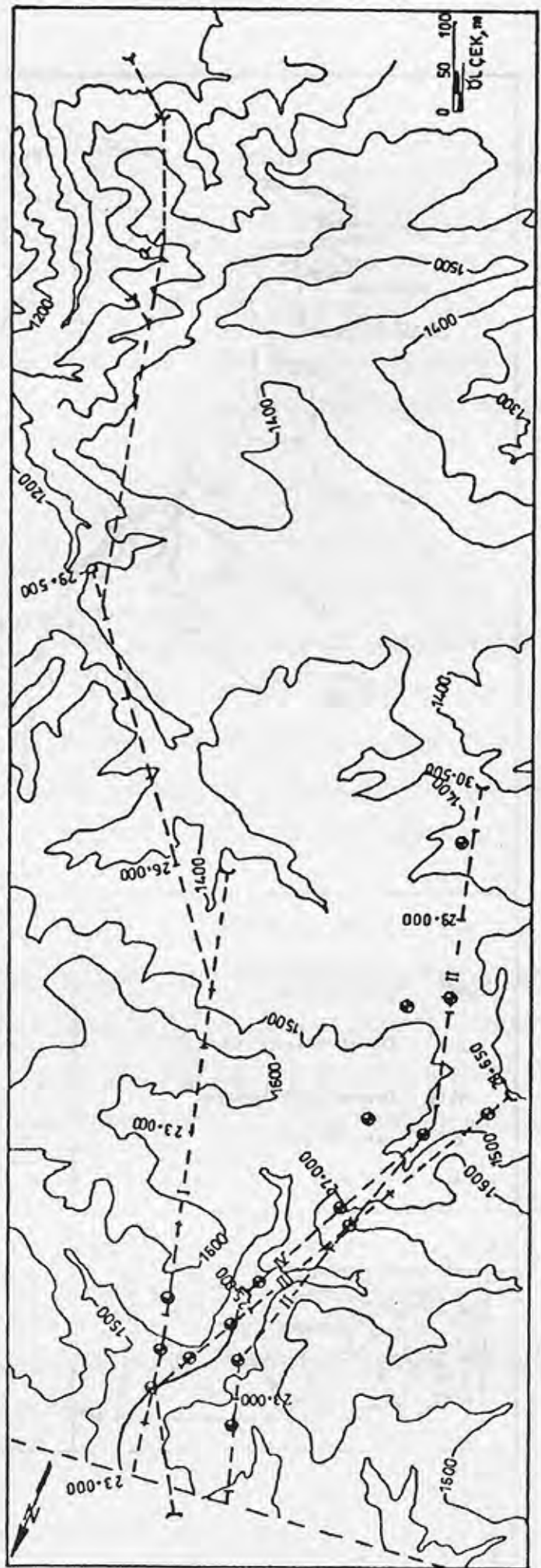
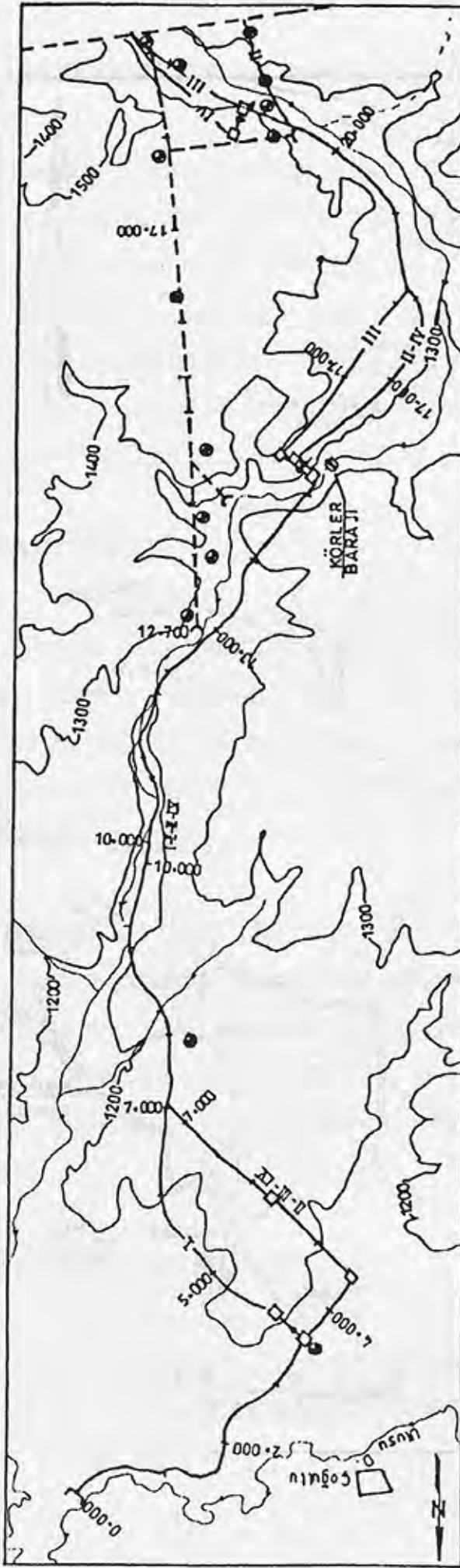
Aynı şekilde doğu koridorun varlığı bilinerek batı koridorunun seçilmesinin yaratacağı sorunları şimdiden ön görmek zor değildir. Bu nedenlerle, büyük ölçekli mühendislik projelerinin belkemiğini oluşturan mühendislik jeolojisi araştırmalarına eleştiri-özeleştiri pratiği de sokarak gereken önem verilmelidir. Ayrıca dört boyutlu alansal ve bölgesel mühendislik jeolojisi modellerinin oluşturulması bu tür projelerin sağlığı için zorunludur.

KATKI BELİRTME

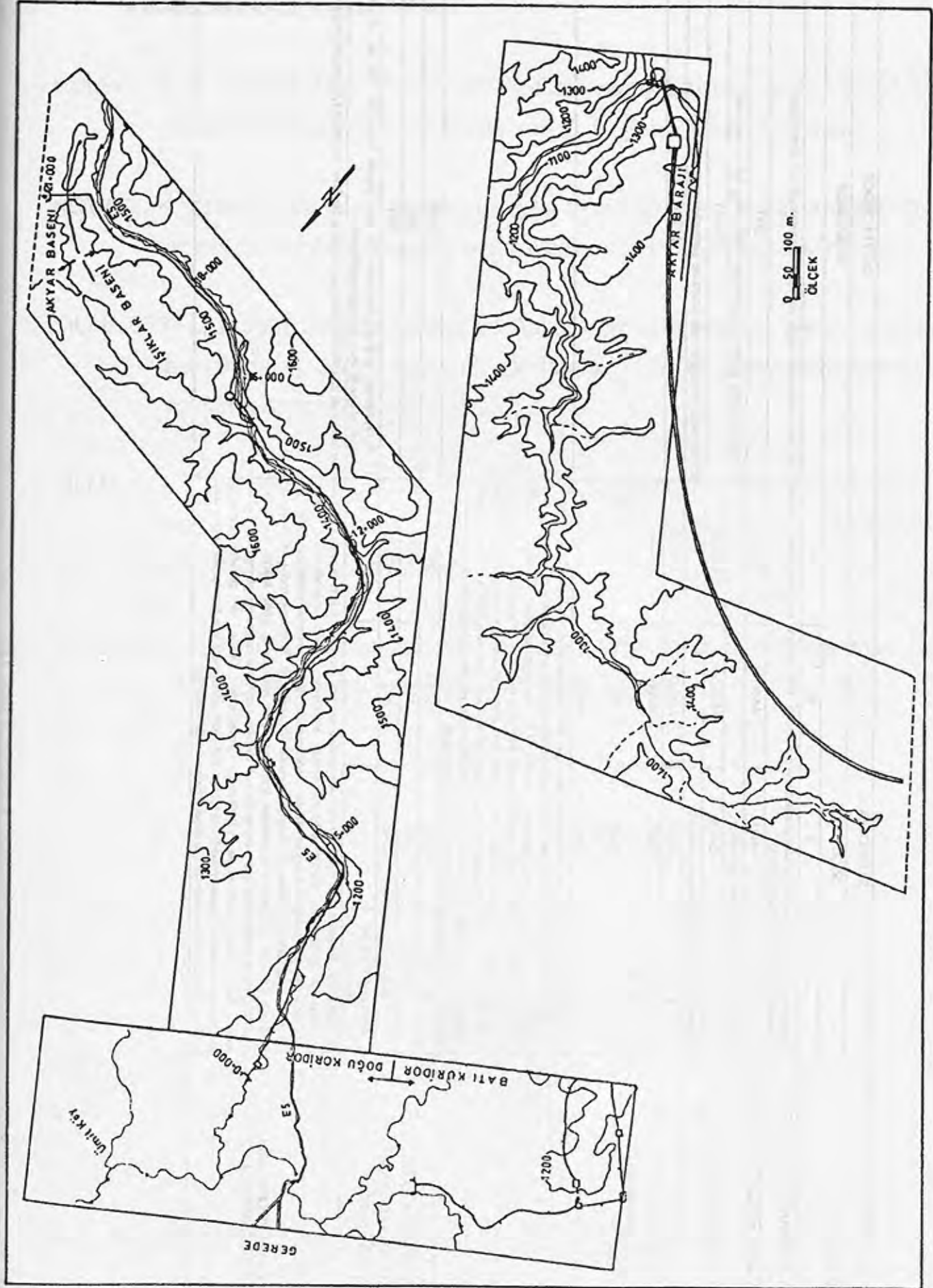
Yazarlar, ülkemizin güncel gerçekleri karşısında bu tür yazı dili kullanmak zorunda kaldıkları için anlayış gösterenlere teşekkür ederler.



Şekil 1. Ankara içmesuyu barajlarının dağılımı ve bu barajların üzerinden geçen otoyol.



Şekil 2. Üzerinde 30 yılı aşkın süredir çalışılan tünelli su aktarma geçkileri koridoru.



Şekil 3. 1993 yılı sonunda mühendislik jeolojisi modeline dayalı olarak önerilen tünelsiz su aktarma geçkisi.

BİLEŞENLER	BATI KORIDOR SEÇENEKLER				DOĞU KORIDOR SEÇENEKLER	
	I	II	III	IV	I	
A. SU ALMA YAPISI	Yumuşak az silt zemin içerisinde/üzerinde yer alır. Sığ YAS tablası bulunmaktadır. Pliyo-Kuvaterner birimler yer almaktadır					
B. AÇ-KAPA (m)	3575	4400	4400	4400	500	Zayıf-orta dayanımlı kaya üzerinde ve içerisinde yer almaktadır
C. ÇELİK BORU	9125	15625	18250	20225	21000	Zemin koşulları su alma yapısından uzaktırlıkça iyileşmektedir.
D. B+C	12700	20025	22650	24625	21500	E5 boyunca duraylı zemin üzerinde yerleştirilmiştir.
E. ANA TUNEL	16800	10475	6000	3625	-	
F. YAKLAŞIM TUNELİ	5750	-	-	-	-	
G. ŞAFT	-	220	60	-	-	
H. E+F+G	22550	10695	6060	3625	-	
D+H	35250	30720	28710	28250	21500	
HİDROSTATİK BASINÇ (Hs)	7250	229	283	338	280	
MANOMETRİK BASINÇ (Hm)	8062	245	301	359	300	
İKİNCİL ENERJİ	6 km. ek tünel ile olasıdır	-	-	-	-	E5 karayolunun doğusu boyunca 15 km. kapalı boru ile 310 m. düşüklü bir potansiyel enerji seviyesi sağlanabilecektir.
ULAŞIM VE ÇEVRE ETKİ DEĞERLENDİRMESİ	Bu koridorla özellikle km 13+000'dan sonrasında hemen her nokta için ulaşım yolunun yapılmasına gereksinim vardır. Böylece orman alanlarının tahribi kısınılmazdır. İnşaat sırasında pek çok edilegen duraysız alanlar etkilenecek, doğa kırımına neden olacaktır. Çığ ve buzlanma ulaşım yollarında büyük sorunlar çıkaracaktır. Ankara-Ceride otoyolunun yaklaşık 25 km.'li Çamlidere havzası içerisinde yer alır. Baraj gölü kıllan üzerinden vıyadüklerle geçenken barajı besleyen önemli dereler boyunca dolgu ve yarmalarla devam eder. Baraj gölü çevresinde yapılaşma sürmektedir. Okefin ve parafin türevleri (karşınolenik-kanser yapan maddeler) içeren trafik kirliliğinin yanı sıra kazalar sonucu ortaya çıkacak noktasal kirlenmelerle Çamlidere barajı tehdit altındadır.					

YARARLANILAN KAYNAKLAR

- DUMAN, T. Y., (1993) TAG (Tarsus-Adana-Gaziantep) Otoyolu, Kızlaç geçidinin mühendislik jeolojisi. Yüksek lisans tezi, Ç. Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü.
- KOVARI, K., (1991) Basic considerations; Işıklı tunnel (Section km 0+000-3+000 in vitric tuff. Unpublished report, State Water Works (DSİ), Ankara-Turkey.
- YILMAZER, İ., (1990) Gerede-Ankara ve Ankara çevre otoyoluna genel ve jeoteknik açıdan bakış. Jeoloji mühendisliği dergisi, TMMOB jeoloji mühendisliği odası yayın organı, 38, 43, 50.
- YILMAZER, İ., İŞLER, F., DUMAN, T., (1992) Metamorphism in the Nurmountain range and its effect on engineering geology of the region. Geosound; Yerbilimleri, 67-77. Çukurova Üniversitesi
- YILMAZER, İ., (1994) Mühendislik jeolojisi ve çevre koruma (yayınlanmak üzere), TMMOB Jeoloji mühendisliği odası yayın organı.

ULAŞILAMAYAN KAYA YAMAÇLARINDAKİ SÜREKSİZLİK İZLERİNİN ELEKTRONİK TAKEOMETRE KULLANILARAK BELİRLENMESİ: RİZE-İKİZDERE YÖRESİ ÖRNEĞİ

Fikri BULUT *

Şule TÜDEŞ **

ÖZ - Ulaşılamayacak kadar sarp olan yamaç veya şevlerdeki süreksizlikler, izleriyle belirlenebilmektedir. Süreksizlik izleri yardımıyla elde edilen veriler, mühendislik projelerinde, parametre olarak kullanılmaktadır. Bu nedenle, süreksizlik izlerinin belirlenmesi gerekmektedir. Bu araştırmada, ulaşılamayan kaya yamaçlarındaki süreksizlik izlerinin, son yıllarda geliştirilen ve çok kısa sürede ayrıntılı ölçümler yapabilen bilgisayarlı elektronik takeometre (total station) kullanılarak belirlenebileceği gösterilmiş ve bir örnek uygulama verilmiştir.

ABSTRACT - Discontinuities on inaccessible rock slope can be identified by their traces. Data obtained by means of discontinuity traces are used as a parameter in engineering projects. Therefore, they are needed to be identified. In this study, it is shown that the discontinuity traces on inaccessible rock slopes can be measured by the use of computurized takeometer (total station) which has recently been developed and is capable of making detail measuraments in short periods and an example is given.

GİRİŞ

Elektronik uzaklık ölçerleri, bir kaynaktan gönderilen kızılötesi ışınların veya elektromagnetik dalgaların reflektörde yansdıktan sonra, aynı kaynağa dönmesi esnasında geçen sürenin veya yayılma hızının ölçülmesi prensibine göre çalışan aletlerdir. Ölçme hassasiyetleri aşağıdaki bağıntı ile tanımlanmaktadır.

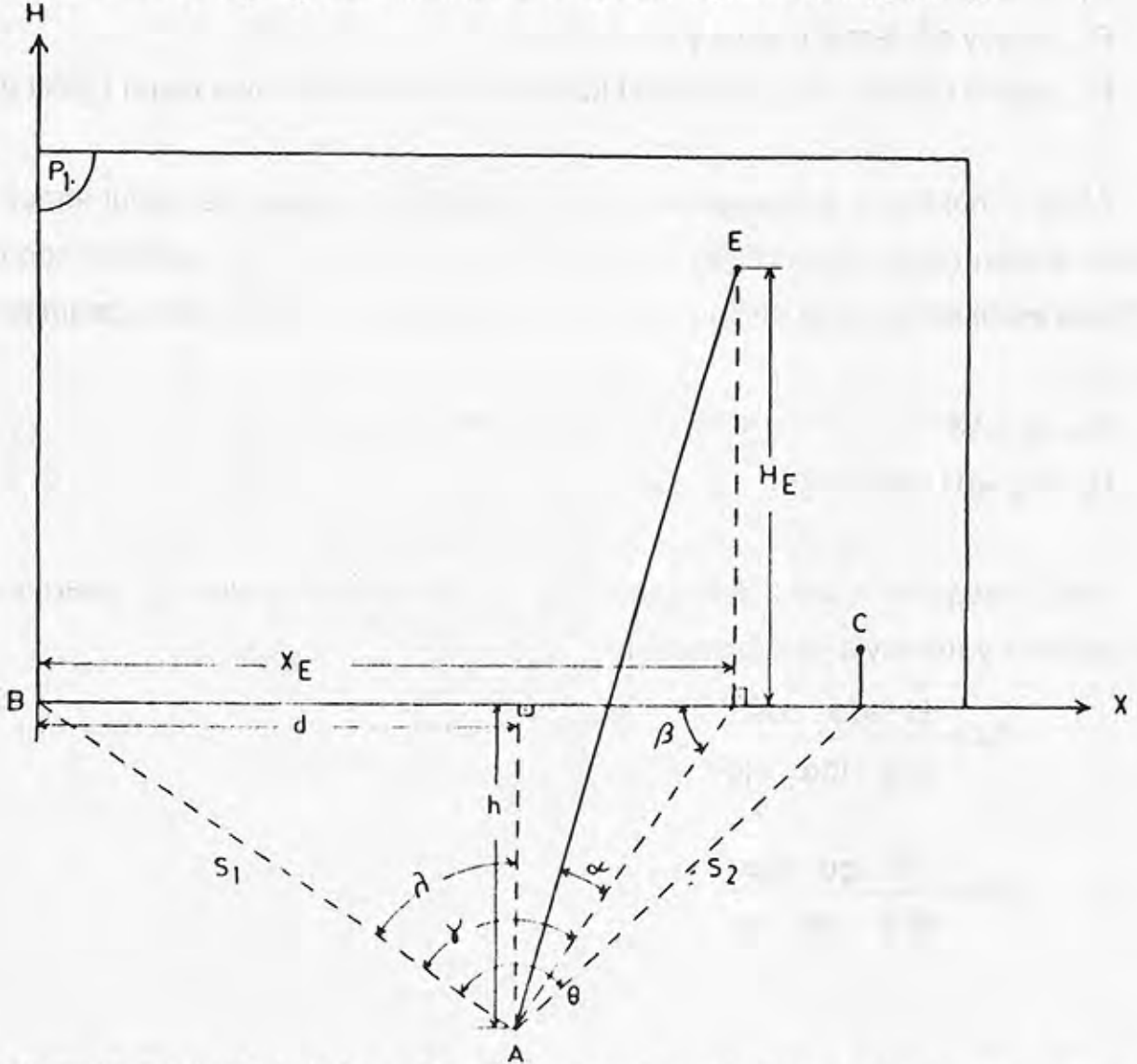
$$m_s = \pm (a+b \cdot S) \quad m_s = \text{ölçme hassasiyeti (mm)} \quad (1)$$

