



Kaya Mekaniği Bülteni

Ocak 1990

4

Tünel Veya Galerilerde Giriş-Çıkış Ağzlarının
Duraylılığı Ve Tasarımı

H. GERÇEK

Sismik Hız İle Eklem Tipi Süreksizliklerin
Saptanabilirliği

Y.V. MÜFTÜOĞLU

Mühendislik Yapıları İçin Sığ Sismik
Uygulamalar :
İ.T.Ü. Ayazağa Kampüsü ve Alibeyköy Barajı

**M.C. TAPIRDAMAZ
O.M. İLKİŞİK**

Açık İşletmelerde Ateşleme Düzenine
İlişkin Parametrelerin İncelenmesi

T. EVERGEN

TÜRK ULUSAL KAYA MEKANİĞİ DERNEĞİ

YÖNETİM KURULU

Başkan	: Prof. Dr. G Paşamehmetoğlu	(Maden Müh. Böl.-ODTÜ)
Başkan Yard.	: Mesut Çetinçelik	(DSİ Gn. Müd.lüğü-Ank.)
Genel Sekreter	: Doç. Dr. Abdürrahim Özgenoğlu	(Maden Müh. Böl.-ODTÜ)
Sayman	: Mete Yeşil	(Maden Müh. Böl.-ODTÜ)
Üye	: Doç. Dr Seyfi Kulaksız	(Yerbilimleri Enst.-H.Ü.)

DENETİM KURULU

Aydın Bilgin	(Maden Müh. Böl.-ODTÜ)
Gürel Şenyur	(Yerbilimleri Enst. H.Ü)
Bülent Kiper	(Strazburg Cad. 29/6-Ank)

YAYIN KURULU

Yönetim Kuruludur.

Yazışma Adresleri

—Doç. Dr. Abdürrahim Özgenoğlu
Genel Sekreter
Maden Müh. Böl. ODTÜ
06531 - ANKARA
Tel: (4) 223 71 00/2655

—Türk Ulusal Kaya Mekanik Derneği
P.K. 311 06423 Kızılay-ANKARA

Basıldığı Yer :

ALTAN MATBAACILIK - ANKARA

Kaya Mekaniği Bülteni

Ocak 1990

4

Tünel Veya Galerilerde Giriş-Çıkış Ağızlarının
Duraylılığı Ve Tasarımı

H. GERÇEK

Sismik Hız İle Eklem Tipi Süreksizliklerin
Saptanabilirliği

Y.V. MÜFTÜOĞLU

Mühendislik Yapıları İçin Sığ Sismik
Uygulamalar :
İ.T.Ü. Ayazağa Kampüsü ve Alibeyköy Barajı

**M.C. TAPIRDAMAZ
O.M. İLKİŞİK**

Açık İşletmelerde Ateşleme Düzenine
İlişkin Parametrelerin İncelenmesi

T. EVERGEN

Türk Ulusal Kaya Mekaniği Derneği Yayınıdır.

Yazım İlkeleri

"Kaya Mekaniği Bülteni"nde yayımlanması için gönderilecek olan yazılar teorik ve uygulamalı kaya mekaniği dalında özgün (orijinal) araştırmalar, derleme, eleştiri ve tanıtma amaçlı çalışmaları veya çevirileri kapsayabilir.

Yazıların dilbilimi kurallarına ve teknik sözcüklerin 4. bültenimizde sizlere sunacağımız kaya mekaniği terim ve tanımlarına uygun olmasına özen gösterilmelidir.

Yazılar, şekiller, fotoğraflar ve çizelgeler 2 nüsha olarak gönderilmeli, metin 2 satır aralıkla daktilo ile yazılmış olmalıdır.

Başlıklar kısa, konuyu en iyi belirtebilir ve olabilirse 10 sözcüğü geçmeyecek şekilde seçilmelidir.

Şekiller teknik çizim normlarına uygun olarak çini mürekkep ile aydinger kâğıdına veya beyaz kuşe kâğıt üzerine çizilmelidir.

Fotoğraflar parlak kartlara siyah-beyaz ve kontrastlı basılmalıdır. Şekil, fotoğraf ve çizelge altları ayrı bir kâğıt üzerine sırasıyla yazılmış olmalıdır.

Yararlanılan kaynaklar alfabetik sıralamayla düzenlenmelidir.

Gönderilen çalışmanın bültende yayımlanabilmesi yayın kurulu'nun olumlu kararına bağlıdır.

TÜNEL VEYA GALERİLERDE GİRİŞ-ÇIKIŞ AĞIZLARININ DURAYLIĞI VE TASARIMI

Hasan GERÇEK*

1. GİRİŞ

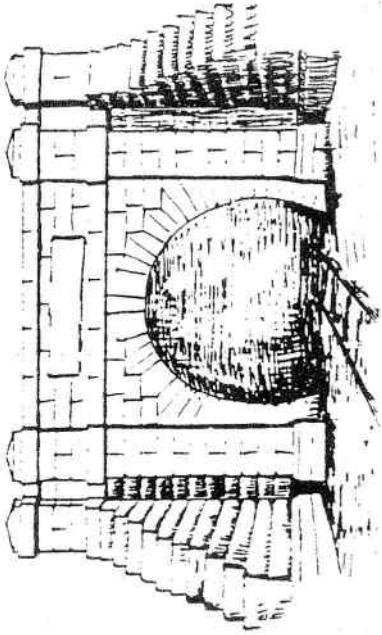
Geometrik anlamda, bir tünel ya da galerinin giriş-çıkış ağızı (portal), söz konusu yeraltı açıklığının yeryüzü ile yaptığı arakesit olarak tanımlanabilir. Ancak, giriş-çıkış ağızını, kendine özgü koşulları nedeniyle, yeraltı açıklığı ile yerüstü etkileşiminin çok yoğun olduğu üç boyutlu özel bir bölge olarak değerlendirmek mühendislik açısından daha gerçekçi bir yaklaşım olacaktır. Nitekim, Barton ve arkadaşları (1974) yeraltı açıklıklarını sınıflandırırken giriş-çıkış ağızlarını ayrı bir kategoride değerlendirmişlerdir. Benzer şekilde, Yüzer ve Vardar (1986) da yeraltı kaya yapıları arasında "giriş yapıları" olarak tanımladıkları sınıfın, yeraltı ve yerüstü kaya mekaniğinin ortak çalışma alanına girdiğini belirtmektedirler.

Giriş-çıkış ağızları ve buralarda inşa edilen yapılar, söz konusu tünelin kullanım amacına bağlı olarak farklılıklar göstermektedir (Şekil 1). Özellikle, bazı ulaşım tünellerinin ağız yapılarının mimari görünüşü, tünelin yapısal önemini vurgulamaktadır (Szechy, 1973). Bir bakıma, "bir tünelin ağızı, yapımcısının kartviziti (Müller, 1978)" olarak kabul edilebilir.

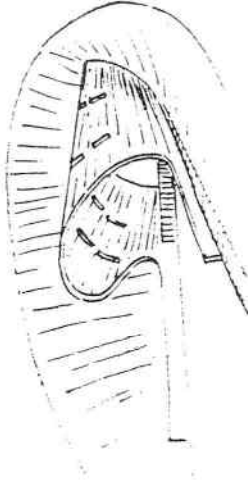
Tünel veya galerinin tüm uzunluğuna kıyasla genellikle daha küçük boyutlarla sınırlı bir etki alanı olan ağız kısmı, tünelin açılması ve kullanımı süresince kesintisiz olarak işlevini sürdürmesi gereken önemli bir bölgedir. Öyle ki, yeraltı açıklığını yeryüzüne bağlayan bu bölgede, yüksek derecedeki bir yapısal duraylılığın açıklığın tüm ömrü süresince sağlanması zorunluluğu vardır. Öte yandan, tünellerin bu önemli bölgelerinde çeşitli duraysızlıklar ve hatta göçükler ile sık sık karşılaşmaktadır.

Bu çalışmada, öncelikle tünel veya galerilerin giriş-çıkış ağızlarında karşılaşılan yapısal duraysızlıklar değerlendirilmiş ve sorunların başlıca ne-

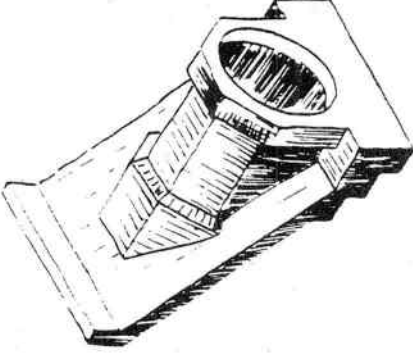
(*Y. Doç. Dr. Müh., HÜ Zonguldak Müh. Fak., ZONGULDAK.



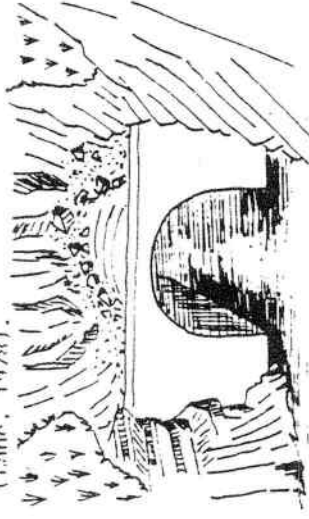
a. Honne Demiryolu Tüneli, Massachusetts, ABD.



c. Karayolu Tüneli, Pretoria, G. Afrika Cum.,
(Müller, 1978).



b. Garrison Barajı Tüneli, K. Dakota, ABD.
(Lane, 1978).



e. Zığana Karayolu Tüneli, Trabzon-tüneliğane.

Şekil 1. Çeşitli tünellerin giriş-çıkış ağzları.

denleri belirlenmiştir. Daha sonra da bu bölgelerin tasarımı için bazı yaklaşımlar gözden geçirilerek, yaygın kazı ve tahkimat uygulamaları üzerinde durulmuştur.

2. AĞIZLARDA KARŞILAŞILAN SORUNLAR

Madencilik amacıyla sürülen galerilerin veya inşaat mühendisliği amacıyla açılan tünellerin ve benzeri yeraltı kazılarının başlatıldığı giriş ağızları, jeolojik ortamdaki mevcut dengenin genellikle ilk olarak bozulduğu bölgelerdir. Teknik girişimin doğal olarak yeryüzünden başlayacağı ve ortamın derinliklerine doğru ilerleyeceği gözönünde tutulursa, ağız bölgesinin ne tam anlamıyla bir yeraltı açıklığı ne de yalnızca bir yerüstü kazısı olmadığı söylenebilir. Bu bakımdan, yerüstü ortamından yeraltı ortamına geçiş sırasında çoğu kez dramatik olarak değişen koşulların etkilediği bu bölgelerde, gerekli önlemlerin alınmaması durumunda çeşitli sorunlar ortaya çıkabilmektedir. Nitekim, ilgili yayınlarda tünellerin ağız bölgelerindeki artan duraysızlık potansiyelinin bir göstergesi olan göçükler ve benzer durumlarla ilgili çok sayıda örnek bulunmaktadır (Craig ve Brockman, 1971; Pacher, 1974; Paterson ve Arthur, 1979; Burnett, 1980; Barisone ve ark., 1983). Söz konusu örnekler arasında, bir'den fazla tünelin kazısını kapsayan hidroelektrik projeleri ile ilgili olanlar önemli bir yer tutmaktadır. Altınkaya, Aslantaş ve Çatalan barajları için açılan saptırma (derivasyon) tünellerinin ağızlarında meydana gelen göçükler, yurdumuzdan verilebilecek örneklerin yalnızca birkaçıdır (Basmacı, 1986; Karaoğullarından, 1986; Bozkurt, 1986).

Yukarıda sözü edilen örneklerin ışığında, galeri veya tünel ağızlarının kazısı ve inşasında karşılaşılan başlıca sorunlar ve nedenleri şu şekilde sıralanabilir:

- a. Tünel ağızlarının açıldığı bölgedeki kaya kütlesi, genellikle tünelin diğer bölgelerine kıyasla daha düşük niteliktedir. Çoğu zaman açık yarma kazısını en aza indirmek için, koşullar elverdiğince, bir vadi ya da tepe yamacında oluşturulan giriş bölgesini çevreleyen kaya kütlesi, yoğun atmosferik etkileşim yüzünden ayrılmış ve eklemli bir yapıdadır. Ayrıca, yamaçlar değişken kalınlıkta gevşek malzemeler (örneğin, moloz) ile örtülü olabilmektedir. Bu yüzden, özellikle yamaç eğiminin düşük olduğu yerlerdeki giriş kazılarında, açıklık üzerinde doğal arazi kemerinin oluşması için yeterli bir örtü katmanı kalınlığına ve sağlam kaya kütlesine hemen ulaşılamaz.

- b. Tünellerin giriş-çıkış bölgelerinde bir kazı aynasının oluşturulması ve ilerletilmesi doğal ve/veya yapay şevlerdeki duraylığı önemli derecede ve birkaç yönden etkiler. Şöyle ki: Şev topuğundaki yükün bir kısmı kazı yoluyla alınmaktadır; oluşturulan yeni serbest yüzeyler ile genellikle eklemli ve bloklu yapıda olan kaya kütlesi içinde gevşeme davranışı başlatılarak, üç boyutlu (özellikle şevin dışına doğru) yer değiştirmelere yol açılmaktadır; patlayıcı maddelerle kazı sırasında yüksek dinamik yükler oluşmaktadır.
- c. Girişlerin açılacağı bölgede, hem yüzey topoğrafyasının hem de jeolojik yapının önemli derecede etkileyeceği birincil gerilme alanının heterojen olması ve düzensiz bir değişim göstermesi olasılığı yüksektir. Özellikle, antiklinal kanatlarının yer aldığı yamaçlarda planlanan giriş-çıkış ağızlarını, tabakalanmaya paralel doğrultuda etkileyen ve genellikle beklenmedik derecede yüksek birincil gerilmelerin etkilediği bir bölgede açılacağı dikkate alınmalıdır.
- d. Patlayıcı maddelerle kazı durumunda, giriş-çıkış bölgelerinde karşılaşılan sorunlardan biri de aşırı sökülmenin yüksek olmasıdır. Aşırı sökülmedeki bu artışta, ilk atımlar sırasında (serbest yüzey konumunda olan) şev aynası ile etkileşimin ve düşük nitelikli kaya kütlesinin rolü büyüktür.
- e. Tünel girişinin açılması, kaya kütlesinin davranışı ile gerçek ölçülerde ilk kez karşılaşılan, seçilen kazı yönteminin belirli bir bölgede ilk kez denendiği, kazı ekibinin anlaşma ve uyum sorunlarının fazla olabileceği ve kazı ortamı ile kazı ekibinin iklim koşullarından doğrudan doğruya etkilenebileceği bir çalışmadır.

Özet olarak, tünellerin giriş-çıkış ağızları, bir bakıma, kayayı tanıma ve kazı yöntemini işler duruma getirme yolundaki ön deneyimlerin kazanıldığı, jeolojik yapının ve ortam koşullarının genellikle karmaşık olduğu çok özel bölgelerdir.

3. TASARIM YAKLAŞIMLARI

Tünel veya galeri ağızlarının açıldığı bölgelerin kendine özgü koşulları nedeniyle, buralarda yapılacak teknik girişimler (kazı, tahkimat, v.b.) için özel önlemlerin alınması gerektiği anlaşılmaktadır.

Herşeyden önce, yeraltı açıklıklarının tasarımında ilk aşama sayılan ve genellikle sonraki çalışmaların başarısını en çok etkileyen mevki araştırmaları (site investigations) safhasında ağız bölgelerine özel bir önem verilmelidir. Söz konusu bölgelerde yapılacak olan detaylı jeoteknik çalışmalarının, daha sonra ortaya çıkabilecek sorunların önceden belirlenmesinde çok yararlı olacağı kuşkusuzdur. Bu yüzden, tünel geçkisi boyunca gerçekleştirilecek olan sondaj programı kapsamında giriş-çıkış ağızları için en az birer sondaj bulunmalıdır (West ve ark., 1981).

Doğal olarak, giriş-çıkış ağızlarının tasarımında yer seçiminin önemi büyüktür. Ancak, yer seçimi her zaman mühendisin seçenekleri arasında bulunmayabilir. Yine de, ağızların, koşullar elverdiğince, yüksek nitelikli kaya bölgelerinde açılması için geçkide yapılan değişikliklerin bazen en uygun çözüm olduğu unutulmamalıdır.

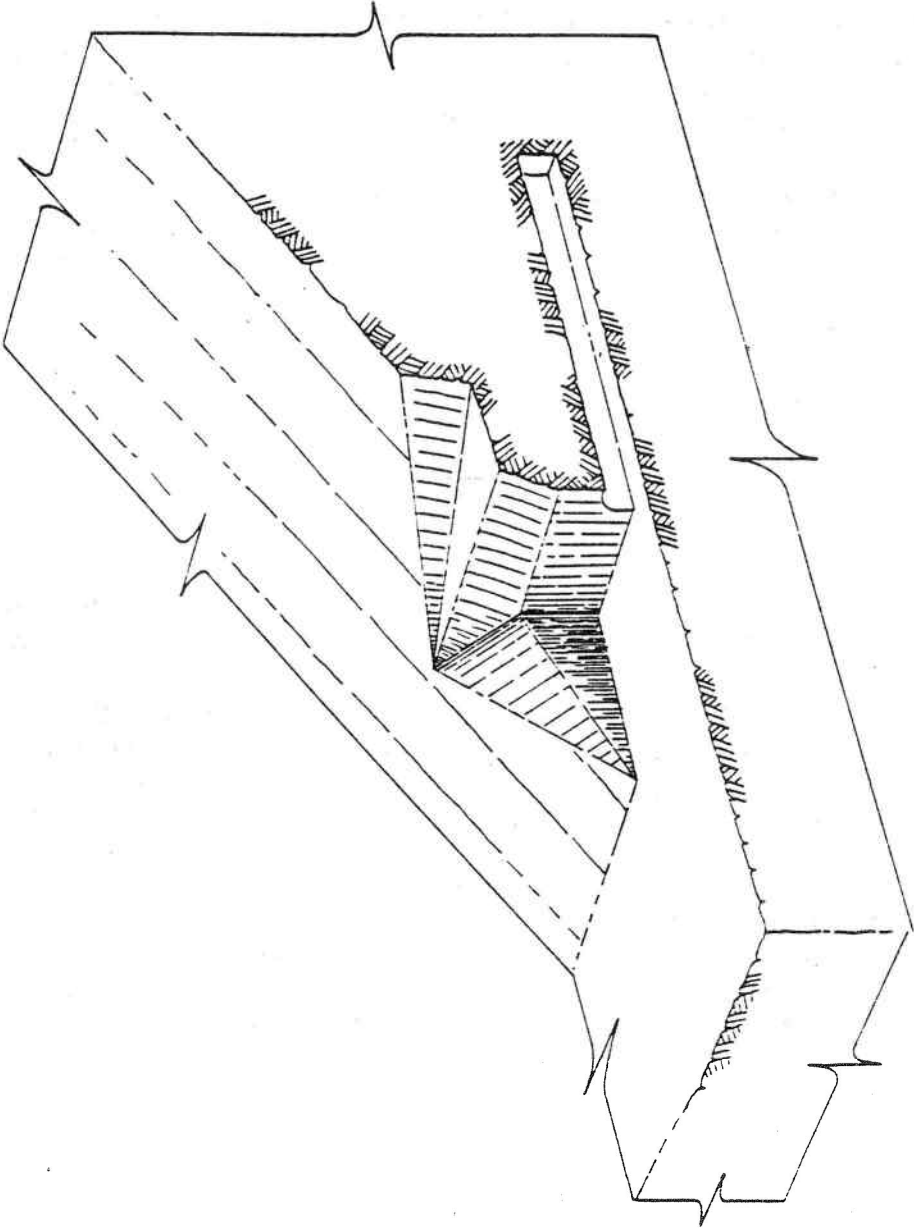
Bu bölümde, tünel ağızlarının tasarımında mühendise yardımcı olabilecek bazı yaklaşımlar üzerinde durulacaktır.

3.1. Sayısal Gerilme Çözümlemeleri

Giriş-çıkış ağızları, kazı aynası ya da kavşaklar gibi tünellerin üç boyutlu bölgeleri arasındadır (Gerçek, 1986). Bu gibi bölgelerin gerilme ve duraylık çözümlemesinde, geleneksel iki boyutlu düzlem birim şekil değiştirme yaklaşımlarının kullanılması hatalı olacaktır. Öte yandan, yeraltı açıklıkları ile ilgili üç boyutlu problemlerin çözümünde başarıyla kullanılan sayısal gerilme çözümlemesi yöntemlerinin (örneğin, sonlu elemanlar yöntemi) bile bu bölgelere uygulanmasında bazı güçlüklerin ortaya çıkacağı kuşkusuzdur. Şöyle ki: Bir taraftan üç boyutlu değişim gösteren serbest yüzeylerle sınırlandırılmış yarı-sonsuz bir kaya kütlesi içinde açılan giriş ağızı ve çevresinin (Şekil 2) bir bölümü süreksizliklerin etkisinde gevşeme davranışı gösterirken, bir bölümü de karmaşık geometri ve değişken birincil gerilmelerin etkisiyle şekil değişikliğine uğramaktadır. İşte, bu problemin söz konusu yöntemlerle gerçekçi olarak modellenebilmesi için bu konuda deneyimli tasarımcılar yanında, yüksek düzeydeki bilgisayar donanımı ve yazılımı olanaklarına gereksinim vardır.

3.2. Kaya Kütlesi Sınıflandırma Sistemleri

Kaya kütlesi sınıflandırma sistemlerinden, birisi dışında, hiçbirisi tünel



Şekil 2. Bir tünelin giriş ağzının ve çevresinin üç boyutlu kuramsal bir modeli.

ağızları için ek önlemleri kapsamamaktadır. Yalnızca Barton ve arkadaşları (1974) tarafından geliştirilen Norveç Jeoteknik Enstitüsü'nün (NGI) "tünellilik niteliği indeksi" (tunneling quality index ya da yaygın adıyla "Q-Sistemi", tünellerin giriş-çıkış ağızları için bazı ek düzenlemeler önermektedir. Bu sistemin kullanılmasında, "eklem takımı sayısı (J_n)" olarak tanımlanan parametre, tünellerin ağız bölgelerinde normal değerinin iki katı olarak alınmaktadır. Böylece, tünellilik niteliği indeksini veren Q, normal koşullardaki değerinin yarısı kadar olmaktadır. Bu şekilde, tünel ağızları ve çevresi için söz konusu olan yapısal zayıflığın etkisi de tasarımda gözönünde bulundurulmaktadır.

Ayrıca, bu sistemin geliştirilmesi sırasında elde edilen ve bir tünelin sürekli olarak desteksiz durabilecek genişliğinin üst sınırını veren görgül bağıntı ($2.ESR.Q^{0.4}$), giriş-çıkış ağızları için kullanıldığı zaman iki yönden etkilenmektedir. Birinci etki, yukarıda açıklandığı gibi Q'nun yarı değerinin alınması yoluyla olurken; ikinci etki de "kazı -destek oranı (ESR)" değerinin değişimi ile ortaya çıkmaktadır. Bilindiği gibi, Q-Sistemi'nde bir yeraltı açıklığının kullanım amacına bağlı olarak istenen duraylık derecesinin bir göstergesi olan kazı-destek oranı, giriş-çıkış ağızları için $ESR = 1$ olarak alınmaktadır. Bu bağıntıya göre, kalıcı (uzun süreli) maden açıklıklarının ($ESR = 1.6$) giriş-çıkış ağızlarında, desteksiz olarak kendini tutabilecek maksimum kazı genişliği, normal koşullarda alacağı değerin yaklaşık yarısı (0.47 katı) olmaktadır.

3.3. Şev Duraylılığı Çözümlemeleri

Tünel veya galeri kazısının başlatılacağı doğal yamacın ya da yarma kazısı sonucu oluşturulan şev(ler)in duraylılığını etkileyen faktörlerin hemen hemen tümü, giriş ağızının da duraylılığını etkilemektedir. Bu yüzden, giriş ağızlarının tasarımında genellikle şev duraylılığı çözümleme yöntemleri kullanılmaktadır (Craig ve Brockman, 1971; US Army Corps of Engineers, 1978; Bieniawski, 1978; Paterson ve Arthur, 1979). Bu yöntemlerin ortamın yapısına ve koşullarına, olası yenilme tipine, v.b. göre oldukça farklılıklar göstermesi ve şev duraylılığı konusunun çok geniş kapsamlı olması nedeniyle burada yalnızca tünel giriş-çıkış ağızları ile ilgili özel hususlara değinilecektir.

- a. Geleneksel iki boyutlu şev duraylılığı çözümlemelerinde, giriş kazısı sırasında alınacak olan kaya kütlesi yüzünden şev topuğundaki yükün azalması gözönünde bulundurulmalıdır.
- b. Tek bir tünel için yapılacak olan dar bir yarma kazısının, doğal yamaçta plan görünüşü içbükey olan bir şev oluşturacağı ve bu gibi

"içbükey şevlerin duraylılığının, iki boyutlu çözümlemelerdeki, sonsuz genişlikte olduğu varsayılan şevlere kıyasla daha yüksek olduğu (Hoek ve Bray, 1981)" unutulmamalıdır.

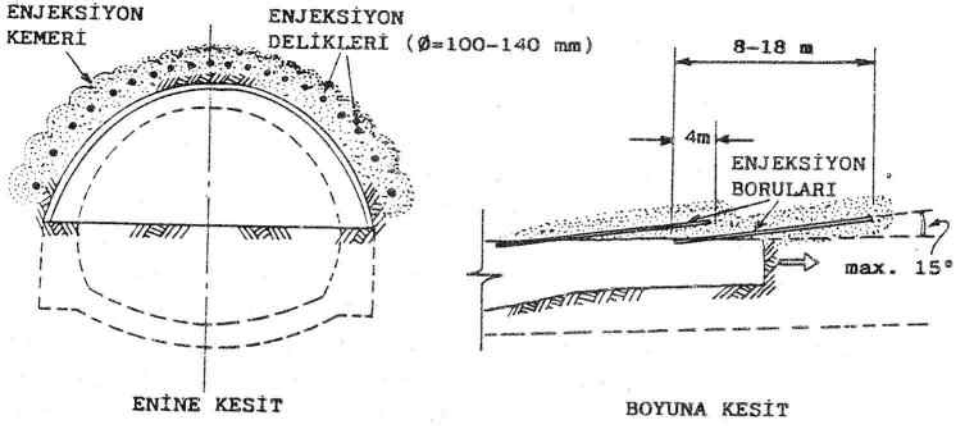
- c. Tünelin kazısının patlayıcı maddeler ile yapılması durumunda, oluşacak dinamik yüklerin ve benzer şekilde, deprem yüklerinin de şev duraylılığını önemli derecede etkileyebileceğine dikkat edilmelidir. Nitekim, depremler sonucu tünellerde oluşan yapısal hasarlar açısından en kritik bölgelerin giriş-çıkış ağızları olduğu anlaşılmaktadır (Dowding ve Rozen, 1978; Pratt ve ark., 1979).
- d. Bazen şevin duraylılığı açısından fazla kritik olmayan bir durumun, bu şevde oluşturulacak olan yeraltı açıklığının duraylılığını olumsuz yönde etkileyebileceği gözönünde tutulmalıdır. Örneğin, şev aynasına dik doğrultuda ve düşey konumlu bir eklem takımı, yalnız başına, şevin duraylılığı için çok kritik bir durum oluşturmazken; aynı eklem takımı, kazısı bu şevden başlatılacak olan tünelin eksenine paralel bir konumda olduğu zaman açıklığın duraylılığını olumsuz yönde etkileyecektir.

4. KAZI VE TAHKİMAT UYGULAMALARI

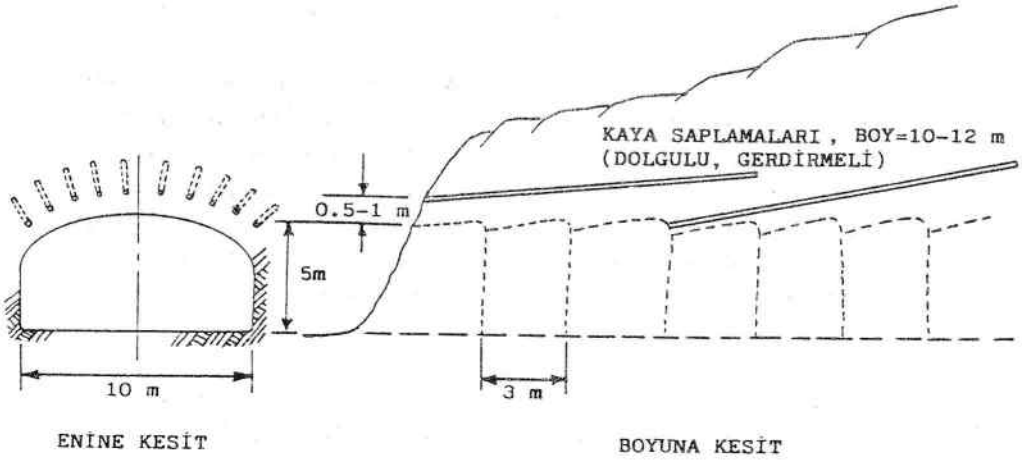
Tünellerin giriş-çıkış ağızlarında karşılaşılan sorunlar ile buralardaki yaygın ve başarılı uygulamalar dikkate alınarak aşağıdaki öneriler sunulmuştur.

- a. Bir tünel veya galeri ağzının açılmasında gözönünde tutulması gereken en önemli husus, açıklığın tavanı üzerinde kendi kendini tutabilen bir doğal arazi kemeri oluşturmaya uygun bir kaya örtüsü bulunması gereksinimidir. Söz konusu katmanın kalınlığı, seçilen bölgedeki kaya kütlesinin niteliğine bağlıdır. Ağız bölgelerini çevreleyen kaya kütlelerinin genellikle düşük nitelikli oluşu gözönünde tutularak, tünel ağzı üzerinde açıklık genişliğinin en az iki katı kalınlıkta bir örtü katmanının sağlanması ve bu katmanın üst yüzeyinde bir palye (yatay basamak) oluşturulması önerilmektedir (US Army Corps of Engineers, 1978). Bu palyenin düşen yüzey kayalarını tutmak, düşey konumlu kaya saplamalarını yerleştirmek için bir çalışma alanı sağlamak, yüzey sularını tutacak bir kafa hendeğine yataklık etmek, kaya kütlesinin davranışını izlemek amacıyla yerleştirilecek ölçüm aletlerine uygun bir yer oluşturmak, v.b. gibi çeşitli işlevleri olabilmektedir.

- b. Giriş ağzının açılacağı bölgede, yüzey topoğrafyası en uygun şekilde kullanılmalı, yarma kazısı gereğinden büyük yapılarak fazla malzeme alınmamalıdır (Pacher, 1974).
- c. Çok düşük nitelikli kaya kütleğinde, önceden enjeksiyon yaparak ortamın içsel dayanım parametrelerinin artırılması yoluna gidilebilir. Bu açıdan "şemsiye kemer" (umbrella arch) yöntemi, oldukça başarılı sonuçlar vermektedir (Barisone ve ark., 1983). Bu yöntemde, tünel kazı profilinin dışında, 0.5-1 m aralıklarla seçilen noktalardan, tünel eksenine ile (dışa doğru) en fazla 15°'lik açı yapacak şekilde, 100-180 mm çapında ve 8-18 m boyunda delikler açılmaktadır. Bu deliklere, delik dibinden itibaren boyunun üçte ikilik kısmında, üzerine 10 mm çapında delikler açılmış olan çelik borular (80-140 mm çapında ve 3-10 mm et kalınlığında) yerleştirilmektedir. Daha sonra, su/çimento oranı 1/1 ile 1/2 arasında değişen bir çimento şerbeti (% 5-10 bentonit katılabilir), 3-10 bar arasında değişen enjeksiyon basıncı ile deliklere pompalanmaktadır. Böylece, açılması planlanan tünelin tavanında, yarım bir kesik koni geometrisinde bir enjeksiyon kemeri oluşturulmaktadır (Şekil 3). Gerektiğinde aynı uygulama, tünelin kazısı yüksek nitelikli kaya kütleğine ulaşınca kadar tekrarlanabilir. Bu durumda, birbirini izleyen iki enjeksiyon şemsiyesinin yaklaşık 4 m'lik kısımları birbirinin üstüne binmektedir.
- d. Benzer şekilde, kazı profilinin yaklaşık 0.5-1 m dışından, yatayla (dışa doğru) küçük açılar yapan, uzun (10-15 m) deliklere gerdirmeli ve dolgulu kaya saplamaları uygulanarak, tünelin kazı profilinin tavanında, uzunlamasına bir sıkışma kemeri de oluşturulabilir (Schach ve ark., 1979). Bu gibi ön sağlamlaştırma (prereinforcement) uygulamaları, özellikle giriş ağzı üzerindeki kaya örtüsünün yetersiz kalınlıkta veya düşük nitelikli olduğu zamanlar önerilmektedir (Şekil 4).
- e. Özellikle gevşek zemin türü ortamlarda, tünel ağzının kazılacağı bölgede, önceden oluşturulan beton çakma kazık perdesi (diaphragm of concrete piles) yardımıyla yarma kazısının yüzeyleri duraylandırılabilir (Pacher, 1974; Barisone ve ark., 1983).
- f. Giriş-çıkış ağzları, olanaklar ve koşullar elverdiğince, yamacın eş yükselti eğrilerine dik doğrultuda açılmalıdır. Böylece, ağız yapısının ve tünel tahkimatının simetrik yüklenmesi sağlanacaktır.



Şekil 3. Şemsiye kemer yöntemi (Barisone ve ark., 1983).



Şekil 4. Kaya saplamaları ile ön sağlamlaştırma yöntemi (Schach ve ark., 1979).

- g. Patlayıcı madde kullanılması durumunda, çok kritik olan ilk birkaç atımda, delik uzunlukları ve aralıkları kısa tutulmalı ve delikler fazla yüklenmemelidir. Önçatlatma (presplitting) veya düzgün patlatma (smooth blasting) gibi kontrollü patlatma uygulamaları ile hem aşırı sökülmenin artışı hem de kayacın örselenmesi önlenmelidir (US Army Corps of Engineers, 1978).
- h. Giriş ağzından içeriye doğru, tünel genişliğinin enaz iki katı uzunluk-taki bir kısımda, dairesel çelik bağların sık aralıklarla uygulanması önerilmektedir (US Army Corps of Engineers, 1978). Öyle ki, palye ile tünel tavanı arasında kalan kaya örtüsünün tümünü taşıyabilecek şekilde boyutlandırılması gereken bu çelik bağların aralıkları, ağızdan uzaklaştıkça, azar azar normal değerlerine artırılabilir. Ayrıca, ağız bölgelerinde, düzensiz aşırı sökülme yüzünden iyi sıkılamayan bağların eksantrik yüklenmesi önlenmeli; bağların, tünelin eksenine paralel ve şev dışına doğru yüklenmesine karşı özel önlemler alınmalıdır (Lane, 1978).
- i. Bazen, düşük nitelikli kaya kütlesinde, tünel kazısı dar bir kesitle başlatılıp, güvenli bir örtü katmanını sağlandıktan sonra da normal kesitte kazıya devam edilmektedir; daha sonra, ağız bölgesi de içten dışarıya doğru genişletilmektedir (Pacher, 1974; Marchant, 1977).
- j. Hem şevin, hem de tünelin duraylılığını olumsuz yönde etkileyecek olan yüzey ve yeraltı sularına karşı önlemler alınmalıdır. Örneğin palyede oluşturulacak kaplamalı bir kafa hendeği ile yüzey suyu kesilebilir; ağız bölgesi ve çevresi püskürtme beton ile kaplanarak su etkisinden korunabilir; tünelin kazı profili dışında açılacak olan yatay drenaj delikleriyle yeraltı suyunun etkisi azaltılabilir.

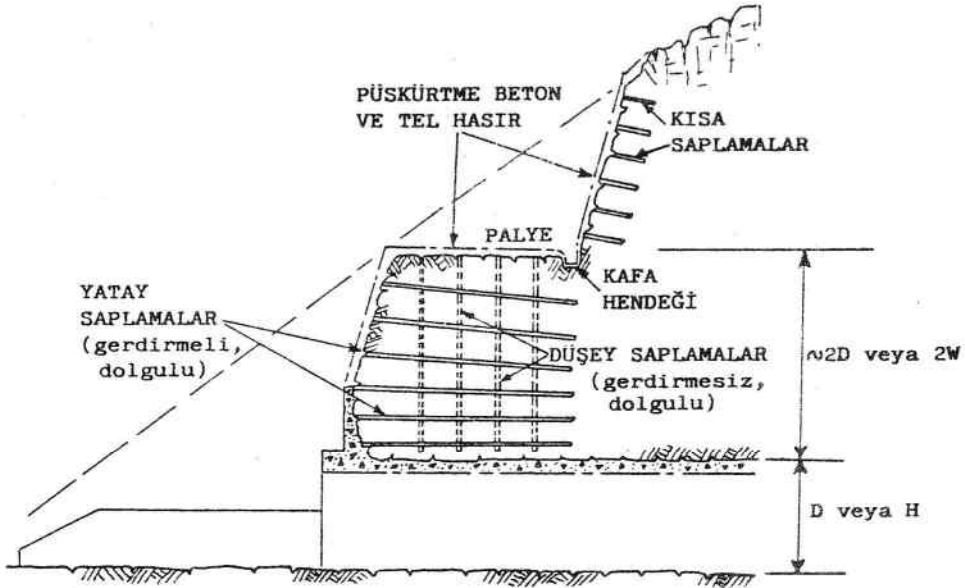
5. GİRİŞ-ÇIKIŞ AĞIZI TİPLERİ

Amerikan Ordu Mühendisleri Grubu, tünel giriş-çıkış ağzlarını, uygulanan tahkimat önlemleri ve inşaa şekillerine göre aşağıdaki tiplere ayırmıştır (US Army Corps of Engineers, 1978).

- a. **Tahkimatsız:** Yalnızca sağlam, yapısal zayıflıklar içermeyen, çok iyi nitelikli kaya kütlesinde mümkündür.
- b. **Korunma Örtülü:** Kaya kütlesinin genelde iyi nitelikli olmasına karşılık, giriş ağızı üzerindeki yüzeyde bulunan kaya blokları veya

parçaları göreceli olarak gevşekse ve düşme eğilimi gösteriyorsa, giriş noktasından dışarıya doğru belirli bir uzunluktaki bölgenin üzeri, tünelin uzantısı görünümündeki bir koruyucu yapı ile kaplanır.

- c. **Kaya Saplamaları ile Sağlamaştırılmış:** Orta derecede bloklu ve tabakalı kaya kütlelerinde uygulanan bu sağlamaştırma önlemleri, açılması planlanan giriş ağzının tavanından tünel genişliğinin yaklaşık iki katı yukarıda oluşturulan bir palyeden başlar. Buradan, tünel tavanına ve yan duvarlarına kadar uzanan düşey konumlu deliklere, çimento dolgulu gerdirmesiz kaya saplamaları düzgün aralıklarla (ortalama 1.5 m) yerleştirilir. Daha sonra, giriş ağzının açılacağı şev aynası oluşturulurken, yukarıdan aşağıya doğru kazılan her kademede bir sıra yatay (veya şev aynasına dik) konumlu delik açılır. Şev aynasından, palyenin uzak kenarına kadar uzanan bu düzgün aralıklı deliklere, dolgulu kaya saplamaları gerdirmeli olarak yerleştirilir. Ayna kazısında tünel seviyesine inince, saplamalar yalnızca planlanan kazı profilinin dışındaki yüzeylere uygulanır. Eğer kaya kütlesi ayrışmış, sık eklemli ya da bozunma eğilimi olan bir nitelikteyse, açılan yüzeyler tel hasır ve püskürtme beton kombinasyonu ile kaplanır (Şekil 5).



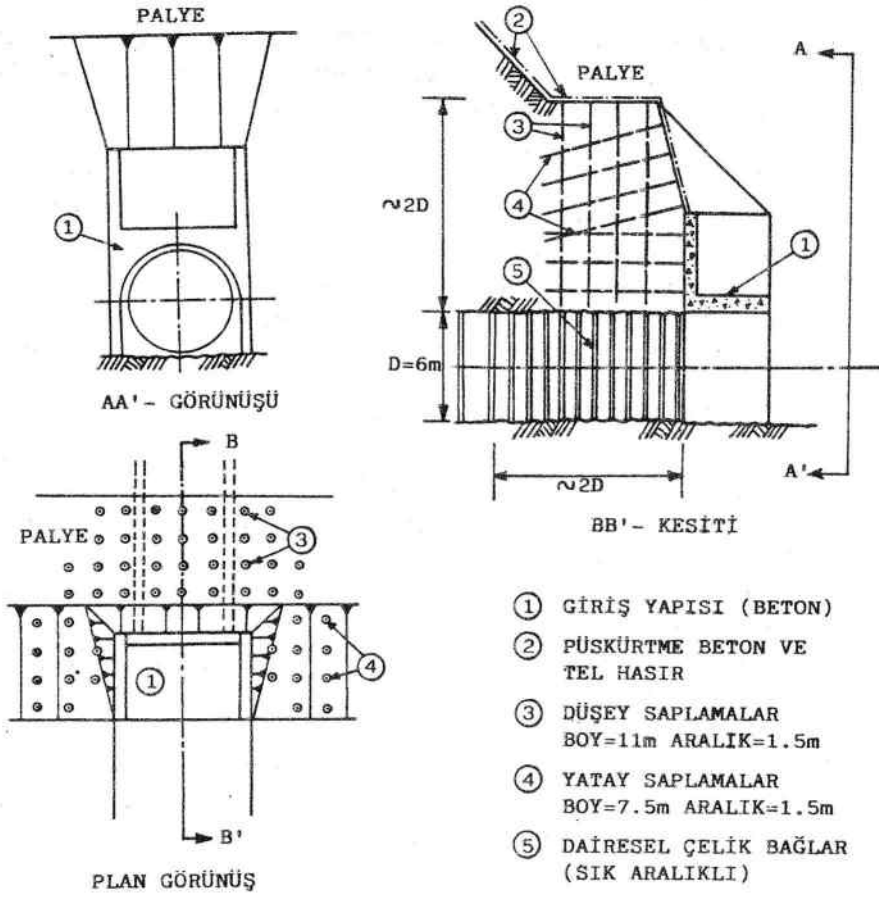
Şekil 5. Kaya saplamaları ile sağlamaştırılmış, palyeli bir tünel girişi

- d. Sağlamlaştırma ve Giriş Yapısı Birlikte:** Eğer yapılan şev duraylılığı incelemesi, "c" şikkında anlatılan sağlamlaştırma önlemlerine rağmen bir duraysızlık olasılığına işaret ediyorsa, ağız bölgesinde bir de "ağırlık tipi dayanma duvarı" işlevini görecek beton bir giriş yapısı inşa edilir. Bu duvar, hesaplamada ağırlık yapısı gibi davranacağı varsayılan ("c" şikkındaki yöntemle sıkıştırılmış) kaya kütlesinin karşılayamadığı, şevin aktif itki kuvvetlerini belirli bir güvenlikle dengeleyecek şekilde tasarlanır. Ancak, kaya saplamaları ile gerçekleştirilen sağlamlaştırma önlemlerinin, beton giriş yapısı inşa edinceye kadar bu bölgedeki duraylılığı korumasına dikkat edilmelidir.
- e. Kaz ve Kapa Tipi Giriş Ağızı:** Tünel giriş ağzının açılacağı bölgedeki kaya kütlesi çok düşük nitelikte olduğu zaman, yukarıda sözü edilen uygulamaların hiçbiri, şevdeki genel bir duraysızlık olasılığını ortadan kaldırmaya yeterli olmayabilir. Bu durumda, giriş ağzının belirli uzunluktaki bir bölgesi "kaz ve kapa" (cut and cover) yöntemi ile inşa edilir. Bir yarma kazısı şeklinde başlatılan bu bölümün, betonarme tahkimatı yapıldıktan sonra, üzeri doldurulur. Böylece, dolgu sayesinde topuğu yüklenen şevin duraylılığı da bir dereceye kadar artırılmış olur.
- f. Kuyu Şeklinde Giriş Ağızı:** Bazı özel amaçlı tünellerin (örneğin, kanalizasyon, metro, v.b.) girişleri, proje gereğince, düşey veya eğimli bir kuyu şeklinde açılmaktadır. Bu tip uygulamalarda alınan tahkimat önlemleri, oldukça farklılıklar göstermektedir.