$S = \text{yatay uzaklık (m)}$
 $a = 2\text{mm}, b=10^{-6} \text{ (Kahmen and Faig, 1988)}$

* Yrd. Doç. Dr. , KTÜ Müh. Mim. Fak. Jeoloji Mühendisliği Bölümü, TRABZON

** Arş. Gör. , KTÜ Müh. Mim. Fak. Jeoloji Mühendisliği Bölümü, TRABZON

Elektronik takeometreler, bir elektronik uzaklık ölçeri olup, eğik uzaklığı, eğik uzaklığın eğim açısını ve düşey açıyı ölçerler. Elektronik takeometrelerde elde edilen eğik uzaklığı yataya indirgemek için alet bir bilgisayarla teçhiz edilir. Gerekli progmlarla ölçülen uzaklığa gerekli düzeltmeler (kalibrasyon, atmosfer v.s.) verildikten sonra ilgili bağıntılar yardımıyla yatay uzaklık ve koordinatlar bulunabilmektedir. Bu şekilde bilgisayarlarla donatılmış elektronik takeometrelere "**total station**" denilmektedir. Sokkia set 2c11, Wild TC 200, Zeiss Reg Elta 3 bu gruptaki aletlere bir örnektir. Bu aletlere, değişik programları yüklemek mümkündür. Bilhassa restorasyon çalışmalarında online moduyla çağrılan program kullanılmaktadır. Bu program, bir doğrudan geçen düşey düzlemde ölçü yapma esasına göre düzenlenmiştir. Yani, bu program yardımıyla düşey düzlem üzerindeki herhangi bir noktanın koordinatını belirlemek mümkündür. Şöyle ki, A noktasına kurulan alet, B ve C noktalarından tutulan reflektörlere baktığında B noktasını koordinat ekseninin başlangıcı, BC doğrusunun yatay izdüşümünü de X eksenini olarak almakta ve bu esnada S_1 , S_2 uzaklıklarını ve θ açısını ölçmektedir (Şekil 1).



Şekil 1. Düşey düzlem üzerinde bulunan bir noktanın koordinatını belirlemek için ölçülen ve hesaplanan veriler.

Alet düşey düzlem üzerindeki bir E noktasına baktığında ise α , β ve γ açılarını ölçmektedir. Şekil 1'deki diğer veriler (h , d ve λ) ölçülen parametreler yardımıyla hesaplanmaktadır. E noktasının koordinatı, bu veriler kullanılarak çıkarılan aşağıdaki eşitlikler yardımıyla belirlenir.

$$X_E = d + h \cdot \operatorname{tg}(\gamma - \lambda) \quad (2)$$

$$H_E = \frac{h}{\cos(\gamma - \lambda)} \cdot \operatorname{tg} \quad (3)$$

EĞİMLİ DÜZLEM ÜZERİNDEKİ BİR NOKTANIN KOORDİNATININ BULUNMASI

P_1 : düşey düzlem,

P_2 : düşey düzlemle φ açısı yapan düzlem,

P_3 : eğimli düzlem (P_2) üzerindeki koordinatı bulunacak nokta olsun (Şekil 2).

Aletle F noktasına bakıldığında, alet F noktasını E noktasında kabul etmektedir. E noktası aletten çıkan ışının düşey düzlemi deldiği nokta olup, bu noktanın koordinatı 2 ve 3 nolu eşitliklerden elde edilir. F noktasının koordinatı ise şekil 2'deki geometrik ilişkilere göre;

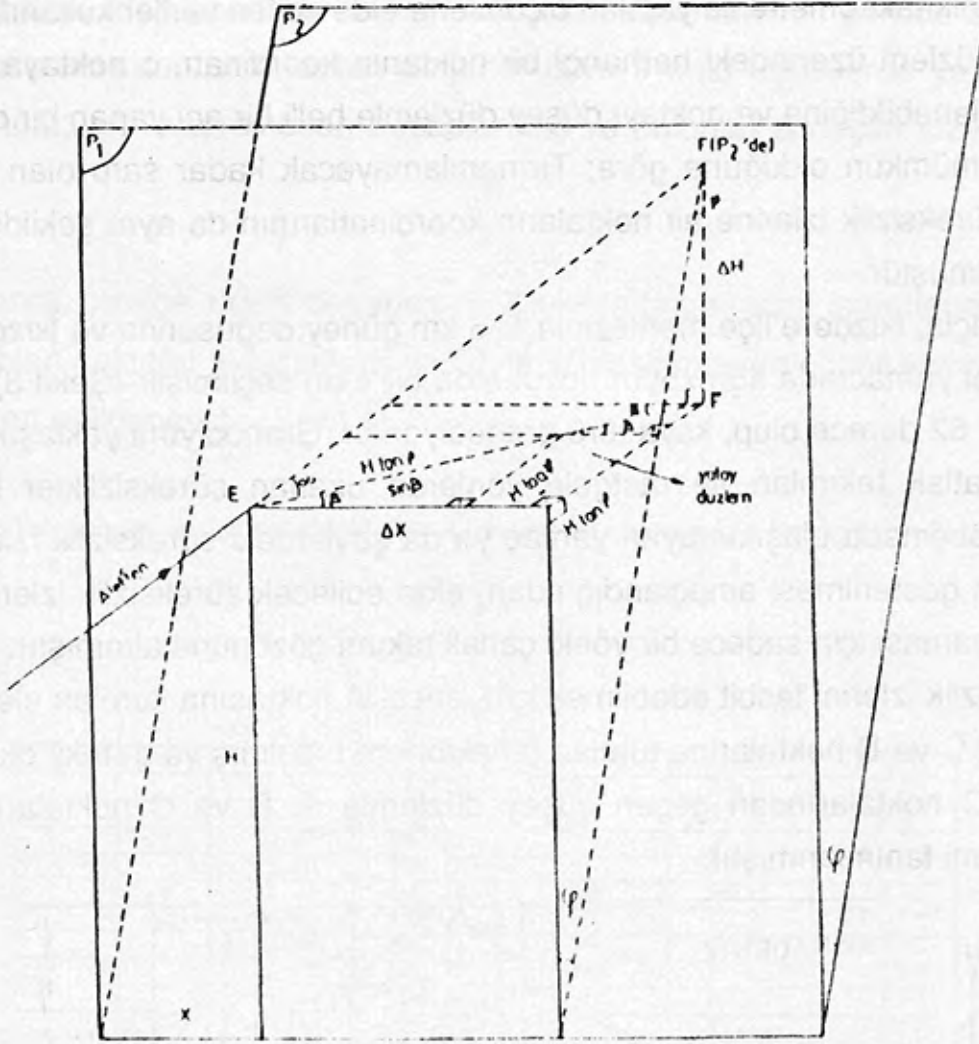
$$X_F = X_E + \Delta X \quad (4)$$

$$H_F = H_E + \Delta H \text{ elde edilir.} \quad (5)$$

x ve H değerleri şekil 2'deki geometrik ilişkiler gözönüne alınarak çıkarılan aşağıdaki eşitlikler yardımıyla hesaplanabilir.

$$\Delta x = \frac{H \cdot \operatorname{tg} \varphi \cdot \cos \beta}{\sin \beta - \operatorname{tg} \alpha \cdot \operatorname{tg} \varphi} \quad (6)$$

$$\Delta H = \frac{H \cdot \operatorname{tg} \alpha \cdot \operatorname{tg} \varphi}{\sin \beta - \operatorname{tg} \alpha \cdot \operatorname{tg} \varphi} \quad (7)$$



Şekil 2. Eğimli düzlem üzerindeki bir noktanın koordinatını belirlemek için ölçülen ve hesaplanan veriler.

6 ve 7 nolu eşitlikler, sırasıyla 4 ve 5 nolu eşitliklerde yerine konursa;

$$X_F = d + h \cdot \operatorname{tg}(\gamma - \lambda) + \frac{H \cdot \operatorname{tg} \varphi \cdot \cos \beta}{\sin \beta - \operatorname{tg} \alpha \cdot \operatorname{tg} \varphi} \quad (8)$$

$$H_F = \frac{h}{\cos(\gamma - \lambda)} \cdot \operatorname{tg} \alpha + \frac{H \cdot \operatorname{tg} \alpha \cdot \operatorname{tg} \varphi}{\sin \beta - \operatorname{tg} \alpha \cdot \operatorname{tg} \varphi} \quad (9)$$

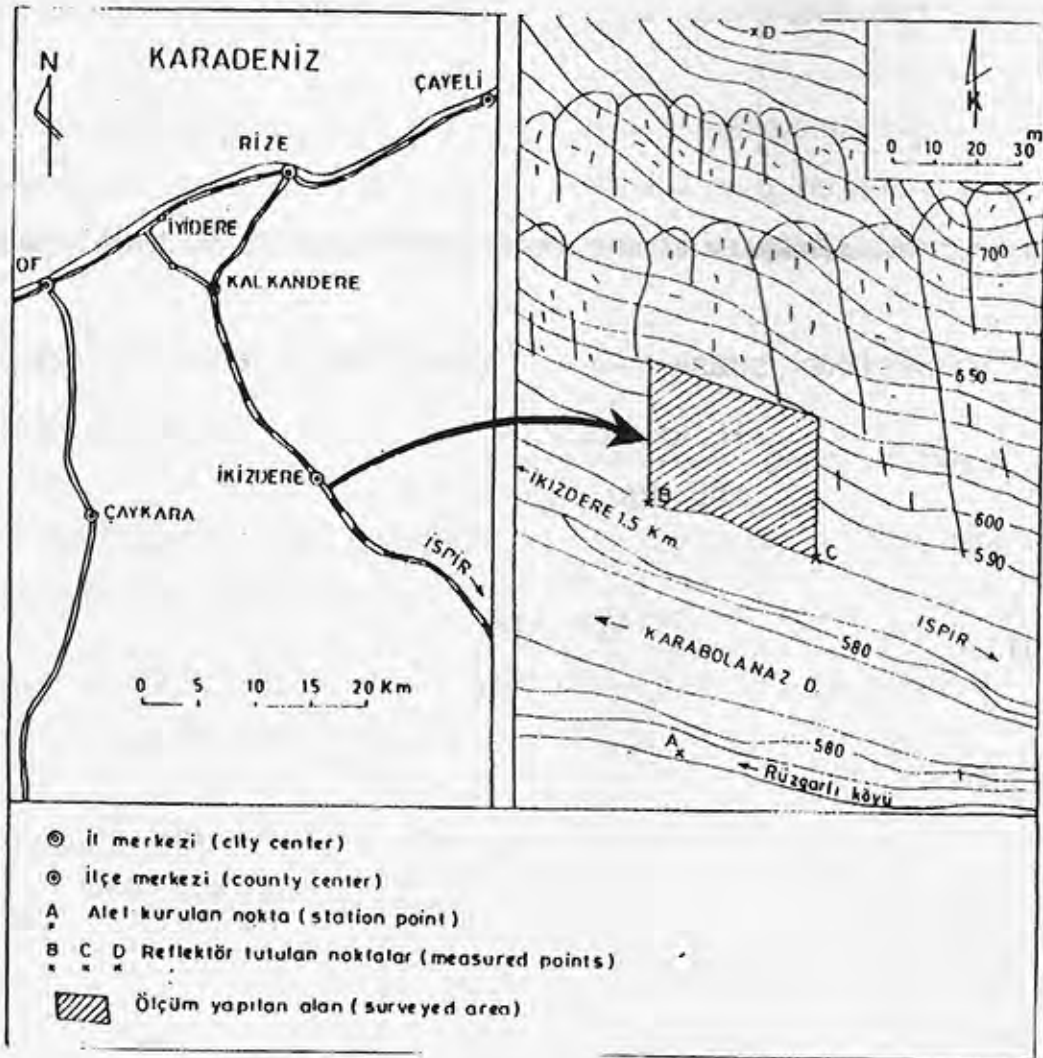
elde edilir.

ÖRNEK UYGULAMA

Elektronik takeometre ile yapılan ölçümlerle elde edilen veriler kullanılarak tanımlanan düşey düzlem üzerindeki herhangi bir noktanın koordinatı, o noktaya reflektör tutmadan, belirlenebildiğine ve noktayı düşey düzlemle belli bir açı yapan bir düzlem üzerine taşımak mümkün olduğuna göre; Tırmanılmayacak kadar sarp olan yamaç veya şevlerdeki süreksizlik izlerine ait noktaların koordinatlarının da aynı şekilde bulunabileceği düşünülmüştür.

Bu amaçla, İkizdere ilçe merkezinin 1.5 km güney doğusunda ve İkizdere-Ispir karayolunun sol yamacında 45mx50m boyutunda bir alan seçilmiştir (Şekil 3). Bu alanda, yamaç eğimi 62 derece olup, kaya türü granodiyorittir. Granodiyorit yaklaşık birbirine dik üç yönde çatlak takımları ile rastgele yönlerde uzanan süreksizlikler içermektedir. Ancak, bu çalışmada ulaşılamayan yamaç ya da şevlerdeki süreksizlik izlerinin belirlenebileceğinin gösterilmesi amaçlandığından, elde edilecek süreksizlik izlerine ait şeklin karışıklık olmaması için sadece bir yönlü çatlak takımı gözönüne alınmıştır.

Süreksizlik izlerini tesbit edebilmek için, önce, A noktasına kurulan elektronik takeometre ile B, C ve D noktalarına tutulan reflektörlere bakılmış ve gerekli okumalar yapılarak B ve C noktalarından geçen düşey düzlemle A, B ve C noktalarından geçen yamaç düzlemi tanımlanmıştır.



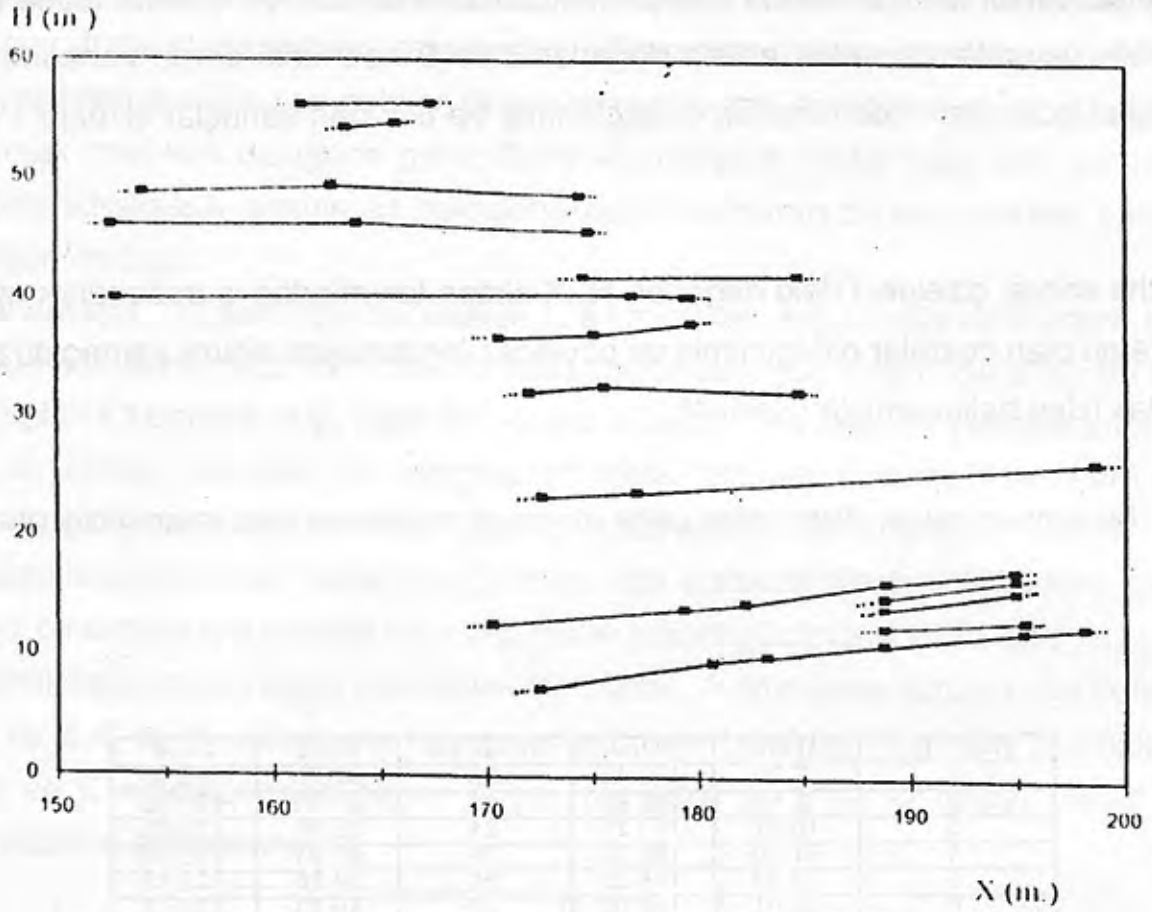
Şekil 3. İnceleme alanının konum haritası

Sonra, çatlak izleri üzerinde değişik noktalara sistematik bir şekilde aletle bakılarak yapılan okumalardan elde edilen değerler 8 ve 9 nolu eşitliklerde yerlerine konarak, bakılan noktaların koordinatları hesaplanmış ve bulunan sonuçlar çizelge 1'de verilmiştir.

Daha sonra, çizelge 1'deki değerler, H, X eksen takımından işaretlenerek aynı süreksizliğe ait olan noktalar birleştirilmiş ve böylece ulaşılamayan eğimli yamaç düzlemindeki çatlak izleri belirlenmiştir (Şekil 4).