Şekil 6'da, Warm Springs Barajı (California, ABD) için açılan dairesel kesitli bir tünelin, yatay tabakalı kumtaşı içinde inşa edilen ağzının kesit ve görünüşleri verilmiştir.

6. SONUÇ

Giriş-çıkış ağzları, tünel veya galerilerin kritik bölgeleri arasındadır. Bu özel bölgelerde, bazen kaçınılmaz bir şekilde artan yapısal duraysızlık potansiyeli, karşılaşılan sorunların en belirginidir. Ağız bölgelerinin tasarımında, yeraltı ve yerüstü kaya yapıları için geçerli prensiplerin sentezi niteliğindeki bir yaklaşım gereklidir. Doğal olarak, her projenin kendi koşullarına göre değerlendirilmesi gerektiği için standart bir çözüm olamayacağı kuşkusuzdur. Nitekim, bu yazı ile özellikle gözününde tutulması gereken hususlara dikkat çekmek ve bazı başarılı uygulamaları da mühendisin seçenekleri arasına sunmak amaçlanmıştır.



Şekil 6. Warm Springs baraj tüneli ağzının kesit ve görünüşleri (US Army Corps of Engineers, 1978).

KAYNAKLAR

1. BARISONE, G., PELIZZA, S., PIGORINI, B., Italian Experiences with Tunnel Portals in Difficult Ground. Proc. Eurotunnel'83 Conference, Basle, Swiss., 22-24 June 1983, Access Conferences Ltd., Bucks, UK, 1983, pp. 157-163.
2. BARTON, N., LIEN, R., LUNDE, J., Engineering Classification of Rock Masses for the Design of Tunnel Support. Rock Mechanics, Vol. 6, 1974, pp. 189-236.
3. BASMACI, E., Altinkaya Barajındaki Tünellerin Açılması: Çıkan Problemler ve Çözümler. Tünellerin Projelendirilmesi ve İnşası Semineri, 5-9 Mayıs 1986, Adana, Cilt I, DSİ, 1986, s. 9/1-30.

4. BIENIAWSKI, Z. T., Kişisel görüşme, 1978.
5. BOZKURT, S., Çatalan Barajı Derivasyon Tünellerinde Uygulanan Tünel Kazı-Destekleme Yöntemi ve uygulama Sonuçları. Tünellerin Projelendirilmesi ve İnşası Semineri, 5-9 Mayıs 1986, Adana, Cilt II, DSI, 1986, s. 28/1-24.
6. BURNETT, R. G., Tunnel Portal Failure at De Gray Dam. Underground Space, Vol. 4, No. 6, 1980, pp. 355-359.
7. CRAIG, C. L., BROCKMAN, L. R., Survey of Tunnel Portal Construction at US Army Corps of Engineering Projects. Symp. on Underground Rock Chambers, ASCE, Phoenix, Arizona, 1971.
8. DOWDING, C. H., ROZEN, A., Damage to Rock Tunnels from Earthquake Shaking. ASCE Journal of the Geotechnical Eng. Div., Vol. 104, No. GT2, 1978, pp. 175-191.
9. GERÇEK, H., Stability Considerations for Underground Excavation Intersections. Mining Science and Technology, Vol. 4, No. 1, 1986, pp. 49-57.
10. HOEK, E., BRAY, J., Rock Slope Engineering. The Institution of Mining and Metallurgy, London, 1981, 3rd Edition, 358 p.
11. KARAOĞULLARINDAN, T., Aslantaş Barajı ve HES Derivasyon Tünellerinde Yapılan Jeoteknik Çalışmalar. Tünellerin Projelendirilmesi ve İnşası Semineri, 5-9 Mayıs 1986, Adana, Cilt II, DSI, 1986, s. 26/1-23.
12. LANE, K. S., Buttress Portals at Garrison Tunnels. Underground Space, Vol. 3, No. 3, 1978, pp. 141-143.
13. MARCHANT, R. Le, Construction of the New Moelwyn Tunnel, Tunnels and Tunnelling, Vol. 9, May 1977, pp. 39-40.
14. MÜLLER, L., Der Felsbau, Dritter Band: Tunnelbau. Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart, 1978.
15. PATERSON, T., ARTHUR, L. J., Tunnel Portals at Dinorwic, North Wales. Tunnelling'79, M. J. Jones (ed.), The Institution of Mining and Metallurgy, London, 1979, Paper 13, 14 p.

16. PACHER, F., Zur Sicherung grosser Tunnelvoreinschnitte, Rock Mechanics, Supplementum 3, 1974, pp. 79-88.
17. PRATT, H. R., STEPHENSON, D. E., ZANDT, G., BOUCHON, M., HUSTRULID, W. A., Earthquake Damage to Underground Facilities. Proc. 1979 RETC, Atlanta, GA, June 18-21, 1979, SME of AIME, New York, Vol. 1, 1979, pp. 19-51.
18. SCHACH, R., GARSHOL, K., HELTZEN, A. M., Rock Bolting: A Practical Handbook. Pergamon Press, Oxford, 1979, 84 p.
19. SZECHY, K., The Art of Tunnelling. Akademiai Kiado, Budapest, 1973, 1069 p.
20. US ARMY CORPS OF ENGINEERS, Shafts and Tunnels in Rock, Engineer Manual EM 1110-2-2901, 1978.
21. WEST, G., CARTER, P. G., DUMBLETON, M. J., LAKE, L. M., Rock Mechanics Review: Site Investigation for Tunnels. Int. J. Rock Mech. Min. Sci. and Geomech. Abstr., Vol. 18, 1981, pp. 345-367.
22. YÜZER, E. ve VARDAR, M., Kaya Mekaniği. İTÜ Vakfı Kitap Yayınları, NO. 11, İTÜ Maden Fakültesi Ofset Atölyesi, İstanbul, 1986, 187 s.

SİSMİK HIZ İLE EKLEM TİPİ SÜREKSİZLİKLERİN SAPTANABİLİRLİĞİ

Yadıgar V. MÜFTÜOĞLU*

1. GİRİŞ

Bir kaya mekaniği projesinde kaya malzemesi özelliklerinin yanısıra, kaya kütlesi içindeki mevcut süreksizlikler de projenin tasarım ve uygulanmasında önemli bir role sahiptirler. Bunlardan örneğin; faylar, kıvrımlar ve katmanlaşma düzlemleri, eklem (joint) tipi süreksizliklere kıyasla daha uzun mesafeler boyunca devamlılık gösterdiklerinden, bilinen klasik araştırma yöntemleri ile belirlenmeleri büyük bir güçlük arz etmemektedir. Fakat bu eklem tipi süreksizlikler; konum, içlerindeki dolgu maddesi, dayanım, yüzey pürüzlülük derecesi ve bulunuş aralıkları gibi özellikleri ile kaya kütlesinin mekanik davranışı üzerinde önemli bir etkiye sahiptirler. Bu özelliklerin büyük bir bölümü, projenin araştırma safhasında yapılan sondajlardan elde edilen karot örneklerinden yararlanılarak saptanabilmektedir. Eklemler arası mesafenin (özellikle doğrultu ve yatım itibarıyla aynı takıma ait eklemlerin dağılım aralıklarının) güvenilir ve istenilen duyarlılıkta belirlenebilmesi oldukça güçtür. Tortul kayaç birimlerinde bu eklem tipi süreksizlikler, genellikle katmanlaşma düzlemline göre dikey konumlarda bulunmakta ve dağılım aralıkları yatay yönde aynı kaya biriminde bile değişken bir özellik gösterebilmektedir. Bu da sorunu çözülmesi güç, üç boyutlu karmaşık bir model şekline dönüştürmektedir. Bu yazıda, kaya kütlesi içinde sismik hız ölçümlerinden yararlanılarak, eklem dağılım aralıklarının saptanabilirliği incelenmektedir.

2. SİSMİK HIZ BELİRLEME YÖNTEMLERİ

Bilindiği üzere sismik bir olay sonucu oluşan şok dalgaları, farklı ortamlarda farklı hızlarda yayılma gösterir. Bir zemin üzerine yerleştirilmiş metal bir plakaya balyozla vurulması, zeminin üzerine ağır bir kütlenin düşürülmesi veya açılan bir çukur içinde patlayıcı maddenin ateşlenmesi gibi olaylar sonu-

(*) Y. Doç. Dr. Müh., H.Ü. Zonguldak Müh. Fak. Maden Müh. Böl., ZONGULDAK

cunda, genelde önemli iki tür sismik dalga oluşmaktadır. Bunlardan P- dalgaları veya boyuna dalgalarda ilerleme ve titreşim aynı yöndedir. S- dalgaları veya enine dalgalarda ise, titreşim ilerleme yönüne diktir. P- dalgaları, S- dalgalarına kıyasla daha hızlı olduğundan, ilk ulaşan dalga olmakta bu nedenle belirlenmeleri daha kolaydır. S- dalgaları ise, daha yavaş yayıldıklarından belirlenmeleri daha güçtür, fakat buna karşın kaya kütlelerindeki yapısal süreksizliklere karşı daha duyarlıdır (Stacy, 1976). S- dalgalarının belirlenmelerinde karşılaşılan bu tür güçlükler, bunların kaya kütle özelliklerinin tanımlanmasına uygulanabilirliğini sınırlayıcı bir rol oynamıştır. Yazıda bundan sonra kullanılan sismik hız deyimi ile P- dalgalarının yayılım hızı tanımlanmaktadır.

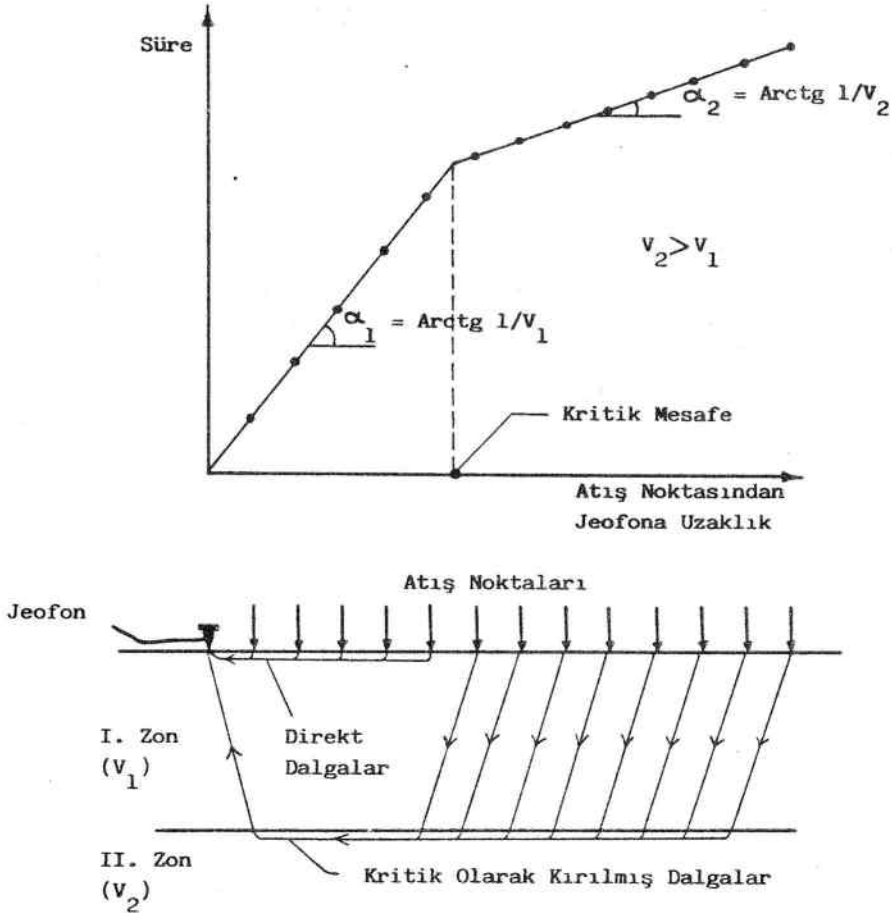
Burada konuya uygunluğu açısından iki ayrı yöntem üzerinde durulmaktadır. Bunlar zemin özelliklerinin araştırılmasında çok yaygın olarak kullanılan Sismik Kırılma (Seismic Refraction) ve Çapraz Delik Sismiği (Cross-hole Seismic) yöntemleridir.

2.1. Sismik Kırılma Yöntemi

Bu yöntem, konu ile ilgili birçok jeofizik kitaplarında detaylı bir şekilde işlendiğinden, burada kısaca değinilmekle yetinilecektir. Sismik kırılma yöntemi, yeryüzünde belirli bir hat boyunca yapılan atışlar sonucu, sismik dalgaların belirli uzaklıktaki noktalara ulaşım sürelerinin ölçümüne dayanır. Şekil 1'de sismik kırılma yöntemi prensibi basit bir şekilde şematik olarak gösterilmiştir. Şekilde sunulan durum tek kanallı bir sismograf içindir. Çok kanallı (örneğin 12 veya 24 kanallı) bir sismograf kullanma durumunda, atış noktalarının yerini jeofonlar alacaktır. Şekilden de görüleceği üzere, jeofona yakın ilk atış noktalarından jeofona ilk olarak ulaşan dalgalar, birinci zon içinden gelen direkt dalgalardır. Kritik mesafede ise, direkt dalgalar ve sismik hızı birinci zona kıyasla daha yüksek olan ikinci zon içinde kritik bir şekilde kırılmış olan dalgalar jeofona aynı sürede ulaşacaktır. Kritik mesafenin gerisinde ise, jeofon tarafından ilk olarak algılanan dalgalar ikinci zonda kritik olarak kırılmış dalgalardır. Jeofona ilk ulaşan dalgaların ulaşım sürelerinden yararlanarak, zaman-uzaklık diyagramları oluşturularak, elde edilen doğruların eğimlerinden sismik hızlar belirlenmektedir.

Ölçüm işleri bir hat boyunca tamamlandıktan sonra, genelde hem kontrol hem de eğimli tabaka durumunda gerçek sismik hızların belirlenebilmesi için diğer uçtan başlanarak ters yönde tekrarlanır. Gözlem hattı uzunluğunun kritik mesafenin en az 3-4 katı olması, ölçümler için yeterli olabilmektedir. Sismik kırılma yönteminde temel koşul, artan derinliğe paralel olarak tabakalar

içindeki sismik hızlarında artması gereğidir. Bu olmadığı takdirde düşük sismik hıza sahip zondan gelen dalgalar, sürekli daha yüksek hıza sahip zondan gelen dalgalar tarafından perdelenecektir. Bu yöntemin uygulanmasında



Şekil 1. Sismik Kırılma Yöntemi

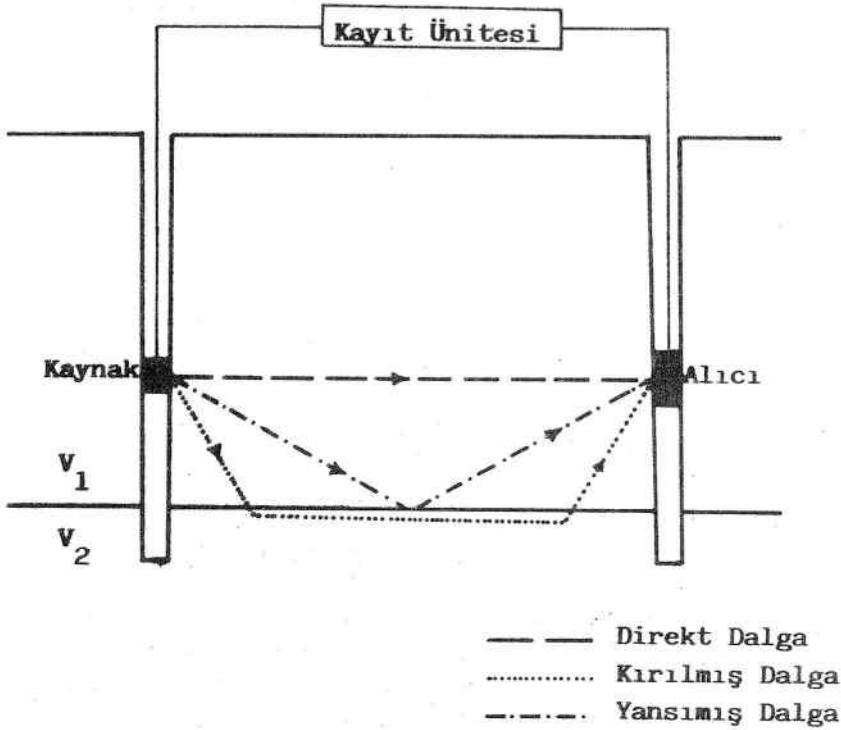
karşılaşılan çeşitli sorunlar, birçok araştırmacı tarafından detaylı bir şekilde incelenmiş olup (11, 13, 27), alternatif çözüm yöntemleri de geliştirilmiş bulunmaktadır (10, 31). Fakat yine de sismik kırılma yönteminin uygulama alanı sığ derinliklerden öteye geçememektedir. Yukarıda değinilen sorunlar ve derinlik sınırlamasına çözüm olarak, son yıllarda çapraz delik sismik yöntemi giderek

yaygın bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır.

2.2. Çapraz Delik Sismik Yöntemi

Bu yöntem, sismik kırılma yönteminin uygulanışında karşılaşılan sorun ve güçlükler çözümleri için geliştirilmiştir. Baraj yeri ve nükleer enerji santralleri gibi zemin özelliklerinin ve duraylılığının çok iyi belirlenmesi gereken, büyük ve önemli projeler bu yöntemin gelişmesinde etkin bir rol oynamıştır.

Yöntem, birine sismik enerji kaynağı diğerine sismik dalga belirleme cihazı yerleştirilmiş, çıplak veya muhafazalı iki veya daha fazla sondaj kuyularında uygulanmaktadır. Bu yöntemin uygulanışı Şekil 2'de gösterilmiştir. Kuyular veya sondaj delikleri arası mesafe, kaynak ve alıcı ünitesinin konumları zemin özellikleri ve projenin tür ve gereksinimine göre değişecektir. İdeal olarak, her zonun sismik hızlarının direkt dalgaların ulaşım sürelerinden be-



Şekil-2 Çapraz Delik Sismik Yöntemi

lirlenmesi gerekir. Bu da, söz konusu olan zonların kalınlıkları ve bunlara ait sismik hızlar arasındaki farklar dikkate alınarak, başlangıçta kuyular arasındaki uzaklık kısa seçilerek gerçekleştirilebilir. Her zonun sismik hızları belirlendikten sonra, daha geniş aralıklı kuyulardan elde edilen veriler, sismik kırılma kuramı ile kolayca analiz edilebilir. Ölçümlerde uygulanacak kuyu dizilim geometrisi, projenin özelliklerine göre belirlenecektir. Genelde birbirine dik profiller şeklinde bir düzenleme, sismik hız değerlerindeki farklardan yararlanılarak, süreksizlik dağılımının belirlenebilmesi açısından uygun bir yaklaşım şekli olabilir.

Çapraz delik sismik yönteminde, sismik enerji kaynağı olarak değişik türde araçlar kullanılmıştır. Bunların arasında en yaygın olanları, dolu bir kondansatörün deşarjı ile akustik gürültü yaratma prensibine dayanan "sparker" ve elektrik kapsüllü patlayıcılardır. Bu sparker türü kaynakların avantajları, tekrarlanabilirlik ve ateşleme zamanının daha hassas belirlenebilmesidir. Tekrarlanabilirlik özelliğinin önemi, kaydedilen sinyal özelliklerinin analiz edilerek jeoteknik parametrelerle korelasyonun araştırılabilme olasılığıdır. McCaan ve arkadaşları (1975) kaya kütlelerinin çatlaklı yapısının, kaydedilen sismik dalga boyunun artmasına neden olduğunu belirlemiştir. Farklı kapasite ve dış çapa sahip, birçok sparker geliştirilmiştir. Grainger ve McCaan (1977) bir sparker kullanarak akustik dalgaları, Oxford kilii içinde 400 m, tebeşir içinde 160 m'lik uzaklıklarda kayıt edebilmiştir. Hall ve arkadaşları (1979) ise, küçük çaplı kuyularda bile kullanılabilecek özellikte, dış çapları 25 ve 50 mm olan iki ayrı sparker geliştirmiştir. Sismik enerji kaynağı ile kuyu yüzeyi arasındaki temasın iyi bir şekilde olması hayli önemlidir, keza bu durum sinyali algılayacak jeofonlar için de geçerlidir. Kuyulara muhafaza borularının yerleştirilmesi, bu temasın mükemmel bir şekilde oluşması ve ayrıca kullanılan araçların kuyuya kolayca indirilip çıkarılması açısından önerilebilir.

3. MEVCUT ARAŞTIRMALAR

Bu bölümde, gerek sismik kırılma ve gerekse çapraz delik sismik yöntemleri ile kaya kütlelerinin jeoteknik özelliklerinin belirlenmesi üzerine yapılan çeşitli araştırmalar gözden geçirilmekte, laboratuvar çalışmalarından ziyade arazide yapılmış uygulamalı araştırmalar üzerinde durulmaktadır.

Onedera (1963), arazide belirlenmiş sismik hız (V_a) ile aynı kaya kütlelerinden alınan çatlaksız örnekler üzerinde laboratuvar da saptanan sonik hıza (V_1) olan oranının karesinden oluşan, bir hız oranı indeksi önermiştir. Bu indeksin gerekçesi, sismik ve sonik hızlar arasındaki farkın arazide kaya

kütlesi içinde mevcut yapısal süreksizliklerden kaynaklanabileceği düşüncesi-
dir. Örneğin, çok az sayıda eklemler bulunan masif kaya kütlesi için bu hız
oranı indeks değeri 1'e yaklaşırken, içinde çok daha fazla sayıda eklemler bu-
lunan kaya kütlesi için 1'in çok altında bulunacaktır. Bu index daha sonra
Deere (1968) tarafından geliştirilip, RQD (Rock Quality Designation) ve Çatlak
Sıklığı (Fracture Frequency) ile korelasyonu önerilmiştir. RQD ve hız oranı in-
deksi arasında direkt bir korelasyon beklemek, yanılgılara neden olabilir.
Çünkü düşey sondaj kuyularından elde edilen karotlarda RQD değeri, genelde
yatay veya yataya yakın konumlu süreksizlik düzlemlerinden etkilenecektir.
Bu süreksizlik düzlemleri özellikle tortul kayaçlarda takdir edileceği üzere, ge-
nellikle katmanlaşma düzlemlerine karşıt gelecektir. Buna karşı sismik
kırılma ve çapraz delik sismik yöntemlerinde, sismik hızı, katmanlaşma
düzlemlerinden ziyade bu düzlemlere göre ortogonal konumlu düşey veya
düşeye yakın süreksizlikler etkileyecektir. Dolayısıyla yazar hız oranı indek-
sinin RQD yerine eklem dağılım aralıkları ile korelasyonunun araştırılması-
nın daha uygun olacağı görüşünü savunmaktadır.

Coon ve Merritt (1970), büyük bir bölümü baraj inşası ile ilgili 12 ayrı lo-
kasyonda, değişik kaya türlerinde sismik hız ölçümleri yapmıştır. Sismik
hızlar, sismik kırılma, 3-D sonik loglama (3- Dimensional Sonic Logging) ve
"Uphole" sismik yöntemleri ile belirlenmiştir. 3-D sonik yöntemi, üzerinde so-
nik dalga üretme ve algılama üniteleri bulunan bir uzun tüp şeklindeki ölçüm
aleti ile sondaj kuyusu içinde 0,9 veya 1,8 m'lik uzunluklar boyunca sinyal gen-
liğinin ve ulaşım zamanının belirlenmesine dayanmaktadır. "Uphole" sismik
yönteminde ise, kuyu içinde belirli bir derinlikte ateşlenen patlayıcı maddeden
yararlanılmakta ve oluşan sismik dalgaların ulaşım süreleri ya yeryüzünde
veya aynı kuyu içinde yerleştirilmiş jeofonlar aracılığı ile belirlenmektedir.
Araştırmacılar, RQD ve hız oranı indekslerini kaya kütlelerinin mühendislik
sınıflandırması için uygun parametreler olarak önermektedir. Fakat RQD ve
hız oranı indeks değerlerinin korelasyonu için düzenlenen grafikte, verilerin
geniş bir alana dağıldıkları görülmektedir. Stowe (1972) ise, 3-D sonik yöntemi
ile granit formasyonunda kaya kütle özelliklerini saptamaya çalışmıştır. Kaya
içindeki mevcut süreksizliklerin dağılım aralıklarını belirlemek için karot
örneklerinden ve sondaj kuyusuna indirilen fotoğraf makinesinden yarar-
lanmıştır. Arazi ve laboratuvarında elde edilen sismik hız oranlarının karesi ye-
rinc sadece oranından oluşan hız oranı indeksi (V_a/V_1) ile süreksizlik dağılım
arasında iyi bir korelasyon gözlemiştir. Knill ve Jones (1965), yine Stowe gibi
hız oranı indeksini kullanarak, kuvarsit ve kumtaşları içinde çatlak sıklığını
belirlemeye çalışmıştır. Knill (1970) İngiltere'de bazı beton dolgu baraj saha-
larında yaptığı birçok sismik hız ölçümleri sonucunda, sismik hız ve hız oranı
indeks değerleri ile çimento dolgu enjeksiyon miktarı arasında bir lineer ilişki

gözlemiştir. Daha sonra Knill ve Price (1972), bu ilişkiyi kullanarak üç ayrı baraj yeri için çimento dolgu gereksiniminin başarıyla belirlendiğini ileri sürmektedir.

Diğer araştırmacılar (7, 14, 25, 26, 29) yaptıkları çalışmalarda sismik hız ile eklem sıklığı, tünellerde tahkimat türü ve gereksinimini saptamaya çalışmıştır. Ikeda ve arkadaşları (1981) bazı demiryolu tünellerinde sismik hız ile kayaların çatlak durumu, ayrışma ve suya doygunluk derecelerinin saptanabilirliğini incelemiştir. 0,45-0,75 arasındaki hız oranı indeks değerlerinin, diğer zonlara kıyasla, daha çatlaklı zonlara karşı geldiğini belirlemiştir. Crampin ve arkadaşları (1980) ise, sismik hız değerlerindeki değişimden yararlanarak, çatlak sıklığının, geometrisinin ve suya doygunluk oranının nasıl belirlenebileceğini araştırmıştır. P ve S- dalgalarının çeşitli sinyal karakteristiklerinin Fourier ve Spektral analiz yöntemleri ile incelenerek kaya kütle özelliklerinin saptanmasında kullanılabilirliği, Young ve arkadaşları (32, 33) tarafından araştırılmıştır. Bunun dışında, sismik hızlardan yararlanarak açık işletmecilikte kazı aracı ve ripper seçiminde kullanılmak üzere çeşitli abaklar geliştirilmiştir (1, 2).

Çapraz delik sismik yönteminin uygulamalarına gelince, bunlar genellikle nükleer enerji santralleri, tünel ve baraj yeri araştırmaları ile ilgilidir. Bernabini ve Borelli (1974) bu yöntemi bir kazı sahasının yakınındaki çatlaklı zonun belirlenmesi ve çimento enjeksiyonunun uygulanmasında başarı ile kullanmıştır. McCaan ve arkadaşları (1975) çapraz delik sismik yönteminin uygulanış şekillerini, bazı örneklerle birlikte tartışmakta ve suya doygun bir kaya kütlesi içinde, eğer eklemlerin tümü sıkı bir şekilde kapalı durumda ise, yalnız sismik hız değerlerinin eklemlerin saptanmasında yeterli olmayacağını, güvenilir ve sayısal bir tanımlama için kaydedilen sismik dalgaların sinyal özelliklerinin de incelenmesinin gerektiğini belirtmektedir. Cratchley ve arkadaşları (1976) ise, çapraz delik sismik ve diğer jeofiziksel yöntemlerden yararlanarak, bir tünel sahasını çevreleyen granit formasyonunun jeoteknik özelliklerinin belirlenmesini araştırmıştır. Sismik hız verileri ile bilinen bir fay zonunun korelasyonunda başarılı sonuçlar elde etmiştir. McLamore ve arkadaşları (1977) çapraz delik sismik yönteminin uygulanış şekilleri, sismik dalgaların belirlenebilmesi ve hız verilerinin analiz yöntemleri üzerinde durduktan sonra, değişik sismik enerji kaynakları kullanarak yaptıkları gözlemlerden örnekler vermektedir. Ries ve arkadaşları (1980) nükleer enerji santrali yapımı için zemin özelliklerinin saptanmasında çapraz delik sismik yöntemini başarı ile uygulamıştır. Paulsson ve King (1980) terk edilmiş bir demir ocağında, 340 m derinlikteki granit formasyonunda yaptıkları ölçümler sonucunda, özellikle kalsit dolgu eklemlerin sismik hız ve dalga genliğinde

belirgin azalmalara (attenuation) neden olduğunu gözlemiştir. Butler ve Curro (1981) ise, çapraz delik sismik yönteminin uygulanış şekillerini tartıştıktan sonra, gerek ölçümler sırasında ve gerekse verilerin analizi sırasında dikkat edilmesi gereken noktaları belirtmektedir.

Yukarıda değinilen kaynaklardan da görüleceği gibi, sismik kırılma ve çapraz delik sismik yöntemleriyle belirlenen sismik hızlardan yararlanılarak, birçok farklı kayaçların jeoteknik özellikleri, özellikle çatlak durumları değişik amaçlı projelerde genelde başarılı bir şekilde saptanabilmektedir.

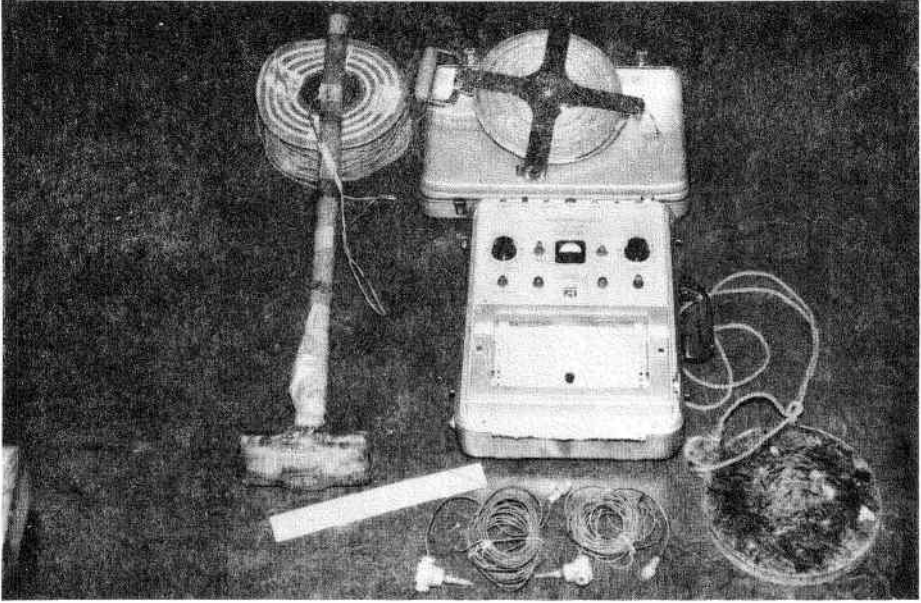
4. ARAZİ ÇALIŞMALARI

Yazar tarafından, İngiltere'de açık işletmelerde kömür çevre kayaçlarının kazılabilirlik özelliklerinin saptanmasına yönelik sürdürülen bir çalışmaya paralel olarak, gerek sismik kırılma ve gerekse çapraz delik sismik yöntemleriyle birçok sismik hız ölçümleri yapılmıştır (Müftüoğlu, 1983). Bu sismik hız değerleri ile kaya kütlelerinde yerinde yapılan gözlem ve ölçümler sonucunda saptanan eklem dağılım aralıklarının korelasyonu araştırılmıştır.

4.1. Sismik Kırılma Yöntemi Uygulamaları

Bu yöntem ile ölçümler, üretim halinde bulunan kömür açık işletmelerinin basamaklarında yapılmıştır. Uzunlukları genellikle 60-70 m civarında ve basamak aynasına paralel olarak gözlem hatları belirlenirken, patlayıcı madde ile gevşetme yapılan yerlerde, ölçüm noktalarının bu tür işlemlerin olası etkileri düşünülerek, basamak aynasından yeterince uzakta bulunmasına dikkat edilmiştir. Sismik hız ölçümlerinde kullanılan tek kanallı sismograf ve donanımları Şekil 3'de verilmiştir. Huntet Ltd. (Kanada) yapımı olan sismograf FS- 3 tipi olup, zaman ölçümlerindeki duyarlılığı ± 1 milisaniyedir. Sismik enerji kaynağı şekilde görülen demir plaka ve balyoz ile sağlanmaktadır. Gözlemlerde ölçüm noktaları ilk 15 m için 1,5-2 m aralıklı, 15 ile 60 m arasında ise 3 m'lik aralıklar şeklinde belirlenip, ölçümler bir yönde tamamlandıktan sonra, diğer uçtan başlanarak ters yönde aynı düzende tekrarlanarak sürdürülmüştür.

Sismik etüdler sırasında ölçüm yapılan basamağı oluşturan kaya birimlerinin jeoteknik özellikleri sistematik bir şekilde saptanmaya çalışılmıştır. Özellikle eklemlerin konumları, yüzey, dolgu, boşluk ve süreklilik özellikleri yapılan gözlemler ve çekilen ölçekli fotoğraflar ile detaylı bir şekilde incelenmiştir. Etüd edilen kumtaşı, çamurtaşı ve silttaşı gibi kaya birimlerinde genellikle 2 veya 3 adet farklı eklem takımlarının bulunduğu ve bunların da kat-

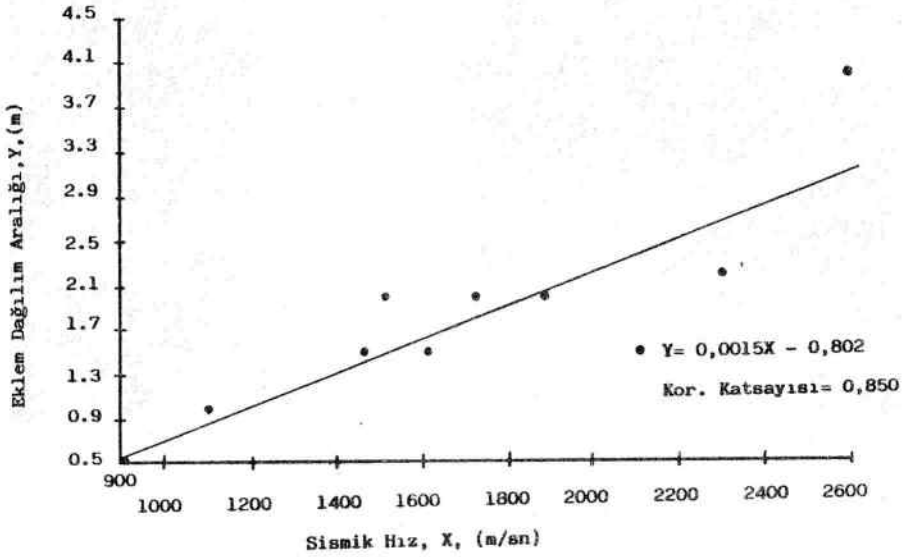


Şekil-3 Tek Kanallı Sismograf ve Donanımları

manlaşma düzlemlerine göre ortogonal konumlu oldukları gözlenmiştir. Sismik hız ölçümlerinin yapıldığı hattın doğrultusu yönünde eklemler arası ortalama dağılım aralıkları saptanmaya çalışılmıştır. Sismik hız değerlerinin sismik dalga ilerleme yönüne göre paralel konumlu eklemlerden ziyade, ortogonal konumlu eklemlerden etkileneceği varsayımı yapılmıştır. Şekil 4'de 10 ayrı lokasyonda ve genellikle suya doymun olmayan şevler üzerinde yapılan sismik hız ölçümleri ve gözlenen eklem dağılım aralıkları arasındaki ilişki görülmektedir. Bu iki parametre arasındaki ilişkinin doğrusal regrasyon analizi sonucunda, korelasyon katsayısı 0,850 olarak saptanmıştır. Şekilden de görüleceği üzere, bu iki parametre arasında çok belirgin olmasa bile temel bir ilişkinin varlığından söz edilebilir. Şekildeki verilerin farklı kaya birimlerinden elde edildiği, dolayısıyla her örneğin farklı yoğunluk, porozite, dayanım ve ayrışma özelliklerine sahip olduğu dikkate alındığında, bulunan bu ilişkinin düzeyi yeterince başarılı olarak nitelendirilebilir.

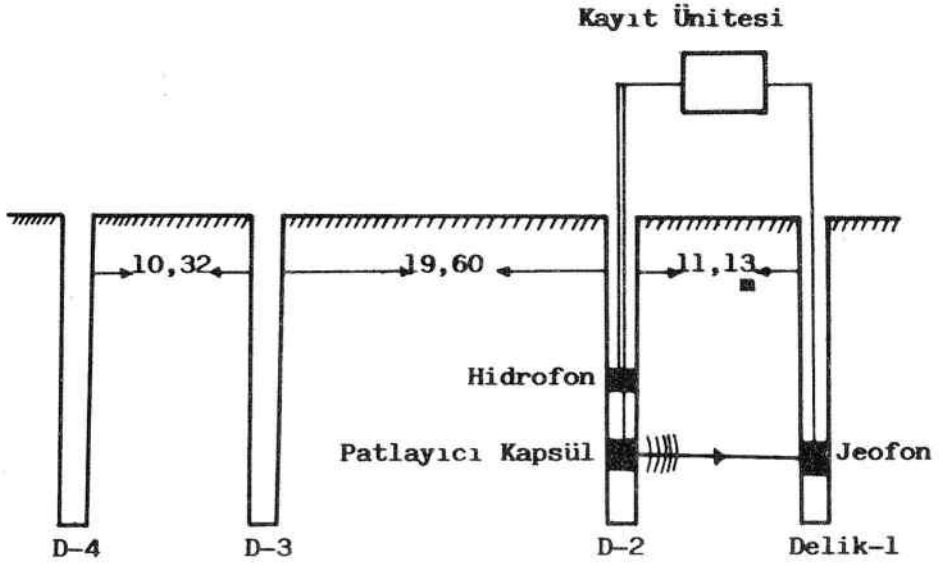
4.2. Çapraz Delik Sismik Yöntemi Uygulamaları

Sismik kırılma yöntemiyle elde edilen sismik hızlar ile çapraz delik sismik yöntemiyle belirlenen sismik hızların karşılaştırılabilmesi ve bu son yöntemin uygulanabilirliğinin araştırılmasına yönelik olarak yapılan çalışmalar, bu bölümde bir örnekle açıklanmaktadır. Bu amaç doğrultusunda,



Şekil-4 Sismik Hız ile Eklem Dağılım Aralığı İlişkisi

bir kömür açık işletmesi basamağında aynı haz üzerinde, 100 mm çaplı 4 adet delik açılmıştır. Daha sonra bu deliklerden birincisine, üzerinde jeofonlar bulunan ve yaylı kilit mekanizmasıyla delik duvarıyla sıkıca kenetlenilebilecek özellikte, bir sismik dalga algılama borusu (sonde) indirilmiştir. İkinci deliğe ise, alçıdan yapılmış silindirik bir kütlenin içine yerleştirilmiş, iki adet elektrikli kapsül ve onun 2 m üzerinde kalacak şekilde, bir hidrofon sarkıtılmıştır (Şekil 5). Daha sonra, içinde elektrikli kapsül ve hidrofonun bulunduğu delik su ile doldurulup ateşleme yapılarak, oluşan sismik dalgaların birinci deliğe ulaşım süreleri ölçülmüştür. Sismik dalga algılama borusu birinci delikte sabit tutularak, diğer 3 delikte farklı seviyelerde ikişer atış olmak üzere toplam 6 adet atış yapılmıştır.