Tablo 1. Ulaşılamayan yamaç düzlemindeki çatlak izlerine ait noktalarının hesaplanan koordinatları

Nokta No	H (m)	X (m)	Nokta No	H (m)	X (m)
1	7.30	172.45	22	32.76	175.56
2	9.48	180.63	23	32.20	172.00
3	10.07	183.22	24	36.86	170.56
4	11.10	188.73	25	37.24	175.06
5	12.23	195.22	26	38.15	179.65
6	12.61	198.05	27	40.36	179.65
7	13.17	195.31	28	40.36	179.35
8	12.47	188.73	29	40.46	176.88
9	14.05	188.73	30	39.97	152.72
10	15.00	194.84	31	42.02	174.57
11	16.65	194.84	32	42.22	181.70
12	15.04	188.73	33	45.45	178.80
13	17.40	194.76	34	46.30	163.90
14	16.27	188.62	35	46.06	182.53
15	14.47	182.19	36	48.86	153.68
16	13.94	179.31	37	49.47	162.74
17	12.57	170.21	38	48.78	174.40
18	23.44	172.56	39	54.76	165.75
19	23.85	177.10	40	54.37	163.42
20	26.54	168.56	41	56.30	161.36
21	32.35	164.77	42	56.41	167.41



Şekil 4. Ulaşılamayan yamaç düzleminde belirlenen çatlak izleri

SONUÇ

Total station bilgisayarla donatılmış bir elektronik takeometredir. Ölçme hassasiyeti, 1000m. 'de ± 3 mm'dir. Bu araştırmada total station ile yapılan ölçümlerden elde edilen değerler kullanılarak, ulaşılmaayan kaya yamaç ya da şevlerindeki süreksizlik izlerinin çok kısa süre içerisinde ve ayrıntılı olarak belirlenebileceği ortaya konmuştur.

KATKI BELİRTME

Yazarlar, bu araştırmanın hazırlanması aşamalarında çok değerli katkıları olan KTÜ Mühendislik Mimarlık Fakültesi Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü öğretim üyesi sayın Prof. Dr. Türkay TÜDEŞ'e teşekkürü bir borç bilirler.

YARARLANILAN KAYNAKLAR

- HOEK, E. and BRAY, J. W. (1981) Rock Slope Engineering 3 rd edition; Institution of Mining and Metallurgy, London
- HUDSON, J. A. and PRIEST, S. D. (1983) Discontinuity frequency in rock mass; International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences and Geomechanical abstract, 20.
- KAHMEN, H. and FAIG, W. (1988) Surveying; Water de Gruytr, Berlin.
- ÖZBENLİ, E. ve TÜDEŞ, T., (1989) Ölçme Bilgisi; Pratik Jeodezi KTÜ, Genel Yayın sayı 87.
- PRIEST, S. D. (1993) Discontinuity analysis for rock engineering; Chapman and Hall.

METEOROLOJİK BİLGİLERİN YETERSİZ OLDUĞU BÖLGELERDE YERALTI SUYU BİLANÇOLARININ HAZIRLANMASI

Serdar ORAN *

ÖZ - Hidrojeoloji çalışmalarında, meteorolojik bilgilerle yeraltısuyu havzasından bir yılda alınabilecek optimum su miktarı veya emniyetli verim bulunur. Bu incelemede, meteorolojik bilgilerin yetersiz veya hiç olmadığı bölgelerde yeraltısuyu bilançolarının nasıl yapılabileceğini gösteren yöntemler açıklanmıştır.

ABSTRACT - Meteorological data are used in hydrogeologic studies in order to prepare groundwater budget. Using these data, optimum quantity of groundwater withdrawn from groundwater basin per year or safe yield can be determined. In this study, different methods in preparing groundwater budgets for the areas providing none or insufficient data are explained.

GİRİŞ

Bir ovadaki yeraltısuyu bilançosu belirli bir dönem için şu denklemle ifade edilir.
Yeraltısuyu beslenimi=Yeraltısuyu boşalımı $\pm$ rezerv değişimi

Denklemin, beslenim kısmında akifer alanına düşen yağış, göl ve akarsulardan beslenim, diğer bir akiferden yanal beslenim, sulamadan geri dönen sular, kanalizasyon ve şebeke kayıpları ve yapay beslenim yer alırken; boşalım kısmında akarsu, deniz, göl ve kaynaklara olan akış, buharlaşma-terleme kayıpları, komşu akiferlere yanal olarak iletilen su ve değişik amaçlarla yapılan yapay boşalım yer almaktadır.

Tüm beslenim ve boşalımı denetleyen parametreleri denklemde tek tek hesaplama zorunluluğu yeraltısuyu bilançoları yapımını güçleştirmektedir. Bu nedenle, bu tür bilanço yapımlarından farklı olarak, havzadaki yeraltısuyu düzey değişimi kaynak veya akarsuya olan yeraltısuyu akımının ölçülmesi, yeraltısuyu haritaları yardımı ve bahsedilen

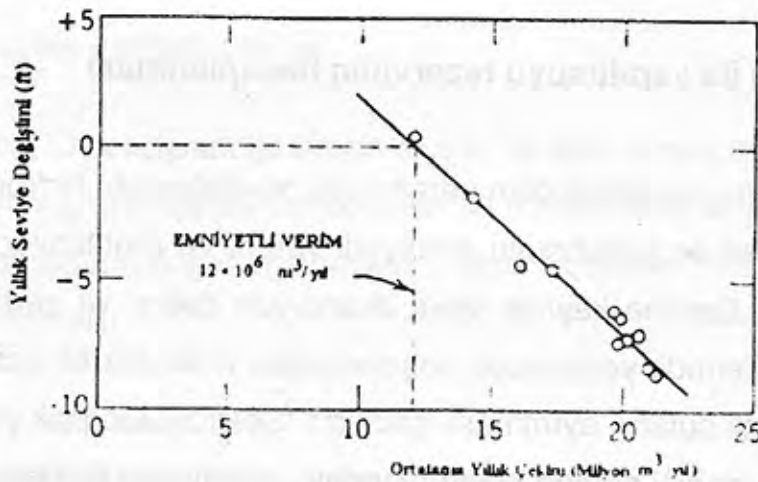
* Arş. Gör. Dr., İ. T. Ü. Maden Fakültesi, Uygulamalı Anabilim Dalı

birkaç yöntemin karma olarak kullanılması ile havzadaki yeraltısuyu miktarı ve optimum kullanımı tesbit edilmektedir. Bu yöntemlerden literatürde yeralan en önemlileri aşağıda özetlenmiş ve yeni yöntemler önerilmiştir.

YERALTISUYU DÜZEY DEĞİŞİMİ İLE EMNİYETLİ VERİMİN HESAPLANMASI

Hill yöntemi

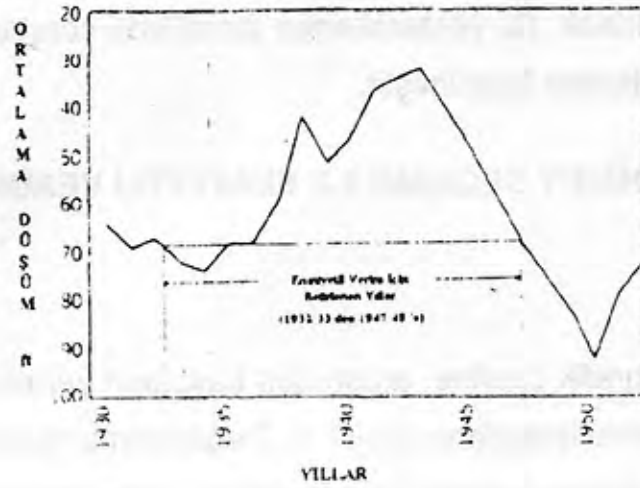
Bu yöntemde bir grafik üzerine, araştırılan havzanın yeraltısuyu düzey değişimleri ve yıllık yeraltısuyu üretimi işaretlenir (Şekil 1). Değerlerin birleştirilmesi ile düz bir doğru elde edilir. Grafikte su düzey değişiminin sıfır olduğu yere karşılık gelen yıllık çekim değeri emniyetli verimdir.



Şekil 1. Hill yöntemi ile emniyet veriminin bulunması

Sıfır yeraltısuyu düzey değişimi yöntemi

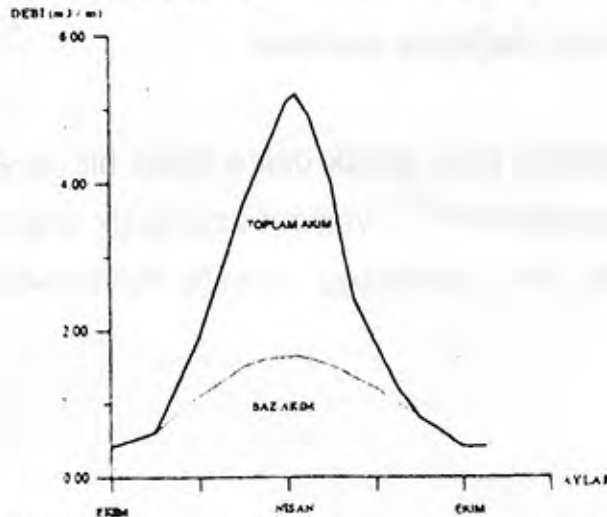
Bir havzada en az birkaç yıllık olmak üzere belirli bir periyodun başlangıcında ve sonunda yeraltısuyu düzeyi aynı olursa, yağışın uzun yıllık ortalamasında olması koşulu ile, o havzadaki ortalama yıllık yeraltısuyu tüketimi havzanın emniyetli verimi olarak kabul edilir (Şekil 2).



Şekil 2. Sıfır yeraltısuyu değişim yöntemi ile emniyetli verimin bulunması

Baz akım analizi ile yeraltısuyu rezervinin hesaplanması

Kaynak veya akarsu ile drene olan yeraltısuyu havzalarında hidrograf üzerinde yapılan baz akım analizleri ile yeraltısuyu emniyetli verimi ve üretilebilecek miktarı tesbit edilmektedir. Bir grafik üzerine kaynak veya akarsuyun debisi ve zaman işaretlenerek elde edilen hidrograf üzerinde yeraltısuyu boşalımından farklı olarak akarsu veya kaynağın taşıdığı diğer kökenli suların ayrılması işlemidir (Şekil 3). Değişik yöntemler uygulanarak çizilen baz akım çizgisi altında kalan alandaki yeraltısuyu miktarı, baz akım analizinin yapıldığı tarihler arasında o havzadan toplam akarsu veya kaynağa boşalan su miktarına eşittir ve bu miktar gözönüne alınarak emniyetli verim hesaplanır.



Şekil 3. Akım hidrografı ve baz akım

Akarsu veya kaynak akımı ve yeraltısuyu düzey değişimi ile yeraltısuyu rezervinin bulunması

Bir akarsu veya kaynakla boşalan ovalarda su düzeyi değişiminin gözlenebileceği kuyular yardımı ile bu ova içerisinde toplam su miktarı ve emniyetli verimi tesbit edilebilir. Yıl içerisinde kurak bir periyod olan Temmuz-Ağustos-Eylül aylarında uygulanabilecek bu yöntemde; yeraltısuyu genel bilanço denklemi, bu aylar için yazıldığında, denklemin beslenme kısmında yağış, akış, süzülme gibi girdilerden söz edilemeyeceği için denklem şu şekilde yazılır,

$$\text{Beslenme} = \text{Boşalma} \pm \text{rezerv değişim miktarı}$$

Beslenme söz konusu aylar için sıfıra eşittir. Bu nedenle denklem,

$$\text{Boşalma} = \text{Rezerv değişim miktarı}$$

şeklinde ifade edilir. Ova kaynak ile drene oluyor ve suni boşalım ihmal edilebilir düzeyde ise bu aylar için toplam kaynaktan boşalan su miktarı, akarsu ile drene oluyor ise bu aylar için akarsuya toplam boşalan su miktarı, rezerv değişim miktarına eşittir. Akiferdeki rezerv/değişim miktarı;

$$\Delta r = A \times \Delta h \times S_y = \Sigma Q$$

$$A = \text{Akifer alanı } \text{IL}^2$$

$$\Delta h = \text{Kurak dönem için yeraltısuyu düzey değişimi } \text{L}$$

$$S_y = \text{Özgül verim } \%$$

$$\Sigma Q = \text{Toplam boşalan su miktarı } \text{IL}^3$$

$$\Delta R = \text{Akifer rezervi değişimi } \text{IL}^3$$

$$\Delta H = \text{Yıllık yeraltısuyu düzey değişimi } \text{L}$$

$$S_y = \Delta r / A \times \Delta h = \Sigma Q / A \times \Delta h \quad \text{ve} \quad \Delta R = A \times \Delta H \times S_y \quad \text{olacaktır.}$$

Bu yöntemle akiferin özgül verimi bulunarak su düzeyi değişimine karşılık gelen, akiferin rezerv değişimi ve emniyetli verim bulunur.

Bu incelemede, literatürde mevcut olan yukarıdaki yöntemlerden başka, ya doğal olarak oluşmuş kapalı havzalarda veya yeraltısuyu üretiminin ardından yeraltısı düzeyinin düşmesiyle dışa boşalımı önlenerek kapalı havza konumuna ulaşmış olan yeraltısuyu havzalarında yeraltısuyu bilançolarının yapılma yöntemleri önerilmiştir.

ÖNERİLEN YÖNTEMLER

Kapalı havzalar

Taban ve yanlarından tümüyle geçirimsiz jeolojik birimlerle sınırlı olan kapalı havzalarda, yan ve taban kayalarla yeraltısuyu alışverişi olmadığı için beslenme ve boşalım tümüyle meteorolojik koşullarla ve yapay olarak gerçekleşmektedir. Yan ve taban kayalar ile su alışverişi kaynak ve akarsu gibi dışa boşalım olmadığı için bilanço denkleminde yalnız meteorolojik girdiler ve rezerv değişimi görülür. Bu tür kapalı havzalarda boşalım, havzanın ortasında oluşan göl veya bataklıktan buharlaşma şeklinde olur. 0. havzanın bilançosu genel olarak göl veya bataklığın bilançosu olarak değerlendirilir (Şekil 4). Göl bilançosu

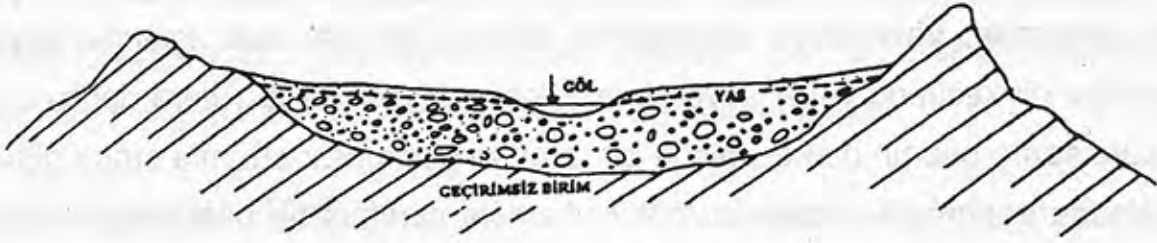
$$\text{Beslenme} = \text{Boşalım} \pm \text{rezerv değişimi}$$

$$\text{Yağış} + \text{akış} + \text{yeraltısuyu} = \text{Buharlaşma} \pm \text{rezerv değişimi}$$

olacaktır. Bilanço yıl içindeki kurak periyod olan Temmuz, Ağustos, Eylül ayları için yazıldığında; yağış ve akış bu aylarda ihmal edilebileceği için bilanço şu şekilde olacaktır.

$$\text{Yeraltısuyu} + \text{rezerv değişimi} = \text{Buharlaşma}$$

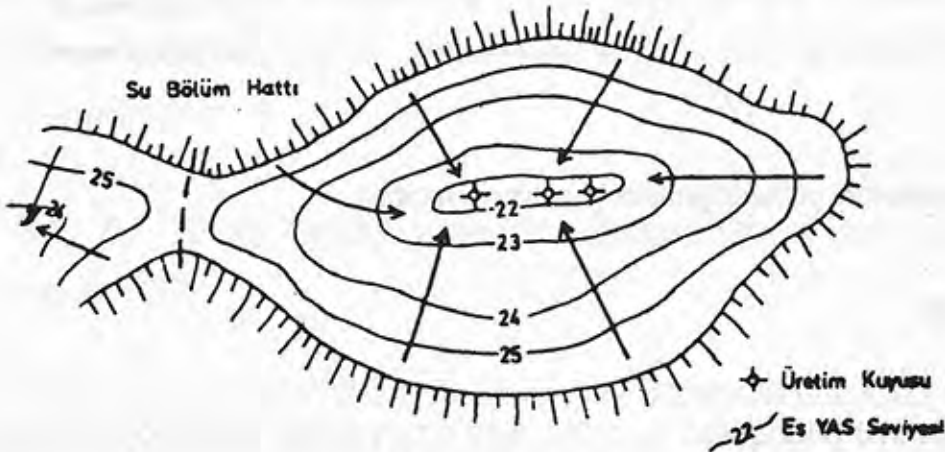
Rezerv değişimi göldeki düzey gözlemlerinden, buharlaşma ise göl yakınına konulacak olan buharlaşma kabı (Class A Pan) yardımıyla okunarak bilançonun yapıldığı zaman aralığı için göle gelen yeraltısuyu miktarı bulunur ve bu değer yardımıyla kapalı havzanın bir yıllık yeraltısuyu boşalımı hesaplanabilir.