Jeofonlar tarafından algılanan sismik dalgaların ulaşım süreleri, içinde gerekli sinyal düzenleyici üniteler, amplifikatör ve filtreler bulunan ölçüm cihazında, EMI Model- 40000 UV kayıt aracı ile belirlenmiştir. Ateşleme süresi, hidrofonun kayıt kâğıdı üzerinde bıraktığı işaretten yararlanarak belirlenmiştir. İlk iki atıştan elde edilen kayıtlar yeterince belirgin olmadığı için değerlendirmeye alınmamıştır. Diğer atışlara ait bilgiler ve elde edilen sismik hız değerleri Çizelge 1'de sunulmuştur. Bu 4 atışın sonucunda elde edilen sismik hız değeri 1512 m/sn olarak bulunmuştur. Atışların yapıldığı zon, yapı olarak masif, ayrışmamış, siltli çamurtaşı formasyonundan oluşmaktadır

Çizelge- 1 Çapraz Delik Sismik Yöntemi Sismik Hız Değerleri

Kuyu No	Atış No	Atış Derinliği (m)	Atış Noktası Jeofon Arası Mesafe (m)	Dalga Ulaşım Süresi (mili saniye)	Sismik Hız (m/sn)
3	3	6,5	30,88	19,4	1592
	4	4,5	30,88	19,9	1552
4	5	4,5	41,22	28,4	1451
	6	4	41,22	28,4	1451

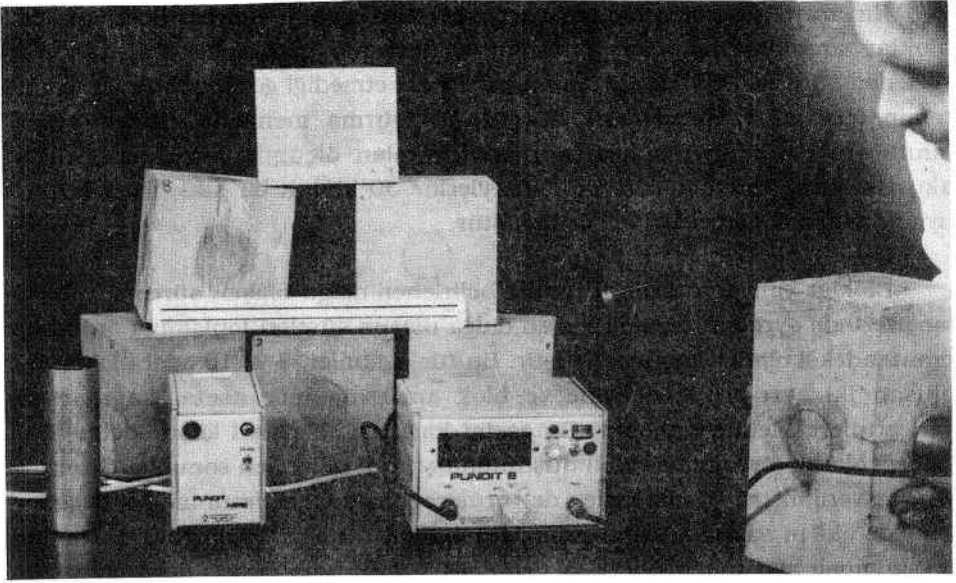
Aynı basamakta deliklerin çok yakınında ve birinci gözlem hattına paralel, 40 m uzunluğunda, ikinci bir hat boyunca sismik kırılma yöntemiyle ölçümler yapılmıştır. Sonuçta bu çamurtaşının bulunduğu zon için sismik hız 1510 m/sn olarak belirlenmiştir. Görüldüğü gibi bu değer de, çapraz delik sismik yöntemiyle saptanan sismik hız değeriyle tümüyle uyum içindedir. Dolayısıyla, çapraz delik sismik yöntemiyle elde edilen sonuçlar en az sismik kırılma yönteminin sonuçları kadar güvenilir olmaktadır. Daha önce de belirtildiği gibi, sismik kırılma yönteminin uygulanışı sınırlı derinlik ve uygun jeolojik koşullara bağlıdır iken, çapraz delik sismik yöntemi için böyle bir durum söz konusu değildir. Zaten giderek artan sayıda ve yaygın bir şekilde, çeşitli amaçlara yönelik mühendislik projelerinde kullanılması bunun doğal bir sonucu olmaktadır.

5. LABORATUVAR ÇALIŞMALARI

Arazide sismik hızları belirlenen kaya birimlerinden temsili blok numuneler alınmış ve bunlar laboratuvarda düzgün dikdörtgen prizmalar şeklinde hazırlanmıştır. Bu prizmaların yüzeyleri, sonik hız ölçümleri için aşındırma diskleri kullanılarak yüzey pürüzlükleri mümkün olduğunca giderilmeye çalışılmıştır. Daha sonra, sonik hız ölçümleri bu çatlak içermeyen düzgün, kuru bloklar üzerinde, katmanlaşma düzlemine dik ve paralel olmak üzere 3 ayrı yönde belirlenmiştir. Bu amaçla PUNDIT (Portable Ultrasonic Non-destructive Digital Indicating Tester) isimli elektronik sayaç ünitesinden yararlanılmıştır. Şekil 6'da PUNDIT ve sonik hız ölçümünde kullanılan bazı bloklar görülmektedir. PUNDIT esas olarak dijital zaman sayacı ve 2 adet 50 kHz frekanslı (biri verici diğeri alıcı) piezoelektrik ses algılayıcılarından oluşmaktadır. Belirlenen hız değerlerinin, blok geometrisinden etkilenmemesi için, ölçüm yapılan yöne dik yanıl blok genişliğinin en az dalga boyuna eşit olması gerekmektedir. 50 kHz'lik frekans değeri için bu boyut 80 mm'ye karşılık gelmekte olup, blok boyutları belirlenirken bu özelliğin gözönünde bulundurulması gerekmektedir. PUNDIT'in zaman ölçümlerindeki hassasiyet düzeyi $\pm 0,5$ mikrosaniyedir. Blok boyutları sürgülü kompaslarla en yakın 0,02 mm değerine kadar belirlenerek, sonik hız ölçümleri için gerekli hassasiyet arzu edilen sınırlar içinde kalacak şekilde ölçümler yapılmıştır.

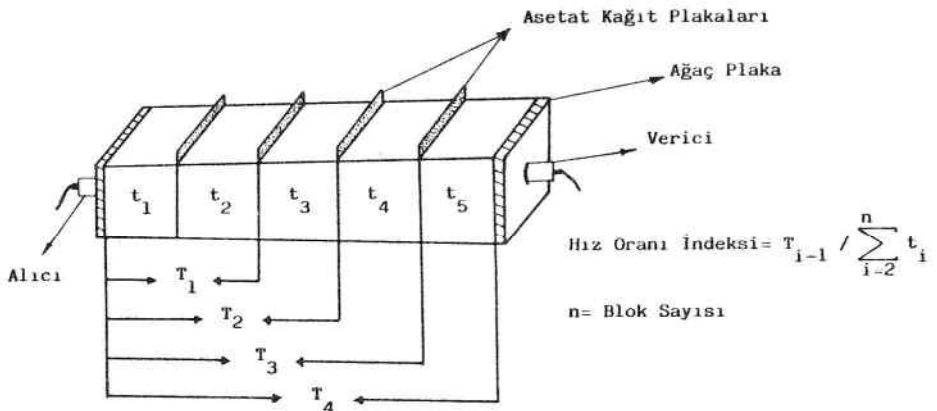
5.1. Süreksizliklerin Sonik Hıza Etkisinin Model Çalışmaları İle İncelenmesi

Dalga ilerleme yönüyle dik bir açı ile kesişim gösteren süreksizliklerin sonik hıza olan etkisi laboratuvarda modeller üzerinde incelenmiştir. Bu amaçla, düzgün prizmalar şeklinde hazırlanmış blok numuneler üzerinde, so-



Şekil-6 Bloklar Üzerinde Sonik Hız Ölçümleri ve PUNDIT

nik hızlar ayrı ayrı belirlenmiştir. Daha sonra, bu bloklar bir araya getirilerek bir uçtan diğer uca dalga ulaşım süreleri, her seferinde aynı uçtan bir blok devre dışı bırakılarak belirlenmiştir. Şekil 7'de bu model çalışmaları şematik olarak gösterilmiştir. Burada blokların temas yüzeyleri herbiri bir eklem gibi düşünülmüştür.



Şekil-7 Model Çalışmaları

Bir araya getirilmiş bloklar üzerinde dalga ulaşım süreleri belirlenirken, bloklar arasında sıkı bir kontakın sağlanması gerektiği, aksi takdirde gözlenen sürelerin çok düşük ve süreklilik arz etmediği görülmüştür. Bunu da temin için iki adet mekanik sürgülü sıkıştırma mengenelerinden yararlanılmıştır. Yük hücresi yerleştirilerek yapılan ölçümlerden sonra, en iyi akustik temas durumunun blok yüzeylerine 30 kN'luk bir sıkıştırma kuvveti uygulandığında gerçekleştiği görülmüştür.

Bloklar yanyana dizili durumda belirlenen dalga ulaşım süresinin, bloklar üzerinde ayrı ayrı ölçülmüş olan dalga ulaşım süreleri toplamına oranı, hız oranı indeksi olarak kabul edilmiştir. Bu tür ölçümler, 5 ve 10 adet bloklardan oluşan iki ayrı grup üzerinde ve blok aralarına ince asetat kağıtları da yerleştirilerek tekrarlanmıştır. Bu asetat kağıtları eklemleri içinde dolgu malzemesi olarak (örneğin kil gibi) düşünülmüştür. Elde edilen sonuçlar Çizelge 2 ve 3'de verilmiştir. Çizelgelerden de görüleceği üzere, hız oranı indeks değerleri genelde eklem sayısı arttıkça azalma eğilimindedir. Ayrıca dolgu durumlarında saptanan hız oranı indeks değerleri dolgusuz duruma kıyasla daha düşüktür.

Çizelge- 2 I. Grup Ölçümler İçin Hız Oranı İndeks Değerleri

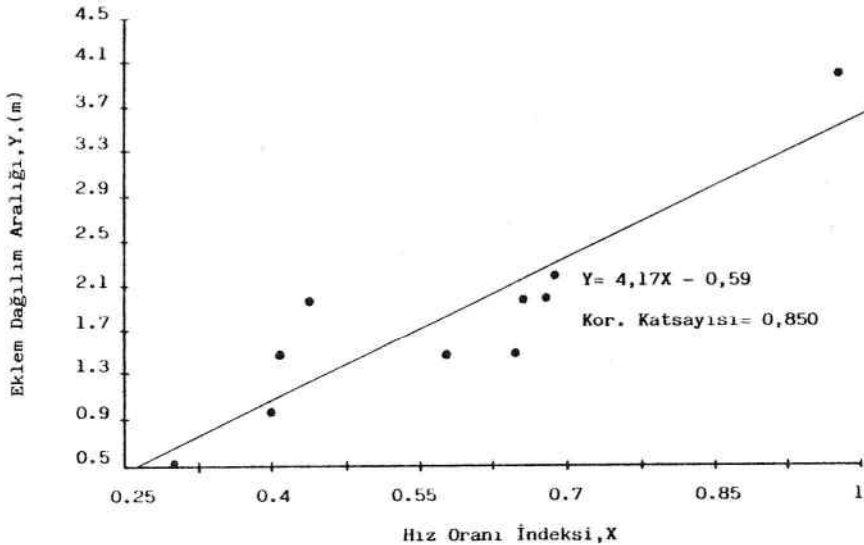
Eklem Sayısı	Hız Oranı İndeks Değerleri		
	Dolgusuz	1 Asetat Kağıtlı	4 Asetat Kağıtlı
5	0,94	0,93	0,92
4	0,94	0,93	0,92
3	0,95	0,95	0,91
2	0,97	0,96	0,94
1	0,99	0,98	0,97

Çizelge-3 II. Grup Ölçümler İçin Hız Oranı İndeks Değerleri

Eklem Sayısı	Hız Oranı Index Değerleri	
	Dolgusuz	2 Asetat Kağıtlı
9	0,94	0,90
8	0,94	0,89
7	0,95	0,91
6	0,93	0,90
5	0,95	0,92
4	0,94	0,91
3	0,95	0,94
2	0,97	0,96
1	0,98	0,97

5.2. Hız Oranı İndeksi İle Doğal Eklemlerin Korelasyonu

Laboratuvarda yapılan model çalışmalarında, hız oranı indeksi ile eklem sayısı arasında temelde bir ilişkinin var olduğu gözlenmiştir. Aynı yaklaşımla, arazide kaya kütlelerindeki doğal eklemlerin belirlenebilirliği araştırılmıştır. Bu amaçla, arazide belirlenen sismik hızlarla, laboratuvarda aynı kaya birimini temsil eden, çatlaksız blok numunelerindeki sonik hız değerlerinden yararlanılmıştır. Hız oranı indeksi, arazideki sismik hızın laboratuvardaki blok örneklerinde katmanlaşma düzelemlerine paralel yönde belirlenen sonik hızların ortalama değerine olan oranı bulunarak oluşturulmuştur. Katmanlaşma düzlemine dik yönde belirlenen sonik hızların, diğer yönlerde belirlenen hızlara kıyasla daha düşük olduğu görülmüştür. Katmanlaşmaya paralel yöndeki sonik hız ile buna dik yöndeki hızlar arasındaki farkın, katmanlaşma düzlemi boyunca olan hıza oranı, bir tür anizotropi indeksi şeklinde tanımlanabilir. Bu indeks, kayanın yapısına göre % 10 ile 24 arasında bir değişim göstermektedir. Sismik kırılma yönteminin uygulanışı sırasında, izlenen ölçüm hattı ile kesişim gösteren eklemlerin ortalama dağılım aralıkları ile hız oranı indeksi arasındaki ilişki, Şekil 8'de verilmiştir. Bu ilişkinin doğrusal regresyon analizi sonucunda elde edilen korelasyon katsayısı, 0,891 dir. Bu korelasyon katsayısı Şekil 4'de sismik hız için elde edilen değerden daha yüksektir. Çeşitli kayalar içindeki eklemlerin dolgu, boşluk ve yüzey pürüzlülük gibi değişken özellikleri gözönüne alındığında, hız oranı indeksi ile eklem aralıkları arasında burada gösterilen ilişki başarılı ve ümit vaat eden bir konu olarak nitelendirilebilir.



Şekil-8 Hız Oranı İndeksi ile Eklem Dağılım Aralığı İlişkisi

6. SONUÇ

Kaya kütlelerinin mekanik davranışını etkileyen önemli parametrelerden biri olan eklem dağılım aralıklarının, sismik hız ve hız oranı indeksi ile saptanabilirliği araştırılmıştır. Gerek konu üzerinde diğer araştırmacıların yaptığı çalışmalar ve gerekse bu yazıda sunulan örnek ve uygulamalar değerlendirildiğinde, sismik yöntemlerle bu çözümü hayli güç ve karmaşık olan soruna sınırlı bir düzeyde de olsa, çözüm getirebileceği sonucu ortaya çıkmaktadır. Sismik kırılma yönteminin uygulanmasındaki sınırlayıcı koşullar dikkate alındığında, çapraz delik sismik yöntemi kolaylıkla uygulanabilecek alternatif bir yöntem olarak önerilebilir. Ayrıca, jeomekanik projelerinde zemin ve kaya kütlesi özelliklerinin belirlenebilmesi için sahada çok sayıda karotlu veya korutsuz sondajlar yapıldığı hatırlanacak olursa, son yıllarda giderek yaygınlaşan bu yöntemin ülkemizde de uygulanması, getireceği ilave yatırımı elde edilecek yararlı sonuçlarla karşılayabilecek nitelikte olduğu söylenebilir.

KAYNAKLAR

1. ANON., Caterpillar Performance Handbook, A Cat Publication, 11 th Edition, Caterpillar Tractor Co., Peoria, Illinois, U.S.A, 1980.
2. ATKINSON, T., Selection of Open-Pit Excavating and Loading Equipment, Trans. Inst. of Mining and Metallurgy, Vol. 80, pp. A101-129, 1971.
3. BERNABINI, M. and BORELLI, G.B., Methods for Determining the Average Dynamic Elastic Properties of a Fractured Rock Mass and the Variations of These Parameters Near Excavations, In: Advances in Rock Mechanics, Vol. 2-A, Report of Current Research, Proc. 3rd Cong. Int. Soc. Rock Mechanics, Denver, Colorado, pp 393-397, 1974.
4. BUTLER, D. K. and CURRO, J.R., Crosshole Seismic Testing- Procedures and Pitfalls, Geophysics, Vol. 46, No.1, pp 23-29, 1981.
5. COON, R.F. and MERRITT, A.H., Predicting In-Situ Modulus Deformation Using Rock Quality Indices, American Society for Testing and Materials, SIP 477, pp 154-173, 1970.
6. CRAMPIN, S., McCONIGLE, R. and BAMFORD, D., Estimating Crack Parameters From Observations of P-Wave Velocity Anisotropy, Geophysics, Vol. 45, No. 3, pp 345-360, 1980.
7. CRATCHLEY, C.R., McCAAN, D.M. and ATEŞ, M. Application of Geophysical Techniques to the Location of Weak Tunnelling Ground, With an Example from the Foyers Hydroelectric Scheme, Loch Ness, Trans. of the Inst. of Mining and Metallurgy, Vol. 85, pp A 127-135, 1976.
8. DEERE, D.U., Geological Considerations, In: Rock Mechanics in Engineer-

- ing Practice, Eds. Stagg and Zienkiewicz, Wiley, New York, pp 1-20, 1968.
9. GRAINGER, P. and McCAAN, D.M., Interborehole Acoustic Measurements in Site Investigation, *Q.J. of Engineering Geology*, Vol. 10, pp 241-255, 1977.
10. GREEN, R., The Hidden Layer Problem, *Geophysical Prospecting*, Vol. 10, pp 166-170, 1962.
11. HAGEDORN, J.G., The Plus-Minus Method of Interpreting Seismic Refraction Sections, *Geophysical Prospecting*, Vol. 7, pp. 158-182, 1959.
12. HALL, J., MILLER, F. and SIMMONS, G., A Technique for the Precise Measurement of Acoustic Velocity in, and between, Boreholes with a Sparker Source, *Geoexploration*, Vol. 17, No. 3, pp 179-184, 1979.
13. HAWKINS, L.V., The Reciprocal Method of Routine Shallow Seismic Refraction Investigations, *Geophysics*, Vol. 26, No. 6, pp 806-819, 1961.
14. HELFRICH, H.K., HASSELSTROM, B. and SJOGREN, B., Geoscience Site Investigations for Tunnels, In: *The Technology and Potential of Tunnelling*, South African Tunnelling Conference, pp 65-69, 1970.
15. IKEDA, K., OSHIMA, H. and SAKURAI, T., The Property and the Seismic Wave Velocity of Fractured Zone, *Int. Symp. on Weak Rock*, ISRM, Tokyo, Theme 2, pp 167-172, 1981.
16. KNILL, J.L. and JONES, K.S., The Recording and Interpretation of Geological Conditions in the Foundations of the Roseires, Kariba and Latiyan Dams, *Géotechnique*, Vol. 15, pp 94-124, 1965.
17. KNILL, J.L., The Application of Seismic Methods in the Prediction of Grout Take in Rock, In: *In-Situ Investigations in Soils and Rocks*, British Geotechnical Soc., London, pp 93-100, 1970.
18. KNILL, J.L. and PRICE, D.G., Seismic Evaluation of Rock Masses, *Proc. 24th Int. Geol. Cong.*, Section 13, pp 176-182, 1972.
19. McCAAN, D.M., GRAINGER, P. and McCAAN, C., Interborehole Acoustic Measurements and their Use in Engineering Geology, *Geophysical Prospecting*, Vol. 23, pp 50-69, 1975.
20. McLAMORE, V.R., ANDERSON, D.G. and ESPANA, C., Crosshole Testing Using Explosive and Mechanical Energy Sources, In: *Dynamic Geotechnical Testing*, American Soc. for Testing and Materials, STP 654, Denver, Colorado, pp 30-55, 1977.
21. MÜFTÜOĞLU, Y.V., A Study of Factors Affecting Diggability in British Surface Coal Mining, Ph.D. Thesis, University of Nottingham, 1983.
22. ONEDERA, T.F., Dynamic Investigation of Foundation Rocks In-Situ, *Proc. 5th Symp. on Rock Mechanics*, Minnesota, pp 517-533, 1963.
23. PAULSSON, B.N.P. and KING, M.S., Between-Hole Acoustic Surveying and Monitoring of a Granitic Rock Mass, *Int. J. Rock Mechanics and Mining Sciences*, Vol. 17, pp 317-376, 1980.

24. RIES, E.R., JOHNSON, W.J. and MICHALOPOULOS, A.P., Verification of Rock Foundations for Nuclear Power Plants, Proc. Int. Conf. on Structural Foundations on Rock, Sydney, pp 3-7, 1980.
25. SCOTT, J.H., LEE, F.T., CARROLL, R.D. and ROBINSON, C.S., The Relationship of Geophysical Measurements to Engineering and Construction Parameters in the Straight Creet Tunnel Pilot Bore, Colorado, Int. J. Rock Mechanics and Mining Sciences, Vol. 5, pp 1-30, 1968.
26. SJOGREN, B. OFSTHUS, A. and SANDBERG, J., Seismic Classification of Rock Mass Qualities, Geophysical Prospecting, Vol. 27, pp 409-442, 1979.
27. SOSKE, J.L., The Blind Zone Problem in Engineering Geophysics, Geophysics, Vol. 24, pp 359-365, 1959.
28. STACEY, T.R., Seismic Assessment of Rock Masses, Proc. of the Symp. on Exploration for Rock Engineering, Johannesburg, pp 113-119, 1976.
29. STEPHANSSON, O., LANDE, G. and BODARE, A., A Seismic Study of Shallow Jointed Rock, Int. J. Rock Mechanics and Mining Sciences, Vol. 16, pp 319-327, 1979.
30. STOWE, R.L., Comparison of In-Situ and Laboratory Test Results on Granite, Trans. Soc. of Mining Engineers, AIME, Vol. 252, pp 194-199, 1972.
31. WHITELEY, R.J. and GREENHALGH, S.A., Velocity Inversion and the Shallow Seismic Refraction Method, Geoexploration, Vol. 17, pp 125-141, 1979.
32. YOUNG, R.P., COFFEY, J.R. and HILL, J.J., The Application of Spectral Analysis to Rock Quality Evaluation for Mapping Purposes, Bull. of the Int. Assocs. of Engineering Geology, No. 19, Krefeld, pp 268-274, 1979.
33. YOUNG, R.P. and HILL, J.J., Multivariate Analysis of Seismic Spectral Data for Rock Mass Characterization in Opencast Mining, Proc. 2nd. Int. Symp. on Computer Aided Seismic Analysis and Discrimination, North Rartmouth, Massachusetts, pp 110-117, 1981.