Şekil 4. Kapalı havza konumunu gösterir şematik kesit

Dar kesitli boşalımı olan yeraltısuyu havzalarındaki emniyetli verimin bulunması

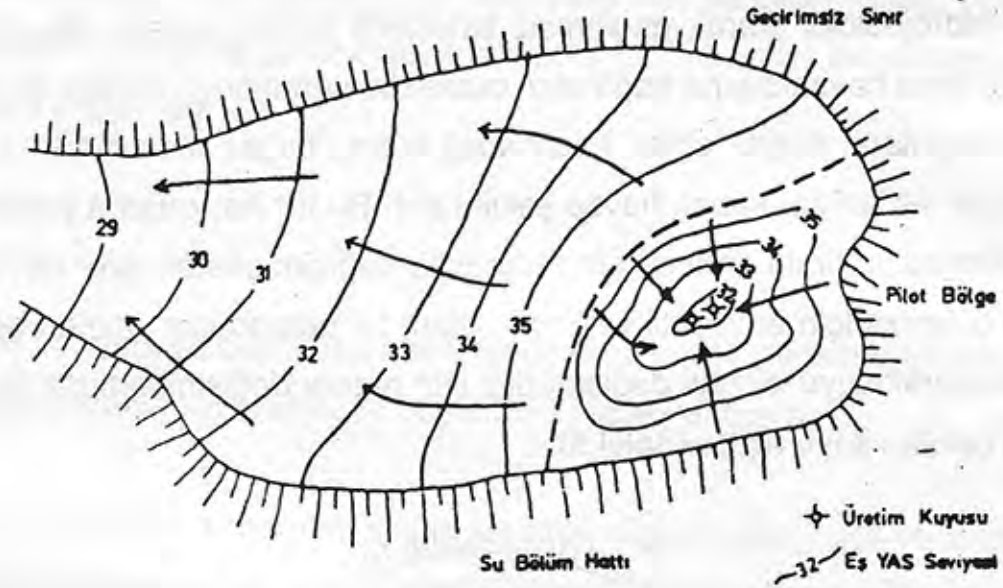
Üç tarafı hidrojeolojik olarak geçirimsiz birimlerle sınırlı, sadece dar bir boğazla başka bir ovaya veya havza dışına bağlı olan ovalarda, yeraltısuyu üretimi ile birlikte yeraltısı tablası kuyulara doğru eğim kazanacağından, boğaz kesiminde yeraltısuyu bölüm hattı oluşur ve havza, kapalı havza şeklini alır. Bu tür havzalarda yeraltısuyu düzeyi, uzun bir periyod üretimin ardından her hangi bir değişim göstermiyor ise, yıllık tüketilen su miktarı o havza için emniyetli verimdir. Uzun bir periyod için yazılan genel bilanço denkleminde yeraltısuyu düzeyi değişmediği için rezerv değişimi sıfırdır. Bu nedenle yıllık beslenim, çekilen suya eşittir (Şekil 5).



Şekil 5. Dar kesitli boşalımı olan havzalarda yeraltısuyu üretimi ile birlikte oluşan şematik yeraltısuyu haritası

Pilot bölge yöntemi

Bu yöntemde, yeraltısuyu işletmesine açılmış bir havzada, işletme kuyularının yoğun olduğu bir kesimde yeraltısuyu akımı işletme süresince kuyulara doğru olacağından bir süre sonra ovanın bu kesiminde bir taraftan geçirimsiz ortamla sınırlı diğer taraftan da işletme nedeniyle ovanın su bölüm hattıyla ayrılmış bir pilot bölge oluşacaktır. Dört tarafı sınırlı bu pilot alan içerisinde üretilen yeraltısuyuna karşılık, uzun süredir su düzeyi değişmiyor ise bu alanda beslenme ve boşalım dengededir. Bu nedenle bu alan için çekilen toplam su miktarı yeraltısı düzeyi değişmediği sürece, emniyetli verimdir. Bu pilot alanda, birim alanda gerçekleşen süzülme miktarı alınarak ovanın beslenimi tahmin edilir (Şekil 6).



Şekil 6. Pilot bölge yöntemini gösterir şematik yeraltısuyu haritası.

SONUÇLAR

Klasik yeraltısuyu bilançoları hazırlanırken uzun süreli meteorolojik bilgilere, yeraltısuyu gözlemlerine ve su çekim değerlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bazı hallerde bilgilerin temini de, meteoroloji istasyonuna olan uzaklık, yükseklik farkı gibi etmenler nede-

niyle sınırlı kalmakta ve yapılan bilançoların gerçeğe yakınlığı da azalmaktadır. Yine klasik yöntemlerle, süzülme katsayısı, akışa geçen yağış miktarı, komşu akiferlerle olan yeraltısuyu alışverişinin saptanmasındaki zorluklar bu yöntemlerin kullanılabilirliğini azaltmakta ve doğru sonuçlar elde edilmesini zorlaştırmaktadır.

Bu incelemede Hill yöntemi, sıfır yeraltısuyu değişim yöntemi, baz akım yöntemi ve akarsu veya kaynak akımı ve düzey değişimi ile yeraltısuyu rezervinin bulunması yöntemleri de klasik yöntemlere nazaran daha güvenilir sonuçlar vermesine rağmen, uygulama aşamasında uzun süreli çekim, yeraltısı düzeyi veya kaynak-akarsu akım değerlerine gereksinim duyulmaktadır. Bu incelemede önerilen yöntemler ile sadece birkaç aylık gözlemler ile suni boşalmı olmayan ovalarda yeraltısuyu bilançoları yapılabilir.

YARARLANILAN KAYNAKLAR

- CASTANY, G. (1969) Yeraltısuları hakkında pratik uygulamalar. DSI yayın no. 638/II/77.
- DUMLU, O. ve ÖVÜL, G. (1976) Yeraltısuyu işletme sahalarında gelecekteki su seviyesinin tayini; DSI Teknik Bülteni.
- GÜNAY, G. (1984) Yeraltısuyunun oluşumu-özellikleri ve kontrol edilmesi; Mühendislik hidrojeolojisi semineri notları, EİE, Gen. Müd. Yayın no. 84.
- KORKMAZ, N. (1988) Uzun devreli yağış-yeraltısuyu seviye ilişkisinin araştırılması ve su kaynaklarının projelendirilmesine etkisi; İTÜ Fen Bilm. Enst. Doktora tezi (yayınlanmamış).
- LOHMAN, W., S. (1972) Ground-water hydraulics; Geological survey professional paper. 708.
- ORAN, S. (1992) Kovada Gölü (Isparta-Eğirdir) ve dolayının karst hidrojeolojisi; İTÜ Fen Bilm. Enst. Doktora tezi (yayınlanmamış).
- TODD, D., K. (1960) Ground water hydrology. John Wiley & , Sons.

ÖZ - Sayısal modelleme tekniklerini kullanarak, mühendislik jeolojisi içerisinde yer alan birçok problemin çözümüne önemli katkılarda bulunmak mümkündür. Bu yazıda çeşitli sayısal modeller hakkında bilgi verilmiş ve bu yöntemlerin yer bilimlerinde kullanılabilirliği tartışılmıştır.

ABSTRACT - It is possible to make a contribution to find out the solution of some problems in engineering geology by using numerical models. In this paper a brief and general information is given about the popular numerical models and credibility of them in earth sciences has been discussed.

GİRİŞ

İnsanlığın varolduğu günden bu yana, doğa ile olan ilişkiler hep süregelmiştir. Bu anlamda, kaya ve zemin ile uğraşmak bu ilişkinin önemli bir parçası olmuştur. Tarım ve basit silah yapımı ile başlayan zemin ve kayayı tanıma süreci, günümüzde gerek yer üzerinde gerekse yeraltında büyük mühendislik yapılarının inşası ile devam etmektedir.

Doğal malzemelerin, jeolojik ve jeoteknik özellikleri ile mühendislik yapılarının teknolojik özellikleri tüm uygulamalarda güvenlik ve ekonomiyi belirleyen faktörler olarak bilinmektedir (AKYOL, 1992). Aşağıda belirtilen bazı nedenlerden dolayı, sözü edilen bu parametrelerin en optimal şekilde ortaya konulması gerekmektedir:

-Artan ekonomik, sosyal ve teknolojik ihtiyaçlara paralel olarak mühendislik faaliyetlerinin tüm dünyada nitelik ve nicelik yönünden büyümesi,

-Çevre sorunlarının güncel hale gelmesi ile, tasarımcı ve mühendislerin uygulama-

* Y. Doç. Dr., S. D. Üniv. Müh. Mim. Fak. Jeoloji Böl., ISPARTA

larda daha fazla sınırlamalar ile karşı karşıya kalmaları,

-Daha önceki başarısız mühendislik uygulamalarından dolayı, tasarımcı ve mühendislerin yukarıda sözü edilen parametreler üzerinde daha dikkatli olma zorunlulukları.

Günümüz tasarımcı ve mühendislerinin önceki meslekdaşlarına göre en büyük avantajı, bilgisayar yardımı ile matematiği daha etkin olarak kullanabilmeleri şeklinde ifade edilebilir. Bunun doğal sonucu olarak, yerbilimleri ile ilgili projelerin tasarım ve uygulamalarında sözü edilen bu teknolojik imkanları etkin ve yaygın olarak kullanılmak mümkün olmaktadır.

SAYISAL YÖNTEMLER

Yerbilimlerinde daha önceki tasarımların, hazırlanması zor ve zaman alan fiziksel modeller kullanılarak veya daha yaygın olarak bazı formülasyon esas alınarak deneme-yanılma yöntemi ile yapıldığını gözlemlemek mümkündür. Bu ise pratik olarak uygulamalarda ekonomiden ödün verilmesi anlamına gelmekte idi.

Planlanan jeoteknik projenin boyutları küçük olduğunda da, yukarıdaki sayısal yöntemleri kullanmak mümkündür. Bu tür uygulamalarda, jeolojik malzemelerin elastik davrandıkları kabul edilerek (ki bu kabul büyük projelerde çok fazla basitleştirme anlamına gelmektedir) çözümler sağlanabilir. Bu sonuçlar belirli ölçüler içerisinde kullanılabilir.

Sayısal yöntemler, mühendislik jeolojisinde esas olarak yük (çeşitli yapay ve doğal etkenlerle oluşan kuvvetler-kaya ve zeminin kendi ağırlığı, sıvı basıncı vb.) deformasyon (sözü edilen kuvvetler sonucu jeolojik malzemede meydana gelen şekil değiştirmeler) problemlerini inceler. Bunun yanında, sayısal yöntemler sınırların yeraltındaki davranışlarının araştırılmasında, akifer ortamlarının modellenmesi şeklinde yaygın bir kullanım alanı bulmuştur.

Jeoteknik sorunların çözümünde yaygın olarak kullanılan sayısal yöntemler aşağı-

larda daha fazla sınırlamalar ile karşı karşıya kalmaları,

-Daha önceki başarısız mühendislik uygulamalarından dolayı, tasarımcı ve mühendislerin yukarıda sözü edilen parametreler üzerinde daha dikkatli olma zorunlulukları.

Günümüz tasarımcı ve mühendislerinin önceki meslekdaşlarına göre en büyük avantajı, bilgisayar yardımı ile matematiği daha etkin olarak kullanabilmeleri şeklinde ifade edilebilir. Bunun doğal sonucu olarak, yerbilimleri ile ilgili projelerin tasarım ve uygulamalarında sözü edilen bu teknolojik imkanları etkin ve yaygın olarak kullanılmak mümkün olmaktadır.

SAYISAL YÖNTEMLER

Yerbilimlerinde daha önceki tasarımların, hazırlanması zor ve zaman alan fiziksel modeller kullanılarak veya daha yaygın olarak bazı formülasyon esas alınarak deneme-yanılma yöntemi ile yapıldığını gözlemlemek mümkündür. Bu ise pratik olarak uygulamalarda ekonomiden ödün verilmesi anlamına gelmekte idi.

Planlanan jeoteknik projenin boyutları küçük olduğunda da, yukarıdaki sayısal yöntemleri kullanmak mümkündür. Bu tür uygulamalarda, jeolojik malzemelerin elastik davrandıkları kabul edilerek (ki bu kabul büyük projelerde çok fazla basitleştirme anlamına gelmektedir) çözümler sağlanabilir. Bu sonuçlar belirli ölçüler içerisinde kullanılabilir.

Sayısal yöntemler, mühendislik jeolojisinde esas olarak yük (çeşitli yapay ve doğal etkenlerle oluşan kuvvetler-kaya ve zeminin kendi ağırlığı, sıvı basıncı vb.) deformasyon (sözü edilen kuvvetler sonucu jeolojik malzemede meydana gelen şekil değiştirmeler) problemlerini inceler. Bunun yanında, sayısal yöntemler sıvıların yeraltındaki davranışlarının araştırılmasında, akifer ortamlarının modellenmesi şeklinde yaygın bir kullanım alanı bulmuştur.

Jeoteknik sorunların çözümünde yaygın olarak kullanılan sayısal yöntemler aşağı-

daki gibi sıralanabilir:

- Sonlu elemanlar yöntemi (Finite Element Method)
- Sınırlı elemanlar yöntemi (Boundary Element Method)
- Ayrık elemanlar yöntemi (Discrete Element Method)
- Diğer yöntemler
- Karma modeller

İlk iki yöntem ile karma modeller tüm jeolojik malzemelerin ve mühendislik yapılarının modellenmesinde kullanılabilmesine karşın, ayrık elemanlar yöntemi ise blok özelliği gösteren kaya ortamlarının davranışlarını belirlemek için daha uygundur. Bununla birlikte, tüm yöntemler yaklaşık bir çözüm önerir ve herbirisinin olumlu ve olumsuz özellikleri vardır.

SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ

Sonlu elemanlar yöntemi, uçak endüstrisinin 1940'larda ilk kullanımından sonra (PANDE, vd., 1990) mühendislikte en yaygın olarak kullanılan yöntem haline gelmiş ve elektronikten yerbilimlerine kadar kendisine birçok sahada uygulama alanı bulmuştur.

Sonlu elemanlar yönteminde yapı, sistematik olarak küçük ve basit birimlere bölünür ve bunların herbirisine **eleman** denir. Bu elemanlar, bağlantı noktalarında birleşerek bir ağ oluştururlar (Şekil 1). Elemanlar değişik şekillerdedir. İki boyutlu çözümlerde, üçgen veya dikdörtgen, üç boyutlu çözümlerde tetrahedral ve biriket gibi elemanlar kullanılır. Elemanların sayısı arttıkça, probleme daha iyi yaklaşım yapılabilir. Ancak eleman sayısını belirlemek için herhangi bir kural yoktur.

Yapıya ait kuvvet-yerdeğiştirme veya hidrolik eğim-permeabilite ilişkileri bir seri denklemlerle tanımlanır. Örneğin yük ve yerdeğiştirme ilişkisi 1. eşitlikte verilmiştir.

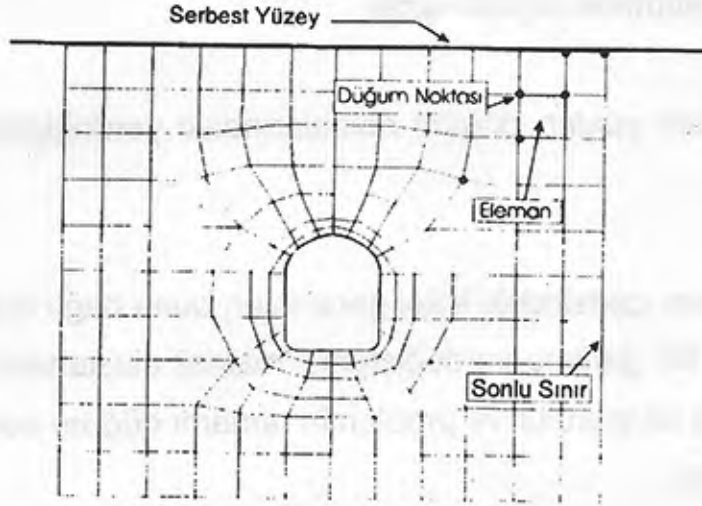
$$(F) = IKI (d)..... (1)$$

Burada;

(F) Düğüm noktalarındaki yüklerin vektörleri

IKI Düğüm noktalarındaki yerdeğiştirmelerin vektörleri

(d) Yapının tamamının rijitlik matrisi



Şekil 1. Sonlu elemanlar yöntemi için hazırlanmış bir tünele ait model

Bir sonlu elemanlar programında, elemanların rijitlik özelliklerinin derlenmesi yedi aşamada verilebilir (ROCKEY, vd., 1983):

I. Uygun bir koordinat sistemi ve düğüm noktalarının numaralama sistemi seçilir. Elemanların ne kadar serbest olduğu bilindiğinde, eleman düğüm noktalarının yerdeğiştirme, faktörü (d) ve düğüm noktası yük faktörü (F) belirlenir. Bir eleman için rijitlik matrisi IKI eşitlik 1 ile tanımlanır.

II. Elemanların içerisindeki tüm düğüm noktalarındaki yerdeğiştirme durumunu tanımlayan yerdeğiştirme fonksiyonu seçilir.

III. Düğüm noktalarının yerdeğiştirmesi gözönüne alındığında, her bir düğüm noktasındaki yerdeğiştirme durumu elde edilir.

IV. Elemanın içindeki herhangi bir düğüm noktasındaki gerilmeler (strain) bu düğüm noktasındaki yerdeğiştirmeler ile düğüm noktasındaki yerdeğiştirmeler ilişkilendirilir.

V. Elemanın içindeki herhangi bir düğüm noktasındaki yerdeğiştirmeler ile düğüm noktasındaki yerdeğiştirmeler ilişkilendirilir.

VI. Düğüm noktalarındaki yükler, düğüm noktalarındaki yerdeğiştirmeler ile ilişkilendirilir.

VII. Son olarak, elemanın içerisindeki içsel gerilmeler, buna bağlı düğüm noktalarının yerdeğiştirmesi ile ilgili bir gerilme-yerdeğiştirme matrisi oluşturulur. Daha sonra, içsel gerilmeler bir defa daha oluşturulur ve problemin tamamı düğüm noktası yerdeğiştirmelerine bağlı olarak çözülür.

Sonlu elemanlar yöntemi için oluşturulan bir veri dosyasındaki aşağıdaki özelliklerin mutlaka bulunması gerekir.

- Eleman topolojisini ve düğüm noktası geometrisini içeren ağ özellikleri,
- Deformasyon ve dayanım indislerini içeren malzeme özellikleri,
- Düğüm noktalarının hareket miktarlarını ve yönünü sınırlayan gerinmesizlik sınırları,
- Yapının maruz kalacağı yükleme şartları.

Sonlu elemanlar, çok çeşitli problemlerin çözümünde oldukça esnek bir yöntemdir. Özellikle elastik olmayan, anizotropik ve heterojen ortamların lineer olmayan davranışlarını incelemede güçlü bir yöntemdir. Sonlu elemanlar ile, doğrusal davranış göstermeyen kaya-zemin ortamı (vizkoz, plastik, vb.) ve mühendislik yapıları (büyük deformasyonlar, bükülme, vb.) modellenenir. Yöntem, aynı zamanda süreksizlikleri, zamana bağlı değişimleri (gerilme, gerinme, vb.) modelleyebilir.