MÜHENDİSLİK YAPILARI İÇİN SIĞ SİSMİK UYGULAMALAR: İTÜ AYAZAĞA KAMPÜSÜ VE ALİBEYKÖY BARAJI

Mustafa C. TAPIRDAMAZ*

O. Metin İLKİŞİK**

1. GİRİŞ

Sismik dalgaların kayaçların içinde yayılımı incelenerek ortamın tabakalı yapısı ve elastik özellikleri arazide saptanabilir. Yol, baraj, tünel ve bina inşaatı gibi siğ sayılan mühendislik uygulamalarında elastik dalgalar balyoz veya benzeri bir ağırlığı yere düşürerek üretilir. Sismik kırılma yönteminde, boyuna (P) ve enine (S) titreşen elastik dalgaların belli bir doğrultu boyunca yayılma zamanı uzaklığa bağılı olarak kaydedilir. Sismik yansıma yönteminde ise kaynaktan çıkan elastik dalgaların tabakaları oluşturan ara yüzeylerden dik ya da dike yakın yansıma zamanları kaydedilir. Böylece o doğrultudaki yatay ve yataya yakın tabakaların kalınlıkları, içindeki yayılma hızları ve bunlara bağılı olarak bazı elastik özellikleri saptanabilir. Oldukça basit ve ucuz sayılabilir bir uygulama ile 40-50 m'ye kadar olan yeraltı yapısını projelendirme aşamasında tanımlamak; yeraltı boşluklarını, gevşek yapılı malzemenin kalınlığını, faylı veya yanal geçişli bir ortamı yerinde tanımlamak olanacağı vardır.

İstanbul Teknik Üniversitesi Ayazağa Kampüsünde Maden Fakültesi inşaatı alanında siğ sismik kırılma yöntemi uygulanmıştır. Yaklaşık 6000 m² lik bir bölümde 10'ar metre aralıklı 14 doğrultu boyunca yapılan ölçmeler üstte düşük hızlı (Vp= 350-500 m/s) ortalama 2,5-3 m. kalınlıkta bir toprak-alüvyon malzeme olduğunu göstermiştir. Altta yeralan grovvak-ya da kıltaşı ise Vp= 2000-2500 m/s hızına sahip olup ayrılmış bol çatlaklı kırıklı bir kayadır 8-10 m. kalınlıktaki bu zonun altında bulunan sağlam grovvak temel içinde ise sismik hız Vp= 3000-3500 m/s bulunmuştur. Bu birimlerin kalınlıklarındaki değişim ayrıntılı olarak haritalanmış ve ortamın hesaplanan bazı özellikleri laboratuvarı yapıları kaya mekaniği deney sonuçları ile kıyaslanmıştır.

(*) Müh., Kutlu Mühendislik Hürriyet Cad. 11. Yenibosna-Şirinevler, İstanbul.

(**) Doç. Dr. Müh., Jeofizik Mühendisliği Bölümü, İ.T.Ü. İstanbul.

İstanbul, Alibeyköy baraj alanında ise 1967 yılında inşaat başlamadan önce bir sığ sismik yansıma uygulaması yapılmıştır. Toplam 10 doğrultu boyunca yapılan yansıma ölçmeleri ile, özel bir biçimde dizayn edilen barajın oturacağı geniş alanda temel kaya derinliği ayrıntılı olarak haritalanmıştır. Ortalama 30-33 m. derindeki bu yayvan temel üzerine gelen ve yaklaşık 100 m. genişlikteki vadiyi dolduran kil ve kum katmanları içinde ortalama sismik hız $V_p = 1400$ m/s olup, bu katman sınırları yansıma kesitlerinde açıkça görülmektedir. Böyle bir sismik uygulamanın öncelikle projelendirme aşamasında büyük ekonomik yarar sağlayacağı açıktır.

2. İLKELELER

Doğal ya da yapay etkiler ile yer kabuğu içinde ortaya çıkan elastik dalgaların kaynağı, yayınımlı, soğurulması, sönümü ve bunlardan yararlanarak ortamın elastik özelliklerinin ve tabakalı yapısının bulunması jeofizikte sismik yöntemlerin konusunu oluşturur. Sismik dalgalar önce cisim ve yüzey dalgaları olarak ikiye ayrılır. Cisim dalgaları, tekdüze yönbağımsız ve elastik bir ortam içinde bir hacim değişmesi dalgası (P veya birincil), bir de eşit hacim dalgası (S veya ikincil) olarak iki türde gözlenir (Şekil 1a ve b). P türü cisim dalgaları gözlem noktalarına ilk olarak ulaşır ve ortam değişkenlerine bağlı olarak

$$V_p = [(\lambda + 2\mu) / \rho]^{1/2} \quad (1)$$

$$= [(E/\rho) \cdot (1 - \sigma^2) / (1 - \sigma - 2\sigma^2)]^{1/2}$$

hızı olup daha sonra gelen S türü dalgaların hızı ise

$$V_s = (\mu / \rho)^{1/2} \quad (2)$$

$$= [(E/2\rho) / (1 + \sigma)]^{1/2}$$

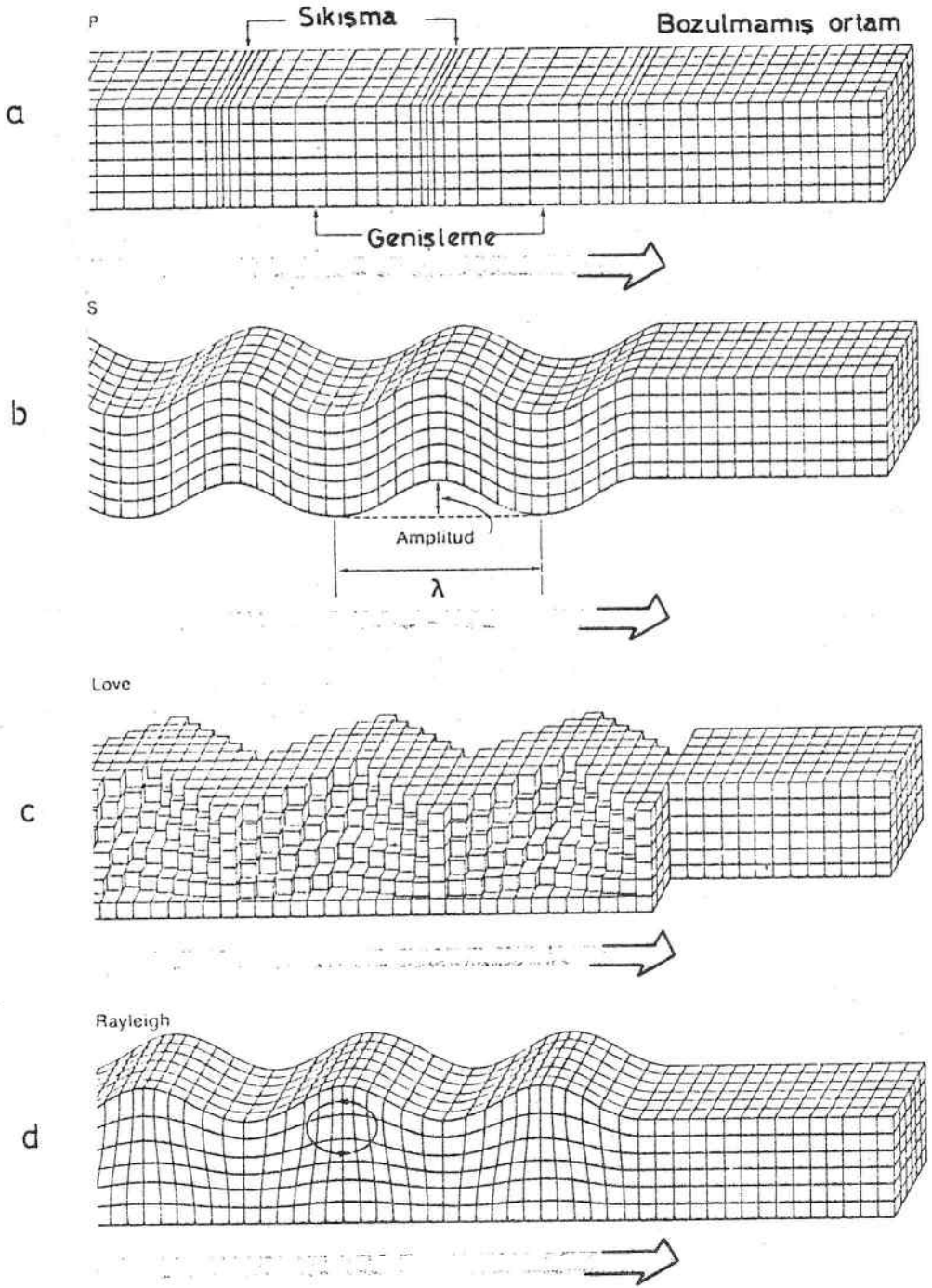
bağıntıları ile verilir. Burada ortam değişkenleri,

λ Lamé sabiti; μ Kayma modülü; ρ Yoğunluk; E elastisite modülü veya Young modülü ve σ Poisson oranıdır. P ve S dalgalarının hız oranı,

$$V_s/V_p = [(0.5 - \sigma) / (1 - \sigma)]^{1/2} \quad (3)$$

olup görüleceği gibi her zaman $V_p > V_s$ 'dir.

Kısaca Rayleigh ve Love dalgaları olarak bilinen yüzey dalgaları ise



Şekil 1. Sismik P, S, Love ve Rayleigh dalgalarının (a, b, c, d) geçişi sırasında cismin davranışı (Bolt, 1976'dan).

(Şekil 1 c ve d) tabakalı ortamlarda oluşur. Love dalgalarının dispersiyon özelliği yüzey tabaka kalınlığının saptanmasında kullanılır.

Uygulamalı sismikte petrol veya yer kabuğu araştırmaları gibi derin çalışmalar için bu dalgalar patlayıcı maddeler veya vibratörler ile üretilir. Mühendislik amaçlı sığ çalışmalarda ise kaynak olarak basit bir balyoz yeterlidir. P dalgaları yere konulan bir çelik plakaya vurularak, S dalgaları ise bir hendeğin dik duvarına veya bir aracın tekerleği ile sıkıştırılmış takoza vurarak üretilir. Eğer mühendislik uygulamalarında her iki dalga içinde sismik hızlar ayrı ayrı ölçülebilirse (3) bağıntısından görüleceği gibi ortamın elastik özellikleri arazide ve yerinde saptanabilir.

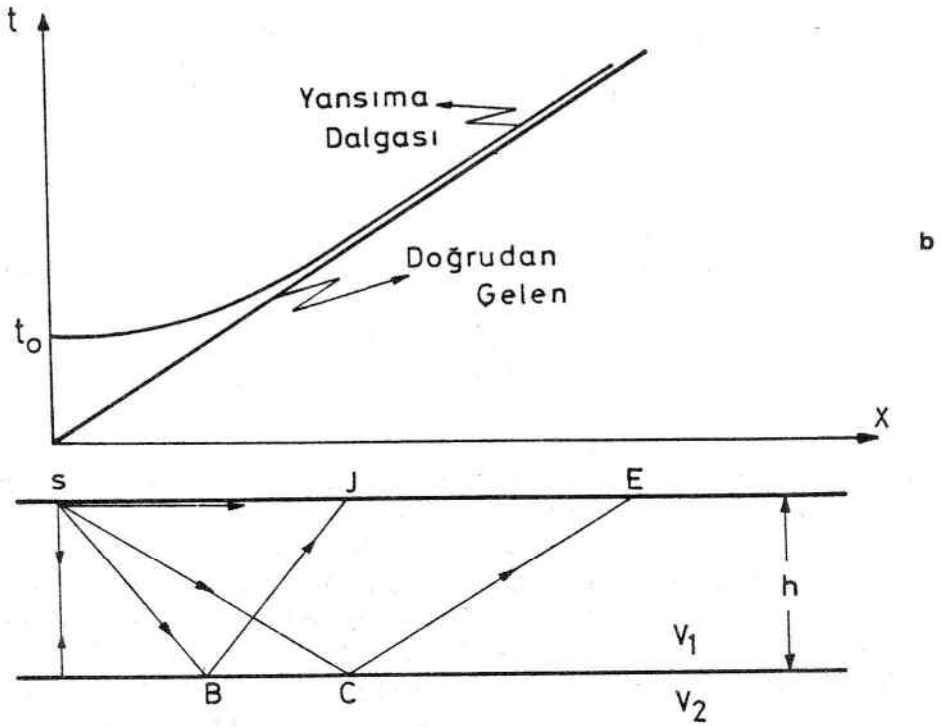
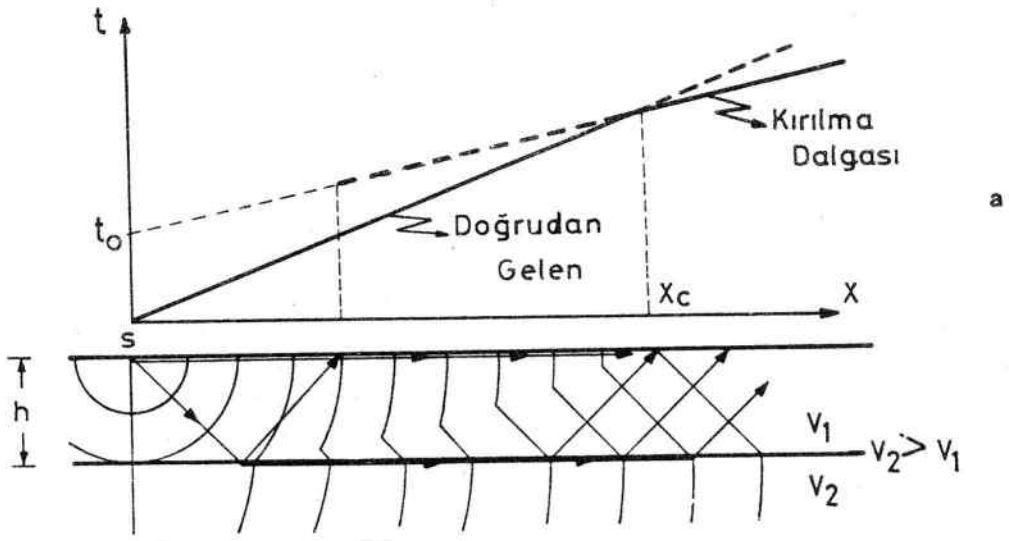
İncelenen bölgede yeralan kayaçların sismik hızları farklı ve yeraltı Şekil 2a'da görüldüğü gibi tabakalı ise ($V_2 > V_1$), tabaka sınırında görülecek kırılma (tam yansıma) nedeni ile belli bir uzaklıktan sonra alttaki ortama geçerek ilerleyen dalgalar yeryüzünde daha önce algılanır. *Sismik kırılma yöntemi* olarak bilinen böyle bir uygulamada zaman-uzaklık grafiğinin her parçasının eğimi sıra ile tabakaların içinde hızları, her parçanın zaman eksenini kesiş zamanı (t_0) veya kırılmanın kaynağa uzaklığı (X_c)'da tabakanın kalınlığını verir. Eğer arayüzey eğimli ise alıcıların yerleri değiştirilmeden ölçü doğrultusunun iki ucundan (eğim aşağı ve eğim yukarı) atışlar yapılır. Bu durumda hız ve derinlik hesapları benzer ama biraz daha karmaşıktır (Telford ve diğ. 1976, Ergin, 1981).

Sismik yansıma yönteminde ise kaynaktan çıkıp derinlerdeki tabakalı ortam sınırlarından yansıyor dönen dalgaların gidiş-geliş zamanı kaydedilir (Şekil 2b). Dik ve dike yakın yansımalar durumunda derinlik basit olarak ($h = V \cdot t_0/2$) bağıntısından bulunabilir.

3. JEOTEKNİK UYGULAMALAR AÇISINDAN SİSMİK YÖNTEMLERİN ÖNEMİ

Mühendislik çalışmasının yapılacağı bir alanda kayaçların elastisite modülleri laboratuvarında ve arazide bulunabilir. Elastik dalga hızının kayaç içinden geçiş zamanı ve geçtiği yol ölçülerek istenilen dalga hızları V_p ve V_s saptanır. Bu hız değerlerine bağlı olarak kayacın elastisite modülü,

$$E = \frac{V_s^2 \cdot \rho}{g} \cdot \left[\frac{(3V_p/V_s)^2 - 4}{(V_p/V_s)^2 - 1} \right] \quad (4)$$



Şekil 2. Tabakalı ortamda, a) Kırılarak yansıyan, b) Yansıyan sismik dalganın izlediği yol ve oluşturacağı zaman-uzaklık grafiği.

Ve Poisson oranı,

$$\sigma=0.5 \left[\frac{(V_p/V_s)^2 - 2}{(V_p/V_s)^2 - 1} \right] \quad (5)$$

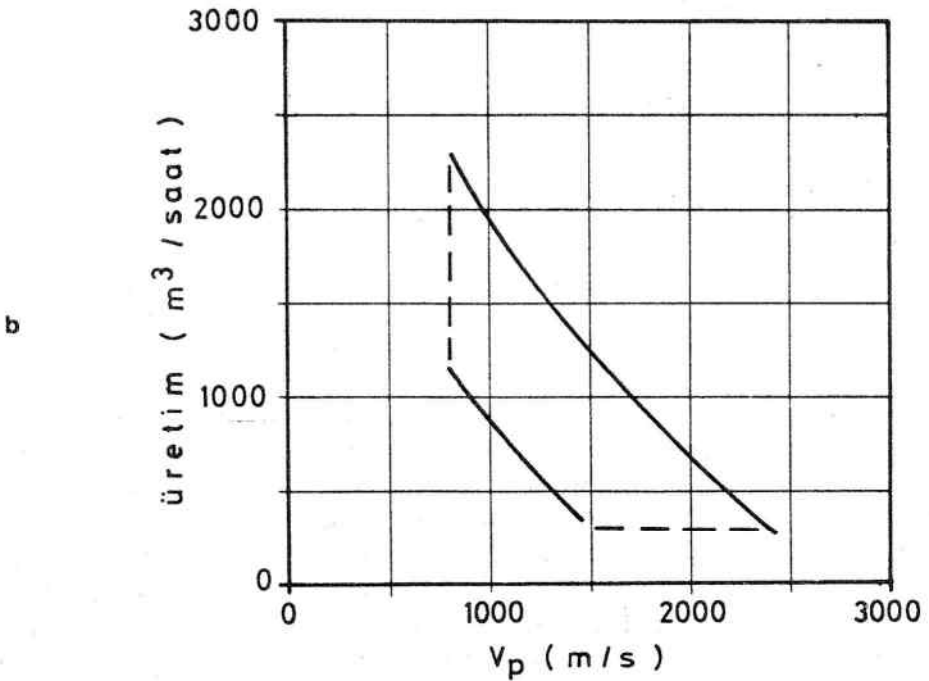
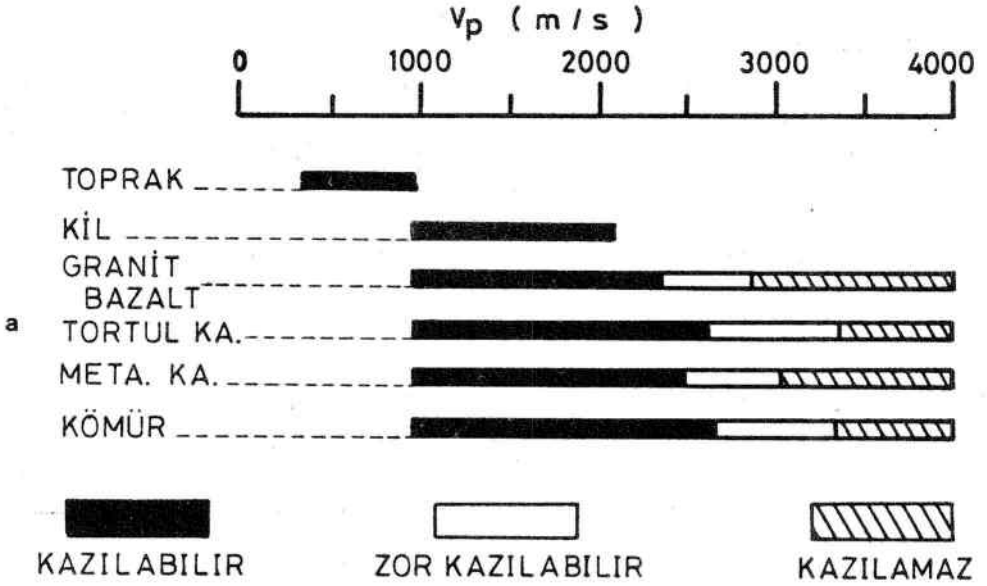
bağıntılarından bulunur. Daha önce değinilen değişkenlere ek olarak g yerçekimi ivmesidir.