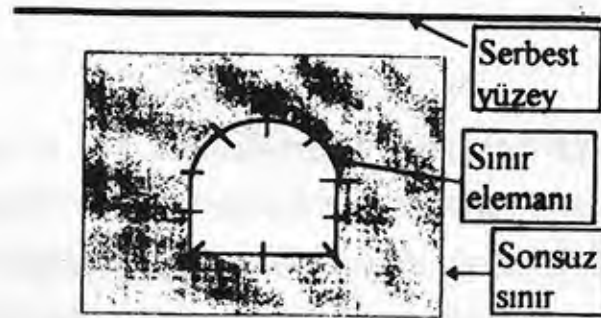
Buna rağmen, sonlu elemanlarda en uygun yapıyı (ağı) oluşturmak birçok durum-

da kolay değildir. Deneyim gerektirir. Buna ilave olarak, modellenecek sınırların nereye kadar uzatılacağı ayrı bir bilgi ve dikkat gerektirir. Bu mesafenin kazıdan etkilenmeyecek kadar uzak olması gerekir. Bu mesafenin çok uzun alınmasından veya ayrıntılı analiz gerektiği zamanlarda eleman sayısının artması kaçınılmazdır. Böyle durumlarda, bilgisayar kullanım zamanı artmakta ve maliyetler yükselmektedir.

SINIRLI ELEMANLAR YÖNTEMİ

Sınırlı elemanlar yöntemi yaygınlaşma yolunda olan bir sayısal çözümleme tekniğidir. CROUCH ve STARFIELD (1983) sınırlı elemanlar yöntemini, ayırık elemanlar ve sonlu elemanlar yöntemlerinin gölgesinde büyümüş bir sayısal **Sindrella** olarak tanımlamışlardır. Aynı yazarlar bunun nedenini, sonlu elemanlar bilgisayar programlarının çok sayıda ve genel kullanıcılar için yazılmış olmasına karşın, sınırlı elemanlar programlarının sınırlı sayıda ve özel amaçlar için yazılmış olması olarak göstermişlerdir.

Sonlu elemanlar yönteminde sadece sınırların (örneğin: Şekil 2'de tünel yüzeyleri) tanımlanması gerekir. Bunun için, elemanlar alt bölümlere ayrılır ve bu elemanların her biri sonlu sayıda düğüm noktasına sahiptir (Şekil 2). İki boyutlu çözümlerde, çizgisel elemanlar ve üç boyutlu çözümlerde yüzey elemanları kullanılır. Denklemler, sınırdaki düğüm noktalarında bilinmeyenlerin (düğüm noktalarının yer değiştirmesi vb.) bulunması için çözülür. Ara noktalar ise interpolasyon fonksiyonları kullanılarak belirlenir.



Şekil 2. Sonlu elemanlar yönteminin bir tünel örneğinde gösterimi

Çözümleme tekniği açısından düşünüldüğünde, aynı tür bir problem için sınırlı elemanlar yönteminde, sonlu elemanlar metoduna göre daha küçük bir cebirsel denklem sistemi kullanılır. Sınırlı elemanlar yönteminin kullandığı denklem matrisleri grup halinde ve simetrik değildir ve bu nedenle denklem sayısı oldukça azdır. Logaritmik ve trigonometrik ifadeler kullanıldığında ise programın çözüm zamanı oldukça uzar.

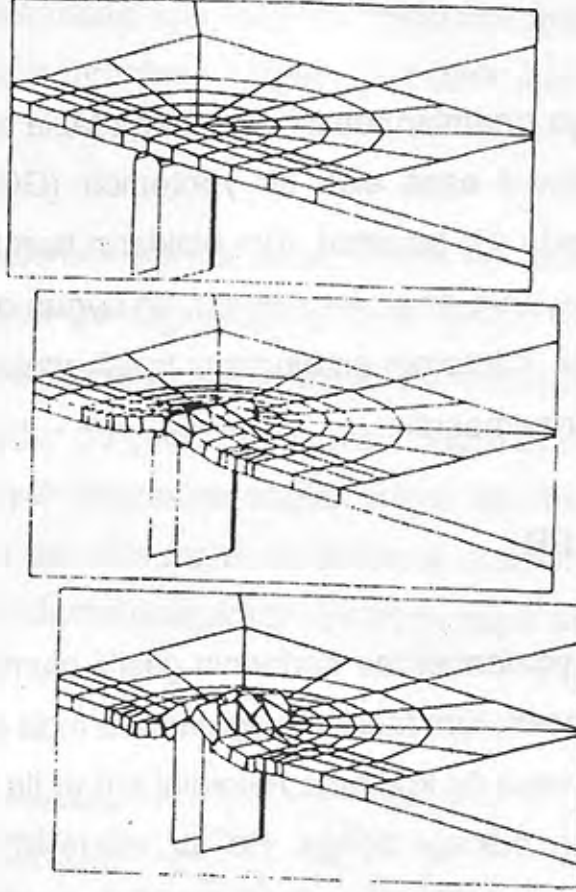
Veri hazırlamada en büyük zorluk, modellenen malzemenin özellikleri değişince, sınır elemanlarının da değişme zorunludur. Eğer sözü edilen malzeme homojen ise veri hazırlama büyük sorun oluşturmaz. Buna karşın, model farklı özelliklerdeki çeşitli malzemelerden meydana geliyorsa, veri hazırlamanın zorluğu kendisini gösterir. Yöntem, bu özelliğinden dolayı, homojen doğrusal elastik üç boyutlu çözümlerde etkin olarak kullanılabilir.

AYRIK ELEMANLAR YÖNTEMİ

Farklı elemanlar yöntemi, sonlu elemanlar ve sınırlı elemanlar yönteminde olduğu gibi ortamın sürekli değil, süreksiz olduğu (bloklı kaya ortamının davranışları) esas alınarak oluşturulmuştur. Yükler uygulandığında, eleman kontaklarındaki kuvvetler zamana bağlı olarak değiştirilir. Herbir elemanın dinamik denge denkleminin çözümü, kontakları ve sınırdaki şartları sağlayıncaya kadar devam eder. Şekil 3'de ayrik elemanlar kullanılarak, içsel sürtünme açısı 30° , kesme ve sökölme dayanımları 1 M Pa olan levha şekilli, katı ve gevrek bir malzemenin alttan bir gerilmeye maruz kalması modellenmiştir (PANDE vd., 1990). Bu modelde, blok hareketlerini üç aşamada kolayca izlemek mümkündür.

Farklı elemanlar yönteminin ilk uygulamalarında, katı elips veya disk şeklinde elemanlar kullanılmasına karşın, son zamanlardaki programlarda ise deformasyona uğrayabilen çeşitli eleman şekilleri kullanılabilmektedir. Çözüm sırasında, malzemenin kırılma kriteri esas alınarak, elemanlar kullanıcının herhangi bir müdahalesine gerek olmaksızın birbirinden ayrılabilirler. Bu özellik, yöntemin en güçlü yönünü oluşturur. Bloklı kaya ortamında, deformasyon ve kırılma mekanizmaları çok açık şekilde gözlenebilir.

Yöntemin en büyük zorluğu, malzeme özelliklerini tanımlamak için seçilen parametreleri doğru ve dikkatli belirlemektir. Bir diğer önemli sorun ise, işlemin ne kadar devam edeceği ve ne zaman sona ereceğidir. Farklı elemanlar yöntemini etkili olarak kullanabilmek için oldukça fazla deneyim gereklidir.



Şekil 3. Gevrek bir malzemenin ayırık elemanlar yöntemi ile modellenmesi (PANDE, vd., 1990)

DİĞER YÖNTEMLER

Çok yaygın olmamakla birlikte, yerbilimlerindeki sayısal modelleme çalışmalarında kullanılan başka yöntemlerin varlığından da söz edilmelidir. Bu nedenle, burada iki yöntem (sonlu farklar yöntemi ve blok teorisi) hakkında kısaca bilgi verilecektir.

Sonlu farklar yöntemi, içerisinde bulundurulduğu asıl diferansiyel denklemleri,

uygun sonlu farklar yaklaşımları ile değiştirme esasına dayanan genel bir sayısal modelleme tekniğidir. Yöntem yer içindeki dalga yayılımı ve dinamik yükleme gibi problemlerin (dinamik) çözümünde oldukça başarılıdır. Buna karşın, sonlu farklar yöntemi, süreksizliklerin ve karmaşık mühendislik yapılarının modellenmesinde yaygın olarak kullanılmamasına rağmen, ayırık elemanlar yönteminin temelini oluşturmuştur (BOUGHRAROU, 1992).

Blok teorisi, sert kaya ortamlarında iki veya daha fazla süreksizlikle sınırlandırılmış kaya bloklarının hareketlerini esas alan bir yöntemdir (GOODMAN, 1989). Yöntem, özellikle bir yeraltı kazısında (üç boyutta), tüm blokların hareketinin anahtar blok(lar) ile kontrol edildiği esasına dayanır. Analizler sonucu, en uygun destek, kazı yönü ve şeklini tahmin etmek mümkündür. Yöntemin en olumsuz tarafı, malzeme ve süreksizlik özelliklerini gözönünde bulundurmamasıdır.

KARMA YÖNTEMLER

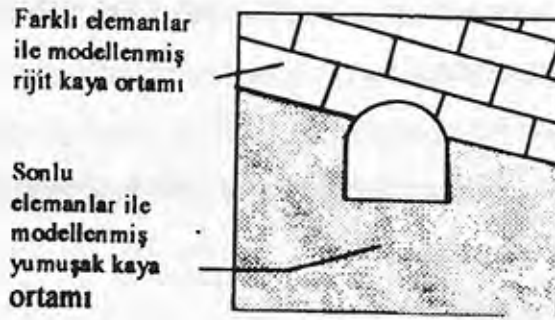
Yukarıda açıklanan yöntemlerden herbirinin çeşitli olumlu ve olumsuz tarafları bulunmaktadır. Tek bir yöntemin, tüm tasarım uygulamalarında çok uygun olduğu söylene-
mez. Bununla birlikte, iki veya üç kodlama tekniğini birbiri ile bağlantılı veya birlikte çalıştırmanın birçok yararları olacağı açıktır. Bu tür modeller, **karma** (hybrid) modeller olarak adlandırılır. Karma modeller sayesinde, birbiri ile bağlantılı sayısal işlemlerin en iyi özelliklerini kullanarak, bir yöntemle has birçok olumsuzlukların ortadan kaldırılması mümkün olmaktadır.

Karma program, ortamın sürekli veya süreksiz olmasına bağlı olarak, uygun bir sayısal yöntem ile problemin çeşitli kısımlarının modellenmesini mümkün kılar. Yerbilimleri ile ilgili çalışmalarda yaygın olarak kullanılan karma kodlar, yaygın olarak sonlu eleman-sınırli eleman, sınırli eleman-ayırık eleman ve sonlu eleman-ayırık eleman kodlarının kombinasyonlarından meydana gelmişlerdir.

Sonsuz bir ortam içerisinde yeralan bir yeraltı veya yüzey kazısı, sonlu elemanlar

kullanılarak, kazıdan belirli mesafedeki ortam ise sınırlı elemanlar kullanılarak modellenilebilir. Bu şekilde, kazı yakınındaki ortamın lineer olmayan davranışını, süreksizlikleri, birbirini takip eden kazıların etkilerini ve destekleri gözönüne almak mümkündür. Aynı zamanda, problemin dış sınırlarındaki kabullerden kaynaklanan belirsizlikler de ortadan kaldırılmış olacaktır. Kazıdan uzak bölgeler, sınırlı elemanlar yöntemi ile elastik ve sürekli bir ortam olarak modelleneneceği için, bilgisayardaki hesaplama zamanı büyük oranda azalacaktır. Böylece, sınırlandırılmış bölgeyi çok uzak mesafelere uzatmaya gerek kalmayacaktır.

Ayrıca eleman-sınırlı eleman karma kodu, çatlak ve eklem takımları bulunduran kayalarda gerilme dağılım ve yerdeğiştirme problemlerinin analizi için geliştirilmiştir. Ayrık elemanlar yöntemi ile bağlantılı çalışan sonlu elemanlı karma modeller, bir bölgede lineer olmayan sürekli, diğer bölgede ise süreksiz ortam özelliği gösteren kaya kütlelerinin modellenmesinde büyük avantajlar sağlar. Böyle bir modele ait örnek şekil 4'de gösterilmiştir. Şekilde, belirli bir süre boyunca deforme olabilen eğimli tavan ayrık elemanlar ile, tünelin büyük bir kısmının açıldığı yumuşak kaya birimi ise sonlu elemanlar ile modellenmiştir.



Şekil 4. Karma yöntem ile modellenmiş bir tünel ortamı

SAYISAL YÖNTEMLERİN KULLANILABİLİRLİĞİ

Yukarıdaki bölümlerde, çok yaygın bazı sayısal yöntemler hakkında açıklayıcı temel bilgiler sunuldu. Bu bilgiler ışığında, belirli kurallar gözönünde bulundurularak

GİRİŞ

Dünyada mühendislik çalışmalarında kullanılmak üzere değişik kaya sınıflamaları geliştirilmiştir. Bu bildiride Japon Elektrik Endüstri Merkezi Araştırma Enstitüsünün "Central Research Institute of Electric Power Industry" (CRIEPI) tarafından baraj yerlerinde yaygınca uygulanan kaya kütlelerini sınıflama ve değerlendirme sistemi tanıtılacak sonra da yapılan uygulamalardan örnekler verilecektir.

Bir barajın stabilitesinde yani duraylılığında, temeldeki kayaların geçirimsizliğinin ve taşıma direncinin bilinmesi baraj gövdesinin bizzat kendisinin stabilitesinin belirlenmesi kadar önemli bir mühendislik sorunudur. Bu nedenlerden dolayı, bu sınıflama sistemi diğer sistemlere göre baraj projelerinde farklılık ve önem arz etmektedir.

KAYA KALİTESİNİ SINIFLANDIRMA ELEMANLARI

Bir barajın projelendirilmesinde gerekli olan temel özellikler barajın tipine ve ölçeğine bağlıdır. Hangi tip ve ölçekte olursa olsun bir barajın taşıma direnci ve temelini geçirimsizliği barajın duraylılığı gözönüne alındığında daima bilinmesi gerekli olan parametrelerdir.

Temelin fiziksel ve mekanik özellikleri belli deneylerle elde edilen sonuçların bütün bir baraj temeline yansıtılması oldukça zordur. Bunun yanında baraj temellerinin jeolojik özellikleri de doğrudan doğruya gözlemin yapıldığı lokasyona, kayacın cinsine, ayrışma derecesine ve mevcut süreksizliklerinin konumuna bağlıdır. Bu nedenlerle bir baraj temelini tüm olarak ve bütün özellikleri ile değerlendirmek oldukça zordur. Bunun için de değişik sınıflama metodları geliştirilmiştir.

Bu sınıflama metodunda kaya kütlesi birincil ve ikincil faktörlere göre sınıflanır: Birincil faktörler kayacın oluşumu, mineralojik, petrografik durumu ile ilgilidir, bunlar: 1. Ayrışma ve 2. Sertliktir.

İkincil faktörler ise kayacın fiziksel durumu ile ilgilidir, bunlar: 1. Eklemlerin yoğun-

GİRİŞ

Dünyada mühendislik çalışmalarında kullanılmak üzere değişik kaya sınıflamaları geliştirilmiştir. Bu bildiride Japon Elektrik Endüstri Merkezi Araştırma Enstitüsünün "Central Research Institute of Electric Power Industry" (CRIEPI) tarafından baraj yerlerinde yaygınca uygulanan kaya kütlesini sınıflama ve değerlendirme sistemi tanıtılacak sonra da yapılan uygulamalardan örnekler verilecektir.

Bir barajın stabilitesinde yani duraylılığında, temeldeki kayaçların geçirimsizliğinin ve taşıma direncinin bilinmesi baraj gövdesinin bizzat kendisinin stabilitesinin belirlenmesi kadar önemli bir mühendislik sorunudur. Bu nedenlerden dolayı, bu sınıflama sistemi diğer sistemlere göre baraj projelerinde farklılık ve önem arz etmektedir.

KAYA KALİTESİNİ SINIFLANDIRMA ELEMANLARI

Bir barajın projelendirilmesinde gerekli olan temel özellikler barajın tipine ve ölçeğine bağlıdır. Hangi tip ve ölçekte olursa olsun bir barajın taşıma direnci ve temelin geçirimsizliği barajın duraylılığı gözönüne alındığında daima bilinmesi gerekli olan parametrelerdir.

Temelin fiziksel ve mekanik özellikleri belli deneylerle elde edilen sonuçların bütün bir baraj temeline yansıtılması oldukça zordur. Bunun yanında baraj temellerinin jeolojik özellikleri de doğrudan doğruya gözlemin yapıldığı lokasyona, kayacın cinsine, ayrışma derecesine ve mevcut süreksizliklerinin konumuna bağlıdır. Bu nedenlerle bir baraj temelini tüm olarak ve bütün özellikleri ile değerlendirmek oldukça zordur. Bunun için de değişik sınıflama metodları geliştirilmiştir.

Bu sınıflama metodunda kaya kütlesi birincil ve ikincil faktörlere göre sınıflanır: Birincil faktörler kayacın oluşumu, mineralojik, petrografik durumu ile ilgilidir, bunlar: 1. Ayrışma ve 2. Sertliktir.

İkincil faktörler ise kayacın fiziksel durumu ile ilgilidir, bunlar: 1. Eklemlerin yoğun-

luğu, 2. Eklemlerin açıklığı, 3. Eklem yüzeylerinin durumudur.

BARAJ TEMELLERİNİN STABİLİTESİNE ETKİYEN FAKTÖRLER

Baraj temelının stabilitesi başlıca iki temel safhayı kapsar;

- Taşıma gücünü dikkate alan stabilite,
- Geçirimliliği dikkate alan stabilite,

Taşıma gücünü dikkate alan stabilite, baraj gövdesinin ağırlığı nedeni ile temele uygulayacağı kuvvetten dolayı temel kayacın deformasyonuna karşı koyma gücünü kastetmektedir. Geçirimliliği dikkate alan stabilite ise temel kayacın yeraltı suyunun infiltrasyonu (rezervuar suyundan dolayı yeraltı suyundaki değişim) ve rezervuar suyundaki kaçaklardan dolayı kabarma yükselim (uplift), bu nedenle içsel sürtünmeden dolayı dayanımın azalması, borulanma nedeni ile kaya özelliklerinin bozulması ve benzer konularla ilişkilidir.

Temel kayaçların stabilitesinde sözkonusu olan jeolojik faktörler;

- Kayacın bizzat kendisinin dayanımı,
- Deformabilitesi,
- Kayaçda gelişmiş çatlak ve fissürlerin özellikleridir

Dayanım ve deformabilite kayacın mineralojik yapısı, alterasyon ve ayrışma derecesi, tane boyu, bünyedeki tanelerin bağlanması, içsel yapısı ve onu oluşturan tanelerin kompozisyonu ile ilişkilidir. Örneğin, tabakalanma ve şistozite gibi.