Elastisite modülünü arazide saptarken kullanılan V_p ve V_s hızları önceki bölümde açıklanan sismik yöntemler ile bulunur ve sadece örnek olarak alınan kayacı değil mühendislik yapısının yeralacağı geniş bir alanı temsil eden gerçeğe yakın hız değerleridir. Bu hızlar kullanılarak hesaplanan elastisite modülü ve Poisson oranı değerleri laboratuvar sonuçlarına kıyasla daha çok gerçeği yansıtacaktır.

İkinci yol son yıllarda daha çok kullanılmaya başlanmıştır. Çünkü hem çalışılan alandaki kayaç kütlesi hızla ve ekonomik biçimde incelenmekte hem de bulunan değerler çatlaklı, kırıklı, yönbağımlı kayaçların elastik özelliklerini de kapsayacak nitelik göstermektedir. Gerçektende laboratuvar da ölçülen elastisite modülü (E_1) değerleri genellikle arazide ölçülen değerlerden (E_s) daha büyüktür. Bu iki değer birbirine oranı kayacın sağlamlık durumunu belirtmekte kullanılır (Çizelge 1).

Günümüzde yeni boyutlara ulaşan yol, baraj, tünel, metro, kanalizasyon ve içme suyu tesisleri gibi büyük çapta kazı ve sökü işi gerektiren çalışmalarda zemin ve kayaçların sökülebilirliğini önceden saptamak ise projelendirme aşamasında büyük önem taşır. Bu amaçla yapılan *sismik kırılma* uygulamaları soruna hızlı ve ekonomik bir çözüm getirmektedir.

Arazide ölçülen P dalga hızları (V_p) ortamların sökülebilirliğinin anlaşılmasında önemli bir kriterdir (Şekil 3a). Yüzeye yakın toprak ya da ayrılmış ortamlarda $V_p = 300-800$ m/s gibi düşük bir değere eşittir. Bu çok kolay kazılabilen malzemenin kalınlığı sismik yöntemle saptanabilir. P dalga hızı yaklaşık 1000-2500 m/s olan ortamları piyasada kullanılan normal türde bir sökücü (ripper) ile kazmak gerekir. Yine V_p hızına bakarak birim zamandaki üretim miktarıda planlanabilir (Şekil 3b). P dalga hızının yaklaşık 2500-3250 m/s olduğu ortamlar ise çok zor kazılabildiğinden normalden daha güçlü sökücüler kullanılmalıdır. Sismik yöntemler ile V_p hızı 3500 m/s'den daha büyük ölçülüyorsa normal kazı işlemi yapılamaz ve patlatma gibi başka tekniklere de gerek vardır.



Şekil 3. Hafriyat işlerinde kullanılan klasik bir sökücü için a) P dalga hızı-sökülebilirlik ilişkisi (Sheriff, 1984'den); b) P dalga hızı-üretim ilişkisi (Caterpillar Tractor Co.'den).

Diğer bir konu mühendislik çalışmasının yapılacağı alanda ortam özelliklerinin her yönde aynı olmamasıdır. Kayaçların ayrışma zonlarındaki kırık ve çatlak, yüzeyler, tabakalaşma v.b. özellikler bir "yönbağımlı"lık gösteriyorsa sismik kırılma yöntemi aynı noktada farklı yönlerde uygulanarak proje aşaması için çok yararlı bilgiler edinilebilir.

Çizelge 1. Laboratuvarda ve arazide ölçülen elastisite modülü (E_L ve E_S) değerlerine bağlı olarak kayacın sağlamlık durumu (Onodera, 1962'den yararlanarak).

Kayacın durumu	Çatlaklık katsayısı ($E_L - E_S$)/ E_L	Sağlamlık Oranı E_S/E_L
Ayrışmamış, çatlaksız	0.25	0.75
Az çatlak, kırık ve az ayrışmış	0.25-0.50	0.50-0.75
Az çatlak, kırık ayrışmış, çatlaklarda kil var	0.50-0.65	0.35-0.50
Ayrışmış, kırık. Çatlaklar kil ve su ile dolu	0.65-0.80	0.20-0.35
Tamamen ayrışmış çok çatlaklı ve kırıklı	0.80	0.20

4.İ.T.Ü. AYAZAĞA KAMPÜSÜNDE SİĞ SİSMİK İNCELEMELER

İ.T.Ü. Ayazağa Kampüsünde yeni yapılacak Maden Fakültesi inşaat alanında en yaşlı, aynı zamanda en yaygın kayaç Alt Karbonifer yaşlı mikalı kumtaşı - şeyl ardışımı (Grovak'lar)'dır. Tabaka kalınlıkları kumtaşlarında 0.1-0.3 m, şeyllerde ise 0.01-0.05 m arasında değişir. Bu birimi açılı uyumsuzlukla yer yer örten Pliokuvaterner yaşlı ve kalınlığı 0.01-10 m arasında değişen genç çökeller vardır. En üst birim ise güncel alüvyondur. Bunların çevrede açılmış su kuyularında ölçülen kalınlıkları 0-5 m arasında değişmektedir. Araştırma alanındaki yaşlı kayaçların geçirdikleri kıvrımlı ve kırıklı deformasyonlar sonucunda tabaka konumları değişik doğrultularda dağılım göstermekle birlikte genel olarak kuzey-güney/kuzeydoğu-güneybatı yönlü ve güney/güneybatıya 20-30 derece dalımlıdır (İmer, 1984). Birim çok

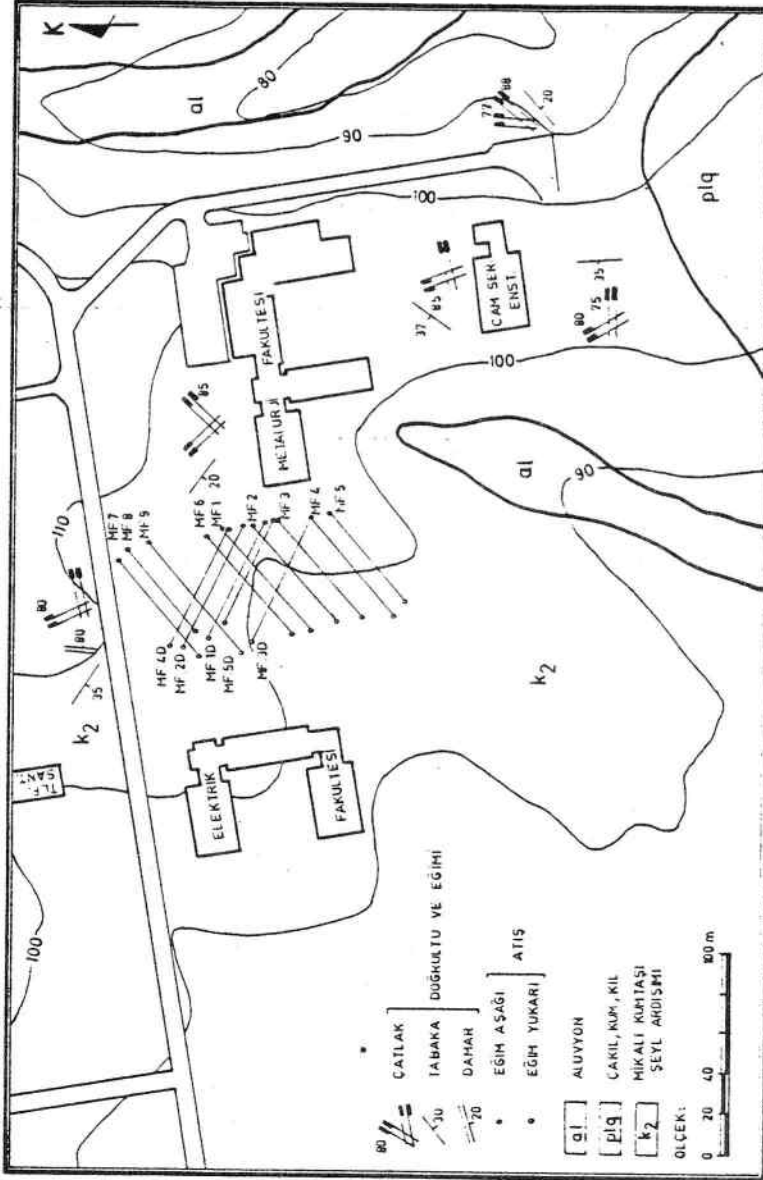
sayıda büyük kırık ve çatlak sistemi içerir. Özellikle şeylerde ayrışma ileri düzeydedir. Çatlak sıklığının arttığı kesimlerde yapraksı ayrışma ürünleri görülür.

Jeolojisine kısaca değindiğimiz yeni Maden Fakültesi binasının yapılacağı alanda sığ sismik kırılma yöntemi ile incelemeler yapılmıştır. Uygulamanın amacı binanın oturacağı alanda temel kaya derinliğini, üstteki tabakaların geometrilerini (eğim ve kalınlığını), ölçülen P dalga hızı (V_p) değerlerinden yararlanarak ortamın elastik özelliklerini ve sökülebilirliğini saptamaktır. Bu amaçla inşaat alanında seçilen 14 doğrultu üzerinde çalışma yapılmıştır (Şekil-4). Bu doğrultulardan 9'u tabaka eğim yönünde 5'i ise tabaka doğrultusunda seçilerek temel kaya eğiminin daha iyi izlenmesi amaçlanmıştır. Her doğrultu üzerinde ilk 5 m içinde alıcı aralıkları 1 m alınmış böylece üst katmanın hızı ve derinliği daha duyarlı hesaplanmıştır. Daha sonraki alıcı aralıkları 3 m seçilmiştir. Profillerin ortalama uzunluğu 65 m'dir. Çalışma sığ amaçlı olduğundan enerji kaynağı olarak balyoz kullanılmış ve yeterli enerji elde edilmiştir. Huntet ve Nimbus aletler ile P dalgası kaydedilmiştir. Araştırma sırasında uygun bir araç sağlanamadığından kaynaktan S dalgası üretilenmemiştir. Bu yüzden ortamın elastik modülü yerinde saptanamamış ise de laboratuvar sonuçları ile ölçülen V_p hızları kıyaslanmıştır (Tapırdamaz, 1986).

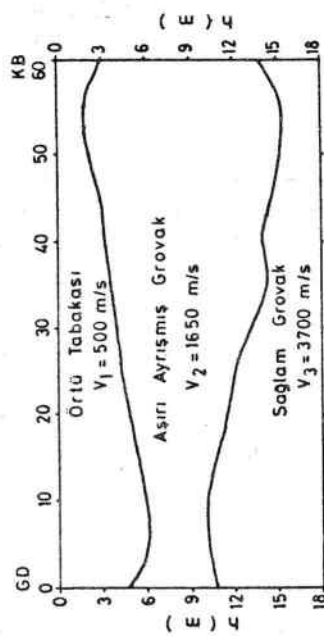
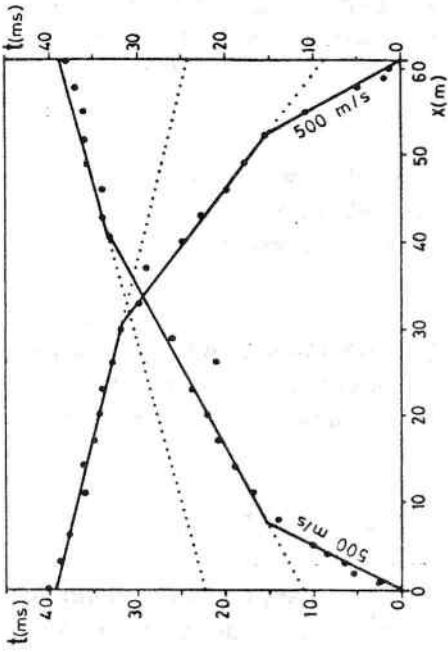
Yaptığımız çalışma bölgede üç tabakalı bir ortam olduğunu göstermektedir. Bu tabakaların kalınlıkları, eğimleri ve gerçek hızları hazırladığımız bir bilgisayar programı yardımı ile saptanmıştır. Jeofon altı derinlikleri yine hazırladığımız program yardımı ile bulunmuş ve kesitler çizilmiştir (Şekil 5). Değerlendirmemiz kısaca şöyle özetlenebilir;

a) En üstte ortalama kalınlığı 2.5-3 m olan tamamen ayrışma ürünlerinden oluşmuş (çakıl, kum, kil ve silt) birikinti malzeme bulunmaktadır. Bu birimde P dalgası hızı $V_p = 350-500$ m/s arasında değişmektedir. Görüldüğü gibi kazı açısından bir sorun yoktur. Hafif güçte bir kazıcı ile sıyrılıp atılabilir.

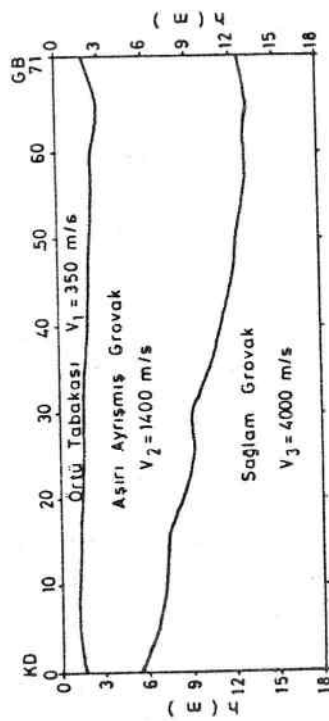
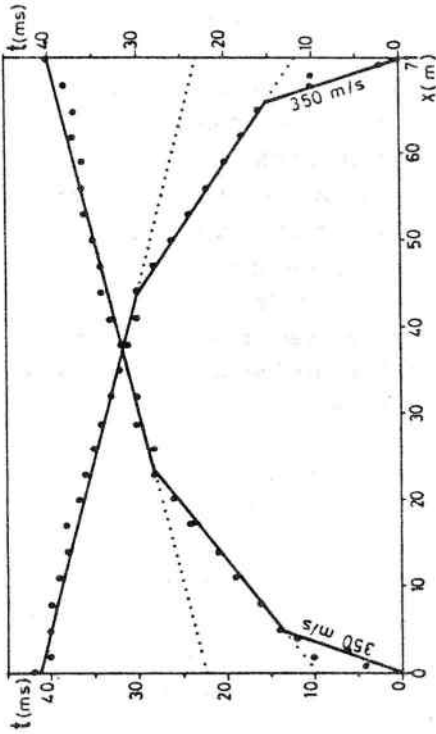
b) Örtünün altında ortalama kalınlığı 8-10 m olan kırıklı Grovaklar yer almaktadır. Burada $V_p = 2500-2000$ m/s arasında bir değer bulunmuştur. Bu birim temel oluşturamayacak biçimde kırıklı ve çatlaklıdır. Sökülmesi sırasında orta güçteki sökücüler (ripper) kullanmak gereklidir. Aynı zamanda bu birimin çeşitli seviyelerinden alınan karot örnekleri üzerinde laboratuvar deneyleri uygulanmıştır. Deneyler çatlaklık derecesine göre tek eksenli basınç direncini $170-350$ kg/cm² arasında göstermektedir. Temel üzerinden alınan örneklerde ise tek eksenli basınç direnci $400-550$ kg/cm² arasında yüksek değerlere ulaşmaktadır. Tek eksenli basınç deneyinde elde edilen gerilme



ŞEKİL 4. İ.T.Ü. Ayazaga Kampüsünde Maden Fakültesi inşaat alanının genel görünüşü ve sısmık inceleme doğrultularının yerleşimi (Tapırdamaz, 1986'dan).



Profil No : MF-1D



Profil No : MF-9

Şekil 5. Kuzeydoğu-Güneybatı yönlü MF-9 ve MF-1D profillerinde elde edilen zaman-uzaklık grafikleri ve modellenen ortamlar.

birim deformasyon eğrilerinden (Şekil. 6) elastisite modülü (E_v) değerleri; çatlaklı, kırıklı bölüm için 13000-25000 kg/cm² arasında, temel kaya üzerinden alınan çok az ayrılmış, az çatlaklı bölüm için ise 35000-47000 kg/cm² arasında elde edilmiştir.

c) En altta ise P dalga hızı oldukça yüksek olup $V_p = 3000$ m/s'dir. Bu temel kaya yine Grovaplardan oluşmaktadır. Ancak çok az ayrılmış, az çatlaklı sağlam bir kayadır. Bu birimin üst yüzeyi en çok 5 derecelik bir eğimle GB yönünde dalmaktadır.

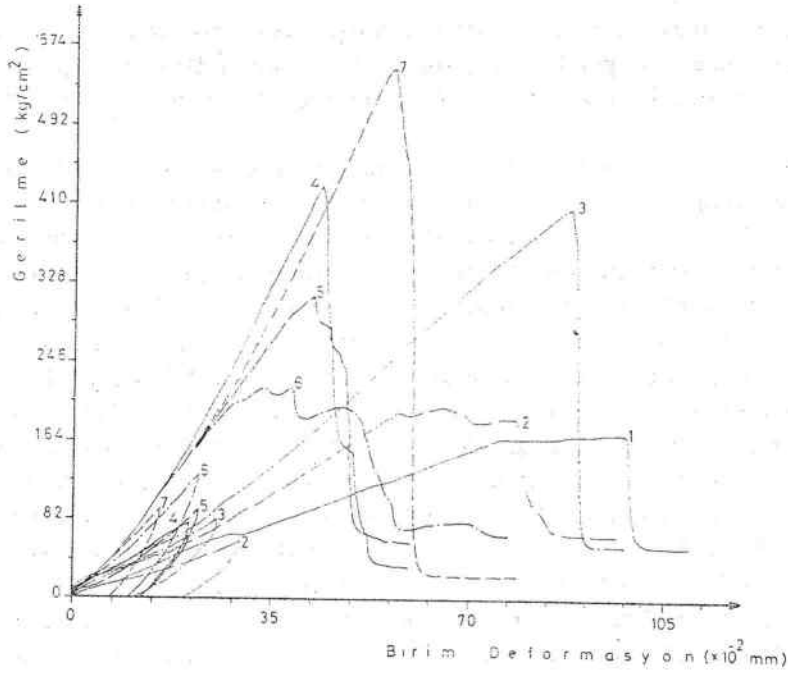
Yazımıza konu olan bu sığ sismik çalışma tamamlandıktan sonra yapılan hafriyat Şekil 7'de görülmektedir. Hafriyattan sonra yapılan ölçmeler üstteki toprak kalınlığının ± 0.5 m, ve alttaki ayrılmış grovpak kalınlığının ± 1.5 m hata ile belirlendiğini göstermiştir.

5. ALİBEYKÖY BARAJ ALANINDA SIĞ SİSMİK İNCELEMELER

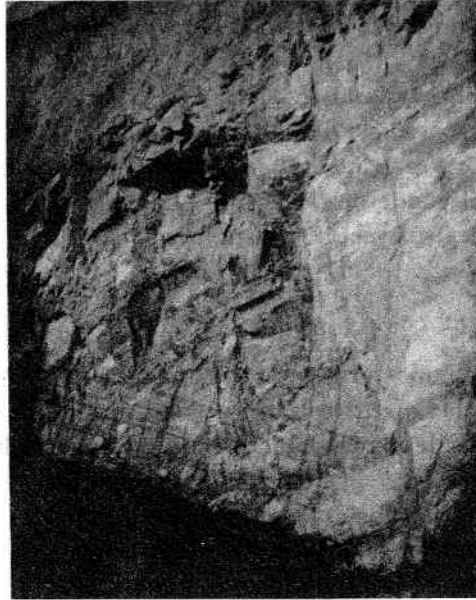
İstanbul'a şehir suyu sağlanması amacı ile Alibeyköy'de DSİ tarafından yapılan barajın inşaatı başlamadan biraz önce baraj alanında sığ sismik yöntemle bir çalışma yapılmıştı (İlkışık, 1967). Çalışmanın başka bir yerde yayınlanmamış olması ve uygulamanın yararı açısından güncelliğini koruması sebebi ile sonuçların bir kısmına burada değinmek istiyoruz.

Baraj eksen civarının en yaşlı taşı olan plastik, kıvrımlı ve çatlaklı killi-şistler aynı zamanda ana kayayı oluşturlar (Uz, 1966). Genellikle K 45 B doğrultulu ve 60-70 derece eğimlidirler. Killi-şistler ile üzerlerine gelen Grovaplara arasına bazen fasiyes değişimine bağlı olarak konglomeralar gelir. Barajın yapıldığı, vadide ana kaya üzerine 30 m kadar kalınlıkta bir alüvyon gelmektedir. Bu alüvyon genelde üç tabakalıdır. En üstte açık kahve renkli toprağımsı, bitki parçalı kısım, ortada Alibey deresinin getirdiği ve tortulaştırdığı petrol yeşili çok plastik kil gelirki, bunun içinde yer yer kumsu seviyeler vardır. En altta ise Haliç kili adı verilen koyurenkli, içinde deniz hayvanı kabuklarına rastlanan pek stabil olmayan, kesme mukavemeti düşük bir kil bulunur.