Fissür özelliklerinin stabiliteye etkisi ise şu konulara karşılık gelir;

- Yoğunluk,
- Anizotropi,
- Fissürlerin açıklık ve devamlılığı,
- Materyalin iç tabakalanma özellikleri,

Kayacın kalite sınıflamasında ve stabilitesinde bütün bu faktörler önemli parametrelerdir.

**ÇİZELGE 1- MASİF KAYAÇLARI MÜHENDİSLİK AMAÇLI SINIFLAMADA KULLANILACAK KAYA
KALİTE KRİTERLERİ (KİKUCHİ VE DİĞERLERİ, 1982'DEN SONRA)**

K a y a k a l i t e s i	Sağlam kayaçlar (Hard rocks)	Orta sağlam kayaçlar (Medium hard rocks)	Yumuşak kayaçlar (Soft rocks)
	Yaklaşık bir kriter olarak, sağlam kayadan alınan numunelerde uygulanan serbest basınç direnç değerleri "800 ile 1000 kg/cm ² "den fazladır. Çekiç ile kayaya vurulduğunda, metalik bir ses çıkarır.	Yaklaşık bir kriter olarak, orta sağlam kayacın taze yüzeyinden alınan numunelerde uygulanan kuru serbest basınç direnç değerleri "200 ile 300 kg/cm ² " den "800 ile 1000 kg/cm ² " arasındadır. Çekiç ile kayaya vurulduğunda çok sıkı bir ses çıkarır, fakat genelde metalik ses çıkartmazlar. Nisbeten yumuşaktırlar, çekicinin sivri ucu ile vurulduğunda yüzey hafif çöker.	Yaklaşık bir kriter olarak, yumuşak kayacın taze yüzeyinden alınan numunelerde uygulanan kuru serbest basınç direnç değeri "200 ile 300 kg/cm ² " den daha azdır. Çekiç ile kayaya vurulduğunda, ince ve zayıf ses çıkarır ve çökerler. Çekiçin sivri ucu ile vurulduğunda yüzeyleri kolaylıkla çöker.
A	Kaya kütlesi çok taze litolojik özellikte. Kaya kütlesini oluşturan mineraller ve taneler atmosferik ayrışmaya ve alterasyona uğramamışlardır. Bir kaç eklem gelişmiştir. Kayaç tamamıyla katı ve oldukça serttir.		
B	Kaya kütlesi taze litolojik özellikte. Kaya kütlesini oluşturan mineraller ve taneler çok az atmosferik ayrışmaya ve alterasyona uğramamışlardır. Eklemler seyrek gelişmiş ve emniyetli bir şekilde sıklıdır. Kayaç tamamıyla katı ve oldukça serttir.	Kaya kütlesi taze litolojik özellikte. Yapıyı oluşturan taneler ikincil ayrışma ve alterasyona uğramamışlardır. Eklemlerin fissürleri ve benzer şeyler az gelişmiştir. Kayaç tamamen katı ve sağlamdır. Bu durumda, yumuşak kayaçlara yakın güruba girenler yukarıdaki özellikler nedeni ile bu guruba dahil edilemezler, fakat C sınıfına dahil edilirler.	
C	Hemen hemen taze, katı ve sert litolojik özellikte. Kaya kütlesini oluşturan mineraller ve taneler içinde, feldispat ve mika ve amfibolit gibi renkli mineraller hafifçe ayrışmış ve sedimanter kayaçlarda feldispat ve mevcut taneleri oluşturan ikincil renkli mineraller hafifçe ayrışmış ve altere olmuş olabilir. Eklemler epeyi gelişmiş ve eklem yüzeyleri oldukça ayrışmış ve altere olmuş, renkleri bozulmuş. Bazen, ayrışmış malzemeler eklem yüzeylerine hafifçe yapışmış. Mamafî genelde eklemler sıkı, kayaç tamamıyla katı ve oldukça serttir.	Kaya kütlesi taze litolojik özellikte. Yapıyı oluşturan taneler ikincil ayrışma ve alterasyona uğramamışlardır. Eklemler seyrek gelişmiş ve emniyetli bir şekilde sıklıdır. Kayaç tamamıyla katı ve sağlamdır. Bu durumda; sağlam kayaçlara yakın güruba girenler B sınıfına dahil edilirler.	Bu gurubun kayaçları orta sağlam kayaçlara yakındır (yaklaşık olarak taze kayaçların kuru serbest basınç direnç değeri 150 kg/cm ²). Kaya kütlesi taze litolojik özelliktedir. Yapıyı oluşturan taneler ayrışma ve alterasyona uğramamışlardır. Eklemler az gelişmiştir.
D	Genelde çok az ayrışmış ve altere olmuş litolojik özellikte. Magmatik kayaçlarda feldispat ve kuvars hariç renkli mineraller ayrışmış, genellikle kahverengileşmiş veya kırmızımsı kahverengileşmiş. Sedimanter kayaçlarda feldispat ve mevcut taneleri oluşturan ikincil renkli mineraller ayrışmış ve altere olmuş, genelde magmatik kayaçlarda olduğu gibi kahverengileşmiş veya kırmızımsı kahverengileşmiş. Eklemler açık ve kil ve ayrışmış malzeme ile tutturulmuş. Bu sınıfın kayaçları genelde saç kılı gibi fissürlüdür. Bu nedenle, çekiç ile vurulduğunda parçalanır, saç kılı fissürler dağılırlar. Bunlara ilaveten kayaçlar litolojik özellik açısından tazedir, fakat çatlaklı durumu yansıtan dağılmış açık eklemlilerde bu sınıfa dahil edilirler.	Feldispat ve ikincil renkli mineraller gibi yapıyı oluşturan taneler çoğunlukla biraz ayrışmış ve alterasyona uğramışlardır. Ayrışma çok şiddetli değildir fakat kayaç orta sağlam olduğundan mutlak sertlikte çok az yumuşak izlenim verirler. Eklemler oldukça gelişmiştir ve onlardan pek çoğu biraz açıktır. Eklem yüzeyleri ayrışmış ve altere olmuş, renksizleşmiş ve genelde ayrışmış malzeme ince bir tabaka gibi eklem yüzeyinde tutturulmuştur. Bu gurubun kayaçlarında bazı uzunluklarda saç kılı gibi fissürler vardır. Bundan dolayı, çekiç ile vurulduğunda çökerler, saç kılı gibi fissürler dağılırlar.	Kaya kütlesi taze litolojik özelliktedir. Yapıyı oluşturan taneler ikincil ayrışma ve alterasyona uğramamışlardır. Eklemler az veya seyrekçe gelişmiş ve emniyetli bir şekilde sıklıdır. Kayaç bütünüyle biraz ayrışmıştır, fakat yumuşak olduklarından mutlak sertlikte yumuşak izlenim verirler. Bu durumda, bunlar kuru serbest basınç direnç değeri "60 ila 70 kg/cm ² " olanlar bu guruba dahil edilemezler fakat C sınıfına dahil edilebilirler.
E	Magmatik kayacı oluşturan mineraller veya sedimanter kayacı oluşturan taneler nisbeten ayrışmış. Kayaç tamamıyla genelde kahverengi veya kırmızımsı kahverengi eklemler açık, kil ve nisbeten ayrışmış malzeme ile tutturulmuş. Bu sınıfın kayaçlarında genellikle saç kılı gibi fissürler belirgin şekilde dağılmıştır. Bu nedenle, eğer çekiç ile hafifçe vurulursa kolaylıkla parçalanır ve dağılırlar. Bunlara ilaveten kayaçlar litolojik özellik açısından tazedir fakat taşlıkları durumu belirten açık eklemlilerde bu sınıfa dahil edilirler.	Yapıyı oluşturan taneler ayrışmış ve altere olmuş ve konsolidasyon derecesi nisbeten düşüktür. Orta sağlam kayaç olduğundan dolayı mutlak sertlikte oldukça yumuşak izlenim verirler. Eklemler oldukça gelişmiştir. Eklemler açıktır ve kil tabakası ve ayrışmış malzeme ile dolguludur. Bu gurubun kayaçları nisbeten uzun saç kılı fissürler boyunca ayrışmıştır ve çekiç ile hafifçe vurulduğunda bile kolaylıkla çökerler.	Yapıyı meydana getiren taneler çok az ayrışmış ve altere olmuştur. Konsolidasyon derecesi çok düşüktür. Mutlak sertlikte kayaç tamamıyla çok yumuşak izlenim verir. Kayaca çekiçin sivri ucu ile vurulduğunda, sivri uç kayacın içine saplanır.
F	Magmatik kayacı oluşturan mineraller veya sedimanter kayacı oluşturan taneler nisbeten ayrışmış, kumlu ve killi kısımlar genelde belirgindir. Bu gurubun kayaçlarında, eklemlerin dağılımı oldukça belirsizdir.	Yapıyı oluşturan taneler oldukça ayrışmış ve altere olmuştur, ayrıca konsolidasyon derecesinde oldukça düşüktür. Bunlar genellikle kumlu ve killilerdir. Bu gurubun kayaçlarında fissürlerin dağılımı oldukça belirsizdir.	Yapıyı oluşturan tanelerin konsolidasyon derecesi çok düşük ve çoğunlukla kum ve kilden ibarettir.

**ÇİZELGE 1- MASİF KAYAÇLARI MÜHENDİSLİK AMAÇLI SINIFLAMADA KULLANILACAK KAYA
KALİTE KRİTERLERİ (KİKUCHİ VE DİĞERLERİ, 1982'DEN SONRA)**

K a y a k a l i t e s i	Sağlam kayaçlar (Hard rocks)	Orta sağlam kayaçlar (Medium hard rocks)	Yumuşak kayaçlar (Soft rocks)
	Yaklaşık bir kriter olarak, sağlam kayadan alınan numunelerde uygulanan serbest basınç direnç değerleri "800 ile 1000 kg/cm ² "den fazladır. Çekiç ile kayaya vurulduğunda, metalik bir ses çıkarır.	Yaklaşık bir kriter olarak, orta sağlam kayacın taze yüzeyinden alınan numunelerde uygulanan kuru serbest basınç direnç değerleri "200 ile 300 kg/cm ² " den "800 ile 1000 kg/cm ² " arasındadır. Çekiç ile kayaya vurulduğunda çok sıkı bir ses çıkarır, fakat genelde metalik ses çıkartmazlar. Mısbeten yumuşaktırlar, çekicinin sivri ucu ile vurulduğunda yüzey hafif çöker.	Yaklaşık bir kriter olarak, yumuşak kayacın taze yüzeyinden alınan numunelerde uygulanan kuru serbest basınç direnç değeri "200 ile 300 kg/cm ² " den daha azdır. Çekiç ile kayaya vurulduğunda, ince ve zayıf ses çıkarır ve çökerler. Çekicinin sivri ucu ile vurulduğunda yüzeyleri kolaylıkla çöker.
A	Kaya kütlesi çok taze litolojik özellikte. Kaya kütlesini oluşturan mineraller ve taneler atmosferik ayrışmaya ve alterasyona uğramamışlardır. Bir kaç eklem gelişmiştir. Kayaç tamamıyla katı ve oldukça serttir.		
B	Kaya kütlesi taze litolojik özellikte. Kaya kütlesini oluşturan mineraller ve taneler çok az atmosferik ayrışmaya ve alterasyona uğramamışlardır. Eklemeler seyrek gelişmiş ve emniyetli bir şekilde sıklıdır. Kayaç tamamıyla katı ve oldukça serttir.	Kaya kütlesi taze litolojik özellikte. Yapıyı oluşturan taneler ikincil ayrışma ve alterasyona uğramamışlardır. Eklemelerin fissürleri ve benzer şeyler az gelişmiştir. Kayaç tamamen katı ve sağlamdır. Bu durumda, yumuşak kayaçlara yakın güruba girenler yukarıdaki özellikler nedeni ile bu guruba dahil edilemezler, fakat C sınıfına dahil edilirler.	
C	Hemen hemen taze, katı ve sert litolojik özellikte. Kaya kütlesini oluşturan mineraller ve taneler içinde, feldispat ve mika ve amfibolit gibi renkli mineraller hafifçe ayrışmış ve sedimanter kayaçlarda feldispat ve mevcut taneleri oluşturan ikincil renkli mineraller hafifçe ayrışmış ve altere olmuş olabilir. Eklemeler epeyi gelişmiş ve eklem yüzeyleri oldukça ayrışmış ve altere olmuş, renkleri bozulmuş. Bazen, ayrışmış malzemeler eklem yüzeylerine hafifçe yapışmış. Mamafî genelde eklemeler sıkı, kayaç tamamıyla katı ve oldukça serttir.	Kaya kütlesi taze litolojik özellikte. Yapıyı oluşturan taneler ikincil ayrışma ve alterasyona uğramamışlardır. Eklemeler seyrek gelişmiş ve emniyetli bir şekilde sıklıdır. Kayaç tamamıyla katı ve sağlamdır. Bu durumda; sağlam kayaçlara yakın güruba girenler B sınıfına dahil edilirler.	Bu gurubun kayaçları orta sağlam kayaçlara yakındır (yaklaşık olarak taze kayaçların kuru serbest basınç direnç değeri 150 kg/cm ²). Kaya kütlesi taze litolojik özelliktedir. Yapıyı oluşturan taneler ayrışma ve alterasyona uğramamışlardır. Eklemeler az gelişmiştir.
D	Genelde çok az ayrışmış ve altere olmuş litolojik özellikte. Magmatik kayaçlarda feldispat ve kuvars hariç renkli mineraler ayrışmış, genellikle kahverengileşmiş veya kırmızımsı kahverengileşmiş. Sedimanter kayaçlarda feldispat ve mevcut taneleri oluşturan ikincil renkli mineraller ayrışmış ve altere olmuş, genelde magmatik kayaçlarda olduğu gibi kahverengileşmiş veya kırmızımsı kahverengileşmiş. Eklemeler açık ve kil ve ayrışmış malzeme ile tutturulmuş. Bu sınıfın kayaçları genelde saç kılı gibi fissürlüdür. Bu nedenle, çekiç ile vurulduğunda parçalanır, saç kılı fissürler dağılırlar. Bunlara ilaveten kayaçlar litolojik özellik açısından tazedir, fakat çatlaklı durumu yansıtan dağılmış açık eklemelerde bu sınıfa dahil edilirler.	Feldispat ve ikincil renkli mineraller gibi yapıyı oluşturan taneler çoğunlukla biraz ayrışmış ve alterasyona uğramışlardır. Ayrışma çok şiddetli değildir fakat kayaç orta sağlam olduğundan mutlak sertlikte çok az yumuşak izlenim verirler. Eklemeler oldukça gelişmiştir ve onlardan pek çoğu biraz açıktır. Eklem yüzeyleri ayrışmış ve altere olmuş, renksizleşmiş ve genelde ayrışmış malzeme ince bir tabaka gibi eklem yüzeyinde tutturulmuştur. Bu gurubun kayaçlarında bazı uzunluklarda saç kılı gibi fissürler vardır. Bundan dolayı, çekiç ile vurulduğunda çökerler, saç kılı gibi fissürler dağılırlar.	Kaya kütlesi taze litolojik özelliktedir. Yapıyı oluşturan taneler ikincil ayrışma ve alterasyona uğramamışlardır. Eklemeler az veya seyrekçe gelişmiş ve emniyetli bir şekilde sıklıdır. Kayaç bütünüyle biraz ayrışmıştır, fakat yumuşak olduklarından mutlak sertlikte yumuşak izlenim verirler. Bu durumda, bunlar kuru serbest basınç direnç değeri "60 ila 70 kg/cm ² " olanlar bu guruba dahil edilemezler fakat C sınıfına dahil edilebilirler.
E	Magmatik kayacı oluşturan mineraller veya sedimanter kayacı oluşturan taneler nisbeten ayrışmış. Kayaç tamamıyla genelde kahverengi veya kırmızımsı kahverengi eklemeler açık, kil ve nisbeten ayrışmış malzeme ile tutturulmuş. Bu sınıfın kayaçlarında genellikle saç kılı gibi fissürler belirgin şekilde dağılmıştır. Bu nedenle, eğer çekiç ile hafifçe vurulursa kolaylıkla parçalanır ve dağılırlar. Bunlara ilaveten kayaçlar litolojik özellik açısından tazedir fakat taşıklı durumu belirden açık eklemli konumda bu sınıfa dahil edilirler.	Yapıyı oluşturan taneler ayrışmış ve altere olmuş ve konsolidasyon derecesinde nisbeten düşüktür. Orta sağlam kayaç olduğundan dolayı mutlak sertlikte oldukça yumuşak izlenim verirler. Eklemeler oldukça gelişmiştir. Eklemeler açıktır ve kil tabakası ve ayrışmış malzeme ile dolguludur. Bu gurubun kayaçları nisbeten uzun saç kılı fissürler boyunca ayrılmıştır ve çekiç ile hafifçe vurulduğunda bile kolaylıkla çökerler.	Yapıyı meydana getiren taneler çok az ayrışmış ve altere olmuştur. Konsolidasyon derecesi çok düşüktür. Mutlak sertlikte kayaç tamamıyla çok yumuşak izlenim verir. Kayaca çekicinin sivri ucu ile vurulduğunda, sivri uç kayacın içine saplanır.
F	Magmatik kayacı oluşturan mineraller veya sedimanter kayacı oluşturan taneler nisbeten ayrışmış, kumlu ve killi kısımlar genelde belirgindir. Bu gurubun kayaçlarında, eklemelerin dağılımı oldukça belirsizdir.	Yapıyı oluşturan taneler oldukça ayrışmış ve altere olmuştur, ayrıca konsolidasyon derecesinde oldukça düşüktür. Bunlar genellikle kumlu ve killilerdir. Bu gurubun kayaçlarında fissürlerin dağılımı oldukça belirsizdir.	Yapıyı oluşturan tanelerin konsolidasyon derecesi çok düşük ve çoğunlukla kum ve kilten ibarettir.

KAYA SINIFLAMASI

Çizelge 1 ve 2 bu yeni kaya sınıflama metodunu göstermektedir. Bu sınıflamada kayalar 3 grupta ele alınmıştır.

1. Sağlam kayalar
2. Orta sağlam kayalar
3. Yumuşak kayalar

Daha sonra da bu 3 grup kaya kendi içinde 6 sınıfa ayrılır. Karışıklığı önlemek ve her bir sınıfı ayrı ayrı tanımlamak için de A, B, C, D, E ve F gibi harflerle tanımlanmışlar (Japanese Industrial Standart).

Kaya kalitesi elemanlarını sınıflama grupları çizelge 3. 1'de ayrıntılı olarak verilmiştir. Bu çizelgeden de anlaşılacağı gibi ayrışma, kayacın sertliği, eklemlerin yoğunluğu, eklemlerin açıklığı ve eklemler yüzeylerinin durumu temel guruplar olarak ele alınmış ve bunlar 4 sınıfta incelenmiştir. Bu elemanların çizelge 1'deki sınıflama sistemine örnek uygulanmasını çizelge 3. 2 de görmekteyiz. Çizelge 4'de ise Kikuchi ve diğerleri tarafından hazırlanan kaya kalitesini baraj tiplerine göre irdeleyen, kayaların özelliklerine göre baraj temellerinin kriterleri verilmiştir (KIKUCHI, K., SAITO, K., KUSUNOKI, 1982).

ÇİZELGE 4. KAYAÇLARIN ÖZELLİKLERİNE GÖRE BARAJ TEMELLERİNİN KRİTERLERİ

Kaya Kalitesi	Beton kemer baraj temeli özellikleri	Beton baraj temeli özellikleri (Baraj yüksekliği 60m veya daha fazla)	Kaya dolgu baraj çekirdek temeli özellikleri (Baraj yüksekliği 60m veya daha fazla)
A	Çok iyi	Çok iyi	Çok iyi
B	Çok iyi	Çok iyi	Çok iyi
C	Oldukça iyi	Oldukça iyi	Oldukça iyi
D	Kötü. Fakat sağlam ve orta sağlam kayalar C sınıfına yakın kabul edilebilir. Yumuşak kayalar bu tip bir baraj temeli için uygun değil.	Kötü. Fakat sağlam ve orta sağlam kayalar iyileştirilebilir. Bu durumda, yumuşak kayalar yüksek baraj temeli için uygun değildir.	Oldukça iyi, tasama gücü dikkate alınmalıdır.
E	Çok kötü	Kötü. Fakat baraj gövdesinde krete yakın bölgelerde, kuvvete maruz kalacak bölgelerde iyileştirme çalışmaları yapılmalıdır.	Genelde bu sınıf kayalar baraj temeli açısından uygun değildir. D grubuna yakın olanlar iyileştirilerek elverişli olabilir ve geçirimsizleştirme imkansız değildir.
F	Çok kötü	Çok kötü	Kötü

ÇİZELGE 2. BU SINIFLAMA METODUNDA KABUL EDİLEN KAYA GRUPLARININ FİZİKSEL DEĞER ARALIKLARI
(KIKUCHI, vd., 1982'DEN SONRA)

Kaya kalitesi	Kayaçların statik elastisite modülü (kg/cm ²)	Kayaçların deformasyon modülü (kg/cm ²)	Kayaçların kohezyonu (kg/cm ²)	Kayaçların içsel sürtünme açısı (°)	Kayaçların elastik dalga hızı (km/sn)	Kaya test çekicinin sicraması
B	80.000 veya fazla	50.000 veya fazla	40 veya fazla	55~65	3.7 veya fazla	36 veya fazla
C	80.000 ~ 40.000	50.000 ~ 20.000	40 ~ 20	40 ~ 55	3.7 ~ 3	36 ~ 27
D	40.000 ~ 15.000	20.000 ~ 5.000	20 ~ 10	30 ~ 45	3 ~ 1.5	27 ~ 15
E ~ F	15.000 veya az	5.000 veya az	10 veya az	15 ~ 38	1.5 veya az	15 veya az

ÇİZELGE 3. 1. KAYA KALİTESİ ELEMANLARININ SINIFLAMA GRUPLARI (KIKUCHI, vd., 1982'DEN SONRA)

Sembol	Kayaçlara uygun sertlik		Eklem şartlarının dağılımı					Eklem yüzeylerinin durumunun standart sınıfları
	Katılık durumunun standart sınıfları	Kriter (Kayaçların kuru şartlarda tek eksenli basınç direnci)	Yoğunluk durumunun standart sınıfları	Eklemelerin yoğunluğu			Eklem açıklığının standart sınıfları	
				Kriter	Sürekli eklem aralıklarının dağılımı	Sürekli ve nispeten sürekli eklem aralıklarının dağılımı		
○	Taze	Katı	800-1000 kg/cm ² den fazla	Az dağılmış	3.0m veya fazla	10.0m veya fazla	Kapalı	Hiç ayrılmamış
△	Oldukça taze	Oldukça katı	800-1000 kg/cm ² ile 400 kg/cm ² arasında	Seyrek	0.5m ~ 3.0m	2.0m ~ 10.0m	Oldukça kapalı	Çok az ayrılmış veya bozulmuş olabilir.
▲	Ayrılmış	Biraz yumuşak	400-200 kg/cm ²	Dağılmış	0.1m ~ 0.5 m	1.0m ~ 2.0 m	Açık	Ayrılmış, bozulmuş, ayrılmış malzeme incecikce yapışmış
●	Çok ayrılmış	yumuşak	200 kg/cm ² den az	Oldukça dağılmış	0.1m veya az	1.0m veya az	Çok açık	Çok ayrılmış, bozulmuş, kil veya ayrılmış malzeme nisbeten tabakalaşmış.

ÇİZELGE 3.2. KAYA KALİTESİ SINIFLAMA ELEMANLARI (MASİF KAYAÇLAR İÇİN)

	Sağlam kayalar						Orta sağlam kayalar						Yumuşak kayalar					
	Sınıflama elemanları						Sınıflama elemanları						Sınıflama elemanları					
	Kayacı oluşturan mine- rallerin(veya tanele- rin) durumu	Sertlik durumu	Eklemlerin durumu	Eklemlerin açık- lığı	Eklemler- in yoğun- luğu	Eklemler- in yoğun- luğu	Kayacı oluşturan mine- rallerin(veya tanele- rin) durumu	Sertlik durumu	Eklemlerin durumu	Eklemlerin açık- lığı	Eklemler- in yoğun- luğu	Eklemler- in yoğun- luğu	Kayacı oluşturan mine- rallerin(veya tanele- rin) durumu	Sertlik durumu	Eklemlerin durumu	Eklemlerin açık- lığı	Eklemler- in yoğun- luğu	Eklemler- in yoğun- luğu
A	O	O	O	O	O	O	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
B	O	O	O	O	O	O	O	Δ	O	O	O	O	—	—	—	—	—	—
C	O veya Δ	O veya Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	O veya Δ	Δ veya Δ	O veya Δ	O veya Δ	O veya Δ	O	Δ veya ●	Δ veya ●	Δ	O	O	O
D	Δ veya Δ	Δ veya Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ veya Δ	Δ veya Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ veya ●	Δ veya ●	Δ	O veya Δ	O veya Δ	O veya Δ
E	Δ veya ●	Δ veya ●	●	●	●	●	Δ veya ●	Δ veya ●	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ veya ●	Δ veya ●	Δ	Δ veya ●	Δ veya ●	Δ veya ●
F	●	●	—	—	—	—	●	●	—	—	—	—	●	●	—	—	—	—

KAYA DEĞERLENDİRMESİ VE KARŞILAŞTIRMALAR

Bu sınıflama yönteminde baraj temelindeki kayalar önce sınıflanmakta daha sonra da kaya değerlendirilmektedir. Kaya sınıflamasında yüzeysel jeolojik araştırmalar, sondaj kuyularının açımından elde edilen karotların gözlemlenmesi ve galerilerin incelenmesinden elde edilir.

Sınıflamada üç faktör; Ayrışma, sertlik ve eklem aralığı baz olarak alınır. Daha sonra bu değerlendirmeye yerinde ve laboratuvar deney sonuçları ile projeye ait değerlerde katılarak kayaç değerlendirilir. Bu değerlendirme ile ilgili akış şeması şekil-1 de ayrıntılı olarak verilmiştir.

Çizelge 1 deki kaya sınıflaması kriterlerini baz alarak Hakkari baraj yeri A-A' kesitinde yapılan kaya değerlendirmesi çizelge 5 de verilmiştir. Bu eksenin kaya değerlendirme kesiti şekil 2. 1 de görülmektedir (ÇOĞALAN, 1989). Şekil 2. 2 de ise kaya değerlendirmesine ilişkin olarak Japon JICA adına EPDC firması tarafından Çoruh Nehri Artvin baraj yerinde yapılan uygulama görülmektedir. C-C' kesiti boyunca yapılan uygulamada temel kayayı oluşturan İkizdere Magmatitlerinin granit kompleksi, kaya kalitesi olarak A, B ve B-A olarak 3 gruba ayrılmıştır (JICA, 1986).

Bu sınıflamanın bir avantajı baraj yerinde temel araştırmaları için açılan sondaj kuyularında standart olarak yapılan lüjyon deney sonuçları ile kaya değerlendirmesinin karşılaştırmasını yapmak olanağının olmasıdır. Hakkari baraj yerinde A-A' kesiti için yapılan karşılaştırma çizelge-6 da ve şekil-3 de görülmektedir (ÇOĞALAN, 1989).

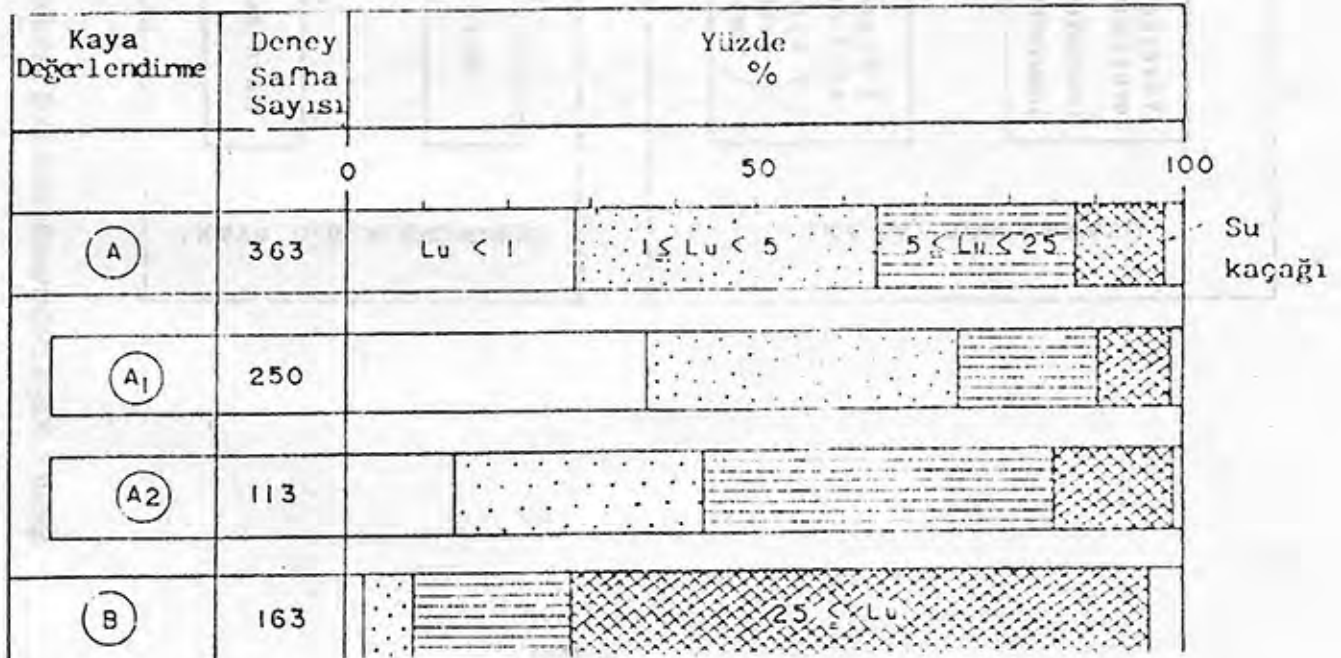
A sınıfı için lüjyon değeri 1'den küçük, %28 iken B sınıfı için 1'den küçük değer %2'dir. Lüjyon 1 Lu 5 aralığı için değerler A sınıfı için %36 iken aynı değer B sınıfı için %5 dir. Lüjyon 5 Lu 25 aralığı için değer A sınıfı için %24 iken B sınıfı kaya grubu için aynı değer %20'dir. Lüjyon değeri Lu 25 için A sınıfı değeri %10 iken aynı değer B sınıfı için %69'dur (ÇOĞALAN, 1989). Görüldüğü gibi lüjyon değeri ile kaya değerlendirmesi çok net bir biçimde korele edilebilmekte buradan olası enjeksiyon perdesi derinliği ve ölçeği elde edilebilmektedir.

ÇİZELGE 5. KAYA DEĞERLENDİRMESİ (HAKKARİ BARAJI A-A')

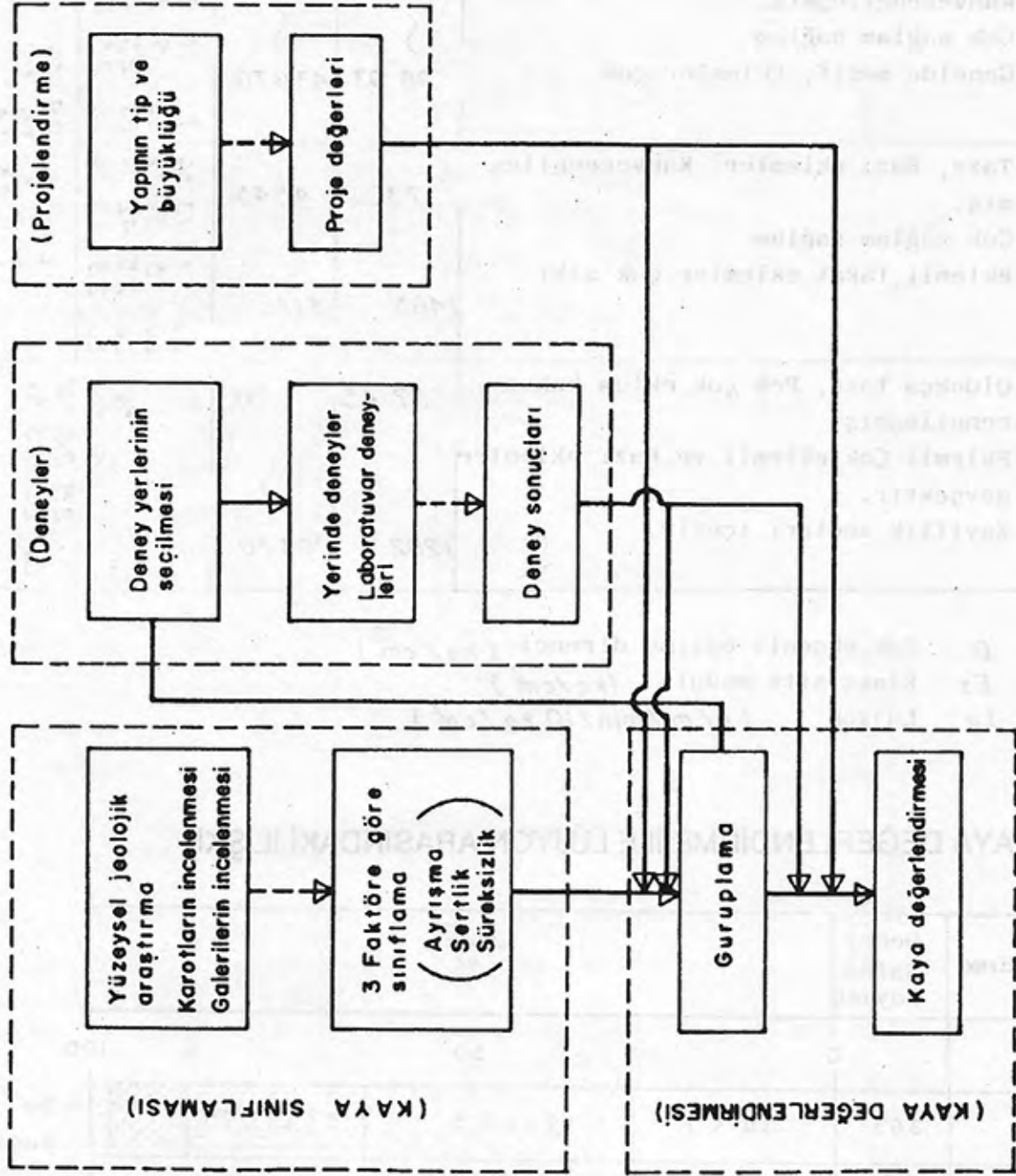
Kaya Değerlendirme	Kaya Sınıflamasının Tanımlaması	D	Es	Lu
A	Çok taze. Çok az eklemeler ha- kahverengileşmiş. Çok sağlam sağlam Genelde masif, Eklemler çok	277.4	16 70	36 %
	Taze, Bazı eklemler Kahverengileş- miş. Çok sağlam-sağlam Eklemler fakat eklemler çok sıkı	73.5	4545	13 %
B	Oldukça taze, Pek çok eklem kahve rengileşmiş. Eklemler Çok eklemli ve bazı eklemler gevşektir. Zayıflık zonları içerir.	37.45	20	5 %

Not : D : Tek eksenli basınç direnci (kg/cm^2)
 Es : Elastisite modülü (kg/cm^2)
 Lu : Lüjyon ($l/m/min/10 kg/cm^2$)

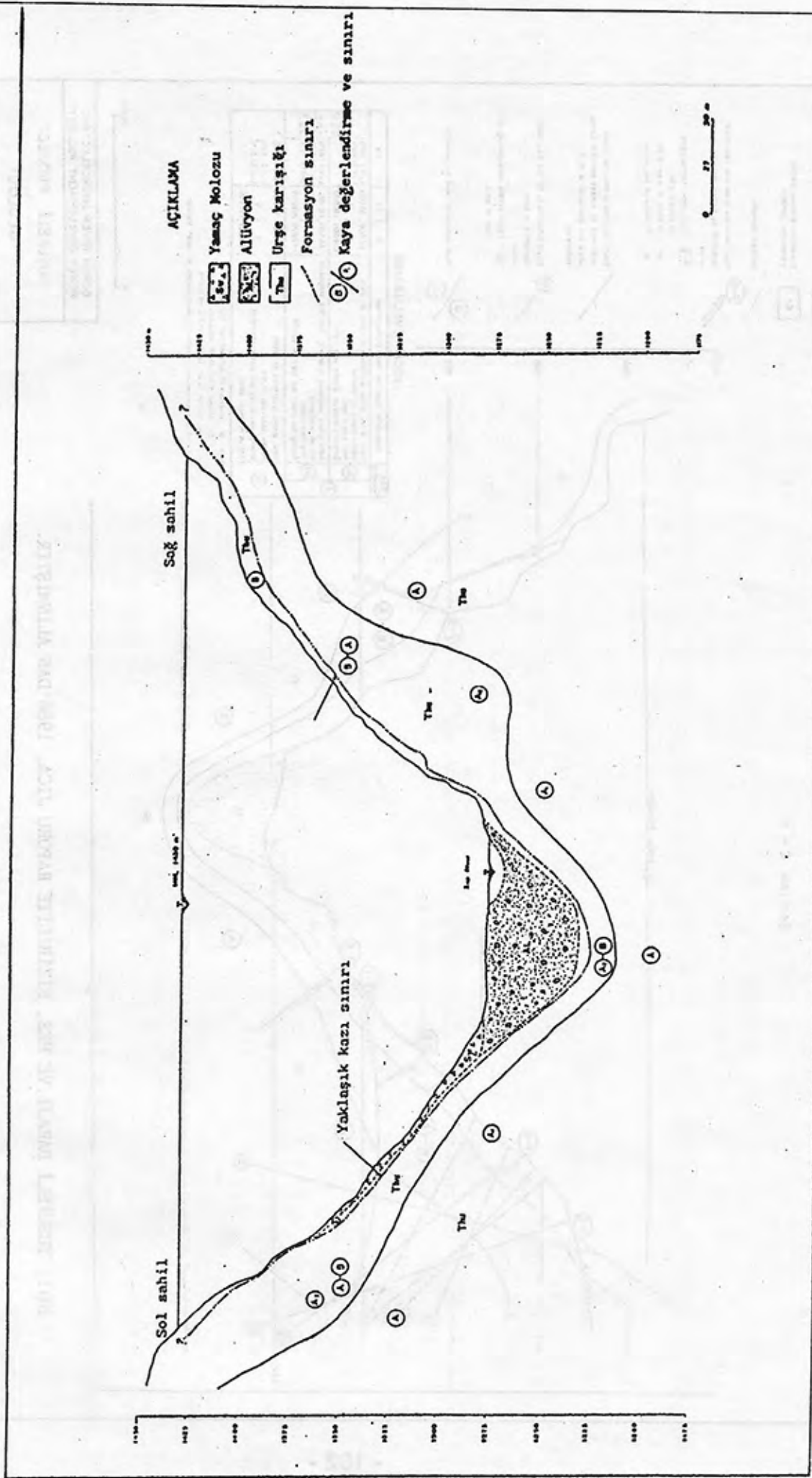
ŞEKİL 3. KAYA DEĞERLENDİRME İLE LÜJYON ARASINDAKİ İLİŞKİ



HAKKARİ BARAJI KESİT A-A'



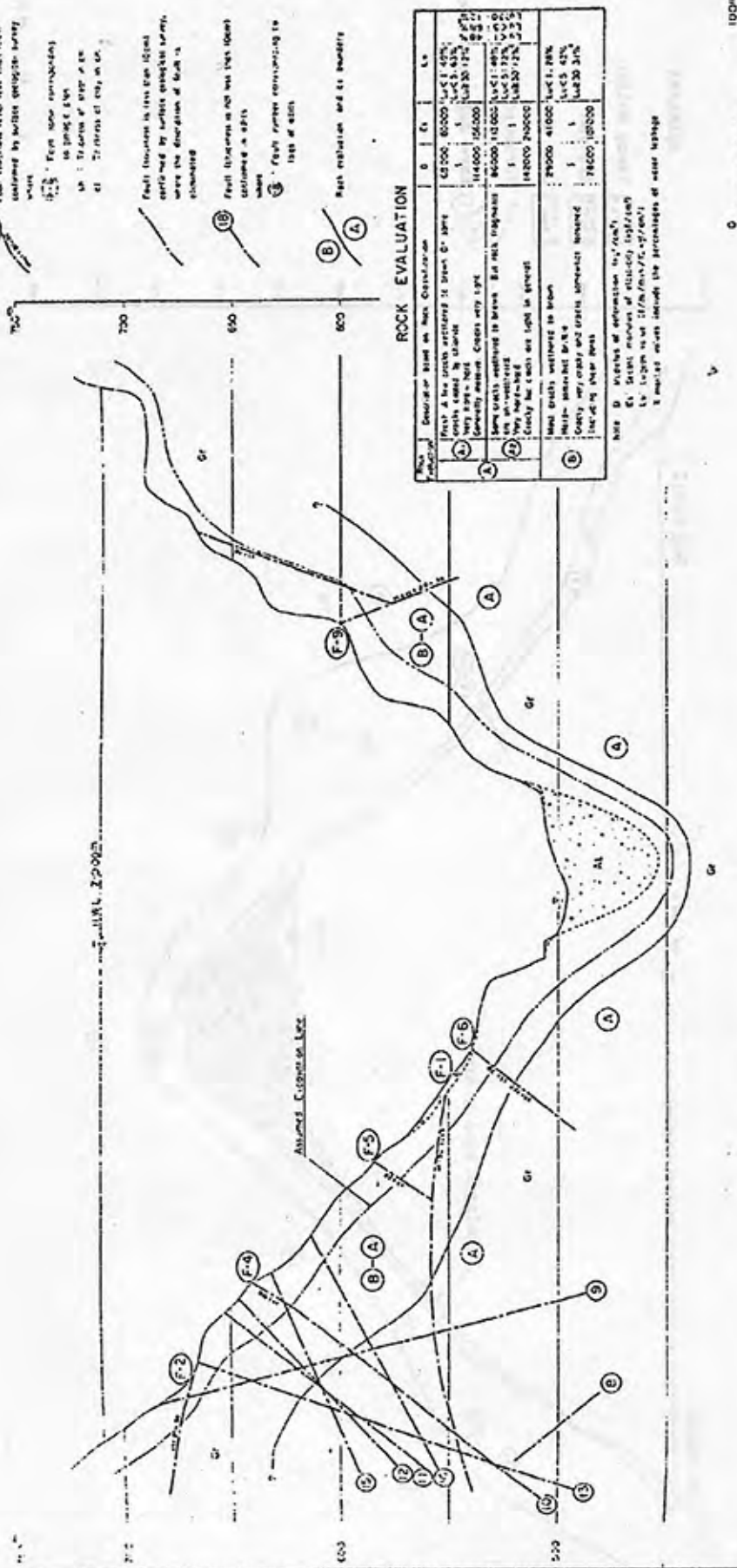
Şekil 1. Kaya değerlendirme akış şeması



Şekil 2.1. Kaya değerlendirmesi (Hakkari Barajı A-A')

Şekil 2.2. Kaya değerlendirilmesi (Yusufeli Barajı C-C')

Section C - C'



NOT: YUSUFELİ BARAJI VE HES, FİZİBİLİTE RAPORU JICA, 1986'DAN ALINMIŞTIR.

ÇİZELGE 6. LÜJYON DEĞERLERİ VE KAYA DEĞERLENDİRME ARASINDAKİ İLİŞKİ (HAKKARI BARAJI A-A')

Kaya Değerlendirme	Deney Saf ha sayısı	Lu : Lüjyon (l/m/min/10 kgf/cm ²)					Su kaçığı *
		Lu < 1	1 < Lu < 5	5 < Lu < 25	25 < Lu	Lu	
A ₁	250	89	96	40	23		2
	48	36	38	16	9		1
A ₂	113	13	34	48	15		1
	21	13	30	42	14		1
Toplam A A ₁ + A ₂	363	102	130	88	3		3
	69	28	36	24	10		1
B	163	2	6	30	11		4
	31	2	5	20	69		1
Toplam averaj	526	104	136	18	149		7
	100	20	26	22	28		1

Not * = (Su kaçığı) deney safhasında basıncın yükseldiği ve geçirimsizlik deneylerini gösterir.

Çizelge 7'de sondaj karotları için sınıflama standardı görülmektedir. Bu standarda göre, atmosferik ayrışma, sertlik ve eklem (çatlak) aralığı 1'den 5'e kadar sınıflara ayrılmış ve tanımlaması yapılmıştır.

ÇİZELGE 7. SONDAJ KAROTLARI İÇİN SINIFLAMA STANDARDI

Atmosferik ayrışma (Weathering)		Sertlik (Hardness)		Çatlak aralığı (Interval of cracks)	
1	Çok taze. Mineral bileşiminde ayrışma yok.	1	Çok sert. Kuvvetli çekiç darbesi ile keskin kenarlı parçalara ayrılır.	1	> 30 cm
2	Taze. Bazı mineraller hafifce ayrışmıştır. Genellikle kahverengi çatlaklar yok.	2	Sert. Kuvvetli çekiç darbesi ile parçalara ayrılır.	2	10 - 30 cm
3	Oldukça taze. Bazı mineraller ayrışmış. Çatlak yüzeyleri lakeli ve ayrışmış malzemeli.	3	Kırılgan. Orta şiddetli çekiç darbesi ile parçalara ayrılır.	3	3 - 10 cm
4	Ayrışmış. Taze kısımlar halâ kısmen değişmeyip olduğu gibi kalmıştır.	4	Çok kırılgan. Orta şiddetli çekiç darbesi ile kolayca parçaları ayrılır.	4	1 - 3 cm
5	Çok ayrışmış. Minerallerin çoğu ayrışmış ve ikinci minerallere değişmiştir.	5	Yumuşak. Çekiç ile çentilebilir.		< 1 cm

Çizelge 8'de ise galeri araştırmalarında kullanılacak standart verilmiştir. Bu standarda göre atmosferik ayrışma, sertlik ve eklem aralığı sayısal, alfabetik ve romen harfleriyle 5 sınıfa ayrılmıştır. Bu semboller sondaj tanımlama loglarında ve galeri kesit haritalarında da kullanılarak pratiklik ve uyum sağlanmaktadır.

Şekil 4'de Hakkari barajının galerileri için kaya değerlendirmesi ile kaya sınıflaması arasındaki ilişkiyi görülmektedir. Şekil 5'de ise aynı yerin sondaj karotları için benzer ilişki görülmektedir.

ÇİZELGE 8. GALERİ ARAŞTIRMASI İÇİN SINIFLAMA STANDARDI

Atmosferik ayrışma (Weathering)		Sertlik (Hardness)		Çatlak aralığı (Interval of cracks)	
1	Çok taze. Mineral bileşiminde ayrışma yok.	A	Çok sert. Kuvvetli çekiç darbesi ile keskin kenarlı parçalara ayrılır.	I	> 100 cm
2	Taze. Bazı mineraller hafifce ayrışmıştır. Genellikle kahverengi çatlaklar yok.	B	Sert. Kuvvetli çekiç darbesi ile parçalara ayrılır.	II	40 - 100 cm
3	Oldukça taze. Bazı mineraller ayrışmış. Çatlak yüzeyleri lökeli ve ayrışmış malzemeli.	C	Kırılgan. Orta şiddetli çekiç darbesi ile parçalara ayrılır.	III	20 - 40 cm
4	Ayrışmış. Taze kısımlar halâ kısmen değişmeyip olduğu gibi kalmıştır	D	Çok kırılgan. Orta şiddetli çekiç darbesi ile kolayca parçalara ayrılır.	IV	5 - 20 cm
5	Çok ayrışmış. Minerallerin çoğu ayrışmış ve ikinci minerallere değişmiştir.	E	Yumuşak. Çekiç ile çentilebilir	V	< 5 cm

SONUÇLAR

1. Tanaka metodu olarak bilinen ve Kikuchi tarafından geliştirilen bu metod yazar tarafından Zapsuyu Havzası Hakkari, Doğanlı ve Çukurca baraj yerlerinde uygulanmış ve baraj yerleri bu sisteme göre değerlendirilmiştir. JICA tarafından da Artvin ve Yusufeli baraj yerlerine de uygulanmıştır.

2. Yazar bu yöntemin "Ayrışma, Sertlik ve Eklem aralığı" kısaca "ASE" yöntemi olarak tanımlanmasının pratik ve uygun olacağını düşünmektedir.

3. Bu sınıflamada tanımlanan "sertlik" kayacın mukavemetinden dolayı darbeye karşı olan sertlik direncidir ve çekiç darbesi ile kolayca arazide ve laboratuvar da belirlenebilir. Mutlak sertlik ile karıştırılmamalıdır.

4. Bu yöntemin diğer sınıflama sistemleri ile karşılaştırıldığında, baraj yeri araştırma vasıtaları olan sondajları ve araştırma galerilerinden elde edilen bilgileri, lüjyon deneyi sonuçlarını, yerinde kaya mekaniği deney sonuçlarını ve sismik verileri kullandığı, bunlarla kaya sınıflamasını ve kaya değerlendirmesini yapma, tek tek karşılaştırma olanağı verdiği için özellikle baraj projelerinde pratik, kullanışlı ve sonuçları itibari ile daha gerçekçi olduğu görülmektedir.

TEŞEKKÜR

Yazar sözkonusu sınıflama sistemi ile ilgili döküman, kişisel bilgilerini aktarmaları ve katkılarından dolayı Mr. Susumu Sato ve Masahiro Shibata'ya teşekkürlerini sunar.

ULUSAL MÜHENDİSLİK JEOLJİSİ TÜRK MİLLİ KOMİTESİ

AKTİF ÜYELER

- | | |
|----------------------------------|---------------------------------------|
| 5. Prof. Dr. Erdoğan YÜZER | 115. Dr. Orhan ŞİMŞEK |
| 6. Prof. Dr. Okay EROSKAY | 117. Dr. Süleyman DALGIÇ |
| 7. Prof. Dr. Aziz ERTUNÇ | 118. Doç. Dr. Reşat ULUSAY |
| 11. Jeo. Müh. Saim KALE | 120. Y. Doç. Dr. Feda ARAL |
| 12. Jeo. Müh. Behiç ÇONGAR | 122. M. Kemal AKMAN |
| 16. Prof. Dr. Okay GÜRPINAR | 126. Doç. Dr. Recep KILIÇ |
| 17. Dr. Ali M. GÖZÜBOL | 127. Prof. Tuncer KODAMANOĞLU |
| 21. Prof. Dr. Necdet TÜRK | 128. Jeo. Müh. Aytaç DIĞIŞ |
| 23. Prof. Dr. Remzi DİLEK | 133. Prof. Dr. Ergin ARIÖĞLU |
| 24. Prof. Dr. Fikret TARHAN | 134. Jeof. müh. İ. Halil ZARIF |
| 29. Jeo. Müh. Erman AŞÇIOĞLU | 139. Prof. Dr. Ahmet ERCAN |
| 35. Prof. Dr. Ergun TOĞROL | 143. Doç. Dr. Hasan TOSUN |
| 37. Prof. Dr. Mahir VARDAR | 144. Dr. Atiye TUĞRUL |
| 40. Prof. Dr. Vedat DOYURAN | 148. Jeo. Müh. Tamer TOPAL |
| 50. Doç. Dr. Mustafa ERDOĞAN | 150. Y. Doç. Dr. Mustafa YILDIRIM |
| 62. Jeof. Müh. Nevzat BÜYÜKKÖSE | 151. Doç. Dr. Can AYDAY |
| 72. Prof. Dr. Ünal ÖZİŞ | 152. Jeo. Müh. Tanju KÖKEN |
| 73. Dr. K. Tahsin ŞENYUVA | 154. Prof. Dr. Şakir ŞİMŞEK |
| 83. M. Turgut SAFA | 163. Dr. Jeo. Müh. Ali H. BAŞTEKİN |
| 91. Dr. Erdal ŞEKERCİOĞLU | 166. Prof. Dr. Akın ÖNALP |
| 93. Y. Doç. Dr. Suat BOYNUKALIN | 167. Jeo. Müh. Ersin AREL |
| 94. Y. Doç. Dr. Fikri BULUT | 169. Doç. Dr. Remzi KARAGÜZEL |
| 95. Prof. Dr. Ahmet SAĞLAMER | 170. Y. Doç. Dr. Serdar ORAN |
| 96. Y. Doç. Dr. Özkan CORUK | 171. Jeo. Müh. Mehmet ALKAN |
| 104. Doç. Dr. Nurkan KARAHANÖĞLU | 172. Doç. Dr. Turgut ÖZTAŞ |
| 106. Ferruh ANIK | 174. Jeo. Müh. Tolga ÇAN |
| 107. Melih ALGAN | 175. Doç. Dr. Safiye Feyza ÇİNİCİOĞLU |
| 109. Prof. Dr. Erman ŞAMİLGİL | 176. Jeo. Müh. Cenk KOÇAK |
| 111. Doç. Dr. Simav BARGU | 177. Prof. Dr. Ethem GÖNENÇ |
| 114. Dr. Mehmet YALÇINKOCA | 178. Doç. Dr. M. Nuri BODUR |

KURUMSAL ÜYELER

* AFET İŞLERİ GENEL MÜDÜRLÜĞÜ - LODUMLU
ANKARA

* ANKARA ÜNİV. FEN FAK. JEOLojİ MÜH. BÖLÜMÜ
ANKARA

* BOTEK A. Ş. MASLAK İŞ MERKEZİ
İSTANBUL

* CUMHURİYET ÜNİV. JEOLojİ MÜH. BÖLÜMÜ
SİVAS

* ÇUKUROVA ÜNİV. JEOLojİ MÜH. BÖLÜMÜ
ADANA

* DOKUZEYLÜL ÜNİV. JEOLojİ MÜH. BÖLÜMÜ
İZMİR

* DSİ GENEL MÜDÜRLÜĞÜ YÜCETEPE
ANKARA

* EİE GENEL MÜDÜRLÜĞÜ
ANKARA

* HACETTEPE ÜNİV. JEOLojİ MÜH. BÖLÜMÜ
ANKARA

* İLLER BANKASI GENEL MÜDÜRLÜĞÜ
ANKARA

* İSTANBUL ÜNİV. JEOLojİ MÜH. BÖL. AVCILAR
İSTANBUL

* İTÜ MADEN FAK. JEOLojİ MÜH. BÖL. MASLAK
İSTANBUL

* KARAYOLLARI GENEL MÜDÜRLÜĞÜ YÜCETEPE
ANKARA

* KTÜ JEOLojİ MÜH. BÖLÜMÜ
TRABZON

* JEOLojİ MÜHENDİSLERİ ODASI KIZILAY
ANKARA

* MTA GENEL MÜDÜRLÜĞÜ
ANKARA