Çalışmanın amacı barajın oturacağı alanda temel kaya derinliğinin tespit edilmesi ve alüvyon katmanlarının daha iyi anlaşılmasıdır. Alibeyköy baraj alanında alüvyon içindeki hız süreksizliklerinin ve hızların bulunması amacı ile çeşitli yer ve doğrultularda sismik kırılma yöntemi uygulanmıştır. Ancak ortamda gürültünün çok olması, balyoz ile üretilen enerjinin yetersiz kalması ve büyük olasılıkla alüvyonun alt katmanlarındaki hızın üst katmanlara kıyasla düşük olması ($V_2 < V_1$) sebebi ile gereken uzaklıklarda kırılma dalgaları alınamamıştır. Kırılma yönteminin iyi sonuç vermeyişine karşın, uygulanan



Şekil 6. Tek eksenli basınç deneyi uygulanan bir grup kayaç örneğinin verdiği birim deformasyon-gerilme eğrileri (Tapırdamaz, 1986'dan)



Şekil 7. I.T.Ü Ayazağa Kampüsünde sismik incelemelerin tamamlandığı alanda daha sonra yapılan hafriyat. Üstteki toprak ± 0.5 m, alttaki ayrılmış grovvak ise ± 1.5 m hata ile belirlenmiştir.

yansima yöntemi ile çok iyi sonuç alınmıştır. Bu yansima zamanlarını derinliğe çevirmek için gerekli olan hızlar bazı bilinen DSI sondajları yanında alınan yansima kayıtlarından ortalama olarak 1400 m/s hesaplanmıştır.

Şekil 8'de görüldüğü gibi vadiyi dik olarak kesen 10 doğrultuda sismik yansima yapılmıştır. Her 2.5 m'de bir üç kayıt alınarak ortalama yansima zamanı (gidiş geliş zamanı) okunmuştur. Sonuçta genel olarak alüvyon içinde 3 ayrı sınırdan yansima alınabilmektedir. Bunlardan en geç gelen ana kayaya ait yansimalar özellikle vadi yamaçlarına doğru gidildikçe daha az yansima zamanı ile belli olmaktadır. Yansima grafiklerinde temel kayanın üzerinde görülen iki ayrı hız süreksizliğinin ilki, sondajlardan bilinen yeşil plastik kil tabakasının altını, ikincisi ise temel kaya üzerine yayılmış siltli bir seviyenin üstünü gösterir. Şekil 9'da R-VIII ve R-I doğrultuları boyunca yansima zamanlarından türetilen derinlik kesitleri görülmektedir. Kesitlere baktığımızda temel kayanın çok iyi şekilde izlendiğini söyleyebiliriz. Bu sonuçlar sondaj verileri ile çok iyi bir uyum gösterir. Bunun üzerinde görülen arayüzey ise yeşil-siyah renkli kilin alt sınırına karşı gelmektedir. Bu süreksizliklerin nedeni sondajlardan da bilindiği gibi kum merccekleridir. Üstteki yansima yüzeyi ise sondajlardan izlenen yeşil renkli plastik kilin alt sınırını göstermektedir.

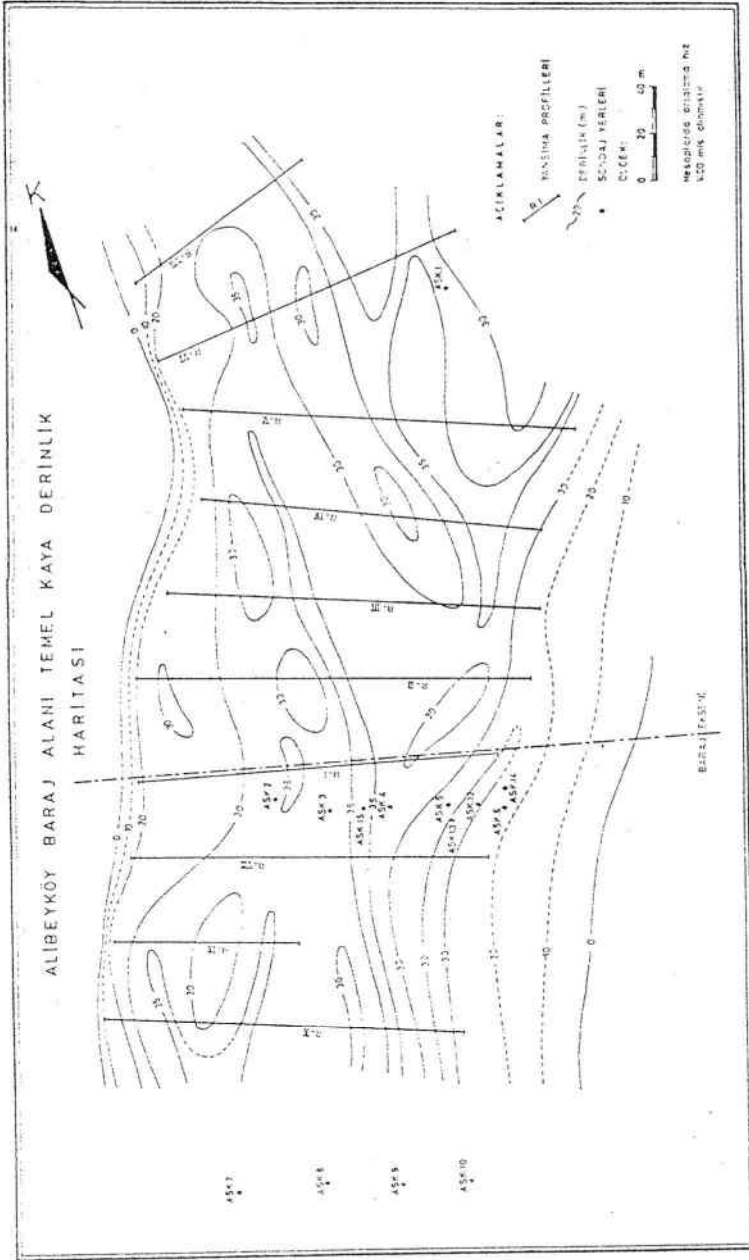
Sonuç olarak yamaçların oldukça büyük bir açı ile vadi altına daldığı ve temel kayanın vadi tabanında genelde yatay, ama kısmen engebeli olduğu bulunmuştur. 3-5 m'lik bu engebeler eski dere yataklarına karşı gelmelidir.

Kırılma yöntemini uygulayıp sabit bir ortalama hız kabul etmemiz, gerçek temel kaya topografyası ile harita arasında bir farka yol açabilir (Şekil 9). Gerçekte hız alüvyon içinde düşey olarak değişebileceği gibi, çalışma alanının içinde yanıl yönde de değişebilir. Ancak temel kaya derinliği haritasının genelde çok değişmeyeceği kanısındayız.

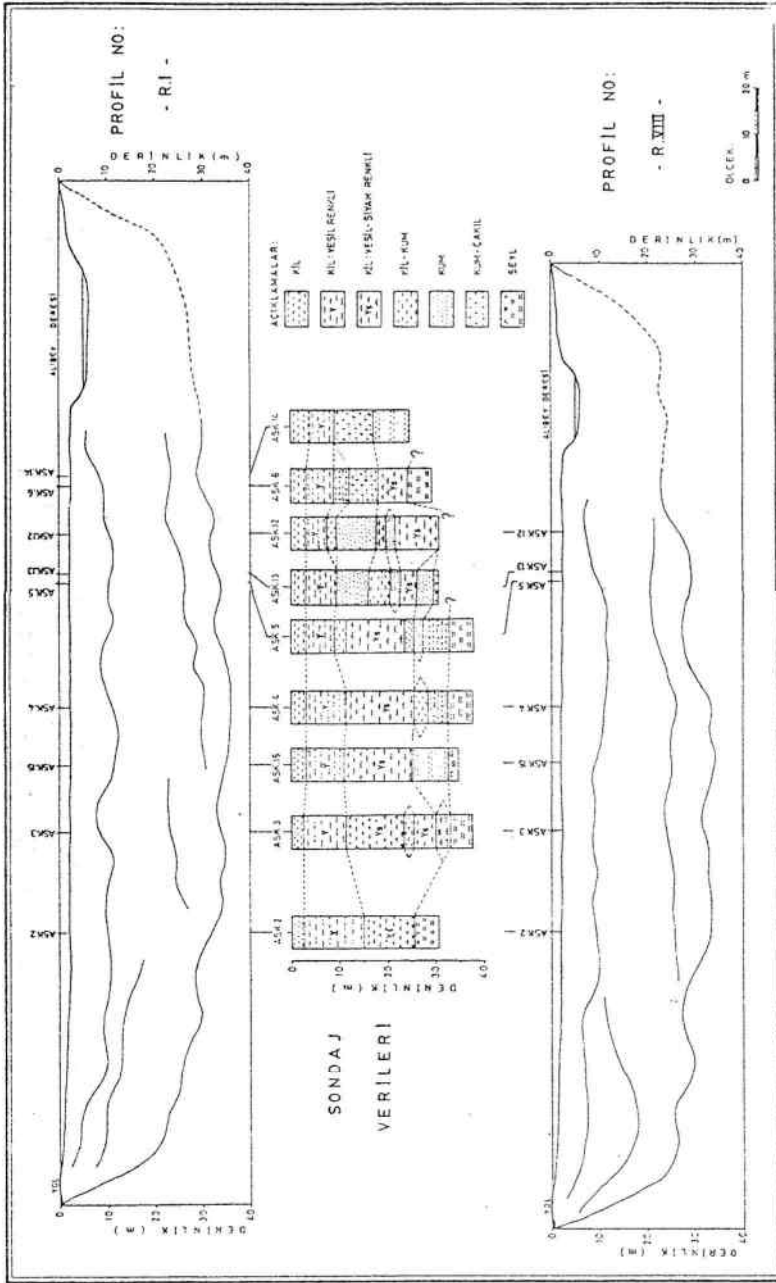
6. SONUÇLAR

Yeryüzünde ya da yeraltında yapılacak her türlü mühendislik çalışmasında kayaçların türlerinin, çeşitli mühendislik özelliklerinin, kazılabilme (veya sökülebilmeye) derecelerinin önceden bilinmesi gereklidir. Bundan dolayı bina temeli, santral alanları, yollar, barajlar, boru hatları ve tüneller gibi büyük bir işe başlamadan önce bölge ayrıntılı olarak incelenmeli kayaçlardaki süreksizlikler, yeraltı su durumu, sağlamlığı v.b. özellikleri yerinde saptanmalıdır.

Jeofizikte özellikle sığ sismik yöntemler bu açıdan iyi ve ekonomik bir



Şekil 8. Alibeyköy Baraj alanında sismik yansıma yöntemi ile hesaplanan temel kaya topografyası. Sismik profiller ve sondaj yerleri işaretlenmiştir (İlkuşık, 1967'den).



Şekil 9. R-VIII ve R-I profillerinde bulunmuş düşey kesitler ve bu iki profilin arasında yer alan sondaj sonuçları ile kıyaslanması (İlkışık, 1967'den).

çözüm sağlamaktadır. Eğer bir bölgede yüzeyde veya sondaj kuyularında ortalama ait P ve S dalga hızları V_p ve V_s ölçülmüş ise özellikle,

a) Söz konusu ortamın elastik özellikleri, Poisson oranı, yönbağımlı oluşu, sökülebilirliği arazide saptanabilir.

b) Kayacın cinsi, derinlik-veya kalınlığı, varsa eğimi, faylı kırıklı yapısı ve yerleşim geometrileri bulunabilir. Böylece mühendislik yapılarının biçimi, ortam özellikleri, sondaj yer adet ve derinlikleri, kazı makinalarının seçimi gibi birçok konuda daha doğru ve ekonomik kararlar verebilir.

İstanbul Teknik Üniversitesi Ayazağa Kampüsündeki sismik kırılma uygulaması ile ana binanın yerleşeceği bölümde üstte 2.5-3 m kalınlıkta düşük hızlı toprak tabakası altta $V_p = 2000-2500$ m/s hıza sahip 8-10 m kalınlıkta ayrılmış çatlaklı grovvak-kıltası tabakası bulunmuştur. En altta yer alan sağlam grovvak temel içindeki hız ise $V_p = 3000-3500$ m/s'dir. Bu birimlerin kalınlıklarındaki değişim ayrıntılı olarak haritalanmıştır.

İstanbul Alibeyköy baraj alanında inşaattan biraz önce yapılan sığ sismik yansıma uygulaması ise barajın oturacağı geniş alanda temel kaya derinliğini ve ortalama 30-33 m derinlikteki vadiyi dolduran Haliç kili içindeki katmanları çok küçük bir hata ile ve ayrıntılı olarak belirlemiştir.

KATI BELİRTME

Yazarlardan M.C.T. bu çalışmalar süresince yardım ve değerli tartışmaları için sayın A. Aytünür, S. Kuleli ve T. Yürür'e teşekkür eder. Bu çalışma kısmen 1987 T. Jeoloji Kurultayında bildiri olarak sunulmuştur.

KAYNAKLAR

1. BOLT, B.A., 1976, Nuclear Explosions and Earthquakes. W.H. Freeman and Co. San Francisco.
2. DEMİRAĞ, O., 1980, Jeofizik ve Kurumumuzdaki İşlevi. E.İ.E. Bülteni, 87, 7-17.
3. D.S.İ. Raporu, 1966, Alibeyköy Barajı, No. 557/98.
4. ERGİN, K., 1981, Uygulamalı Jeofizik İ.T.Ü. Maden Fak. Yayın no. 1189., İstanbul.
5. ERGUVANLI, K., 1982, Mühendislik Jeolojisi, İ.T.Ü. Maden Fakültesi. Yayın no. 1227, İstanbul.
6. EVİSON, F.F., 1956, The Seismic Determination of Young's Modulus and Poisson's Ratio for Rocks In-situ. Geotechnique, 6, 118-124.

7. İLKİŞİK O.M., 1967, Alibeyköy Barajı Sahası Sismik Etüdü. Dipl. Çalışması. İ.T.Ü. Maden Fakültesi, İstanbul.
8. İMER, R.R., 1984, İ.T.Ü. Ayazağa Kampüsü Alanı Mühendislik Jeolojisi, MMLS Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enst. İstanbul
9. KOMAN, K., 1980, Barajlarda Elastisite Modülünün Sismik Metoda Yerinde Tayini, E.İ.E. Bülteni, 88, 2-10.
10. ONODERA, T.F., 1962, Dynamic Investigation of Foundation Rocks In-situ: Rocks in-situ: Rock Mechanics, Proceeding of the fifth Symposium, 517-533.
11. SHERIFF R.E., 1984, Encyclopedic Dictionary of Exploration Geophysics, 2nd ed. SEG, Tulsa.
12. UZ, B., 1966, Alibeyköy Baraj Rezervuarı ve Çevresinin Jeolojik Etüdü. Dipl. Çalışması, İ.T.Ü. Maden Fakültesi, İstanbul.
13. TAPIRDAMAZ M.C., 1986, Mühendislik Jeofizikinde Sismik Kırılma Yöntemi ve Bir Uygulama. Bitirme Ödevi, İ.T.Ü. Maden Fak., İstanbul.
14. TELFORD, W.M., GELDART, L.P., SHERIFF, R.E., KEYS, D.A., 1976, Applied Geophysics, Cambridge University Press.

AÇIK İŞLETMELERDE ATEŞLEME DÜZENİNE İLİŞKİN PARAMETRELERİN İNCELENMESİ

Tayfun EVERGEN*

ÖZET

Açık işletmelerde yapılan basamak ateşlemelerinde uygun bir düzen seçimi için gerek arazi yapısı, gerekse kullanılan patlayıcı maddenin özellikleri ile ilgili bazı parametrelerin saptanması gerekmektedir. Bu parametrelerden en önemlileri, kayaç sertliği, kayacın yapısı, patlayıcı maddenin detonasyon hızı, cinsi, miktarı, gücü ile şarj yoğunluğudur. Bütün bu parametreler arasındaki ilişkiler, günümüze kadar incelenmiş bazı ampirik bağıntılar ortaya atılmıştır. Yazıda bu bağıntıların delik delme ve delik şarjı düzenindeki etkinliklerinden söz edilmiştir.

1. BASAMAK ALTI DELİK BOYU

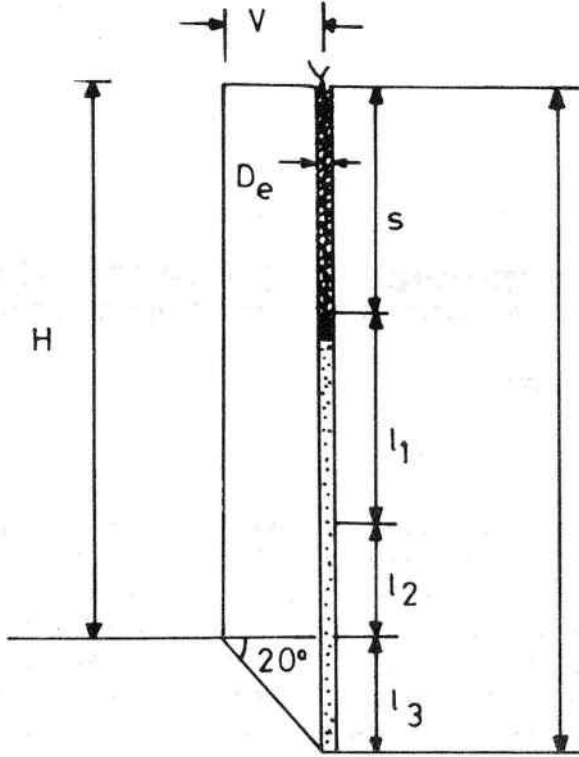
Basamak dibinde turnak kalmaması amacı ile delinen basamak altı delik boyuna etki eden iki önemli husus vardır.

1) Deliğin basamak altında kalan kısmının çok uzun olması halinde, bir alt basamağın üst kısımlarındaki kayaçta meydana gelen parçalanmalar nedeniyle delik delme zorlukları doğabilmekte ve bu durum delik delme esnasında matkap sıkışmalarına yol açabilmektedir.

2) Basamak altı delik uzunluğunun fazla olması halinde ayrıca gereksiz yere delik delme maliyeti artmaktadır.

Delik dibi ile basamak dibini birleştiren doğrunun yatayla 20° yapacak şekilde delik delinmesi halinde, basamak dibinde turnak kalmadığı izlenmiştir.

(*) Y. Doç. Dr. Müh., İ.T.Ü. Maden Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Maden İşletme Anabilim Dalı.



Şekil 1 : Dik Bir Basamakta Delik Kesiti

Bu durumda:

$$t_{g20^\circ} = \frac{l_3}{V}$$

$$t_{g20^\circ} = 0.36397$$

$$l_3 \cong 0.3 V \text{ olmaktadır.} \quad [4]$$

l_3 = Basamak altı delik boyu (m)

V = Delik şev-yüzeyi arası mesafe (m)

2. DELİK ÇAPI-DELİK ŞEV YÜZEYİ ARASI İLİŞKİLER

Delik çapı büyüdükçe, delik-şev yüzeyi arası mesafe artmaktadır. Bu konuda ANDERSEN, ASH, FRAENKEL, LANGEFORS bağıntıları vardır.

1) ANDERSEN Bağıntısı:

$$V = C \sqrt{D_e \times l} \quad [2]$$

C = Kayaç faktörü (orta sert kayaçlar için C = 1)

V = Delik şev-yüzeyi arası mesafe (feet)

D_e = Delik çapı (inç)

l = Delik boyu (feet)

2) ASH Bağıntısı :

$$V = C \times D_e / 12 \quad [3]$$

V = Delik şev-yüzeyi arası mesafe (feet)

D_e = Delik çapı (inç)

C = Kayaç katsayısı (20 < C < 40 ortalama 30)

3) FRAENKEL Bağıntısı :

$$V = \frac{C \times l^{0.3} \times (1-s)^{0.3} \times D_e^{0.8}}{50} \quad [3]$$

V = Delik şev-yüzeyi arası mesafe (metre)

C = Kayaç faktörü (1 < C < 6)

l = Delik boyu (metre)

(1 - s) = Şarj boyu (metre)

D_e = Delik çapı (mm)

s = Sıkılama boyu (m)

4) LANGEFORS Bağıntısı:

$$V_{\max} = 45 \times D_e / 1000 \quad [5]$$

V_{max} = Delik şev-yüzeyi arası mesafe (m)

D_e = Delik çapı (mm)

$$V = V_{\max} - F$$

F = Delik delme hata payı faktörü (m)

$$F = 0.05 + 0.03 \times l$$

$$l = H + l_3 + 0.05 (H + l_3)$$

H = Basamak yüksekliği (metre)

l₃ = Basamak altı delik boyu (metre)

5) Ayrıca delik şev-yüzeyi arası mesafe delik çapının 40 misli seçilebilmektedir.

$$V = 40 \times D_e$$

V = Delik şev-yüzeyi arası mesafe (mm)

D_e = Delik çapı (mm)

Çizelge 1. ASH ve $V = 40 \times D_e$ Bağıntısına Göre Delik-Şev Yüzeyi Arası Mesafe Değerleri ($C = 38$).

ASH Bağıntısı		$V = 40 \times D_e$	
D_e (mm)	V (m)	D_e (mm)	V (m)
25	0.95	25	1.00
50	1.90	50	2.00
76	2.85	76	3.04
100	3.80	100	4.00
130	4.75	130	5.20
152	5.70	152	6.08
178	6.65	178	7.12
204	7.60	204	8.16

Çizelge 2. FRAENKEL Bağıntısına Göre Delik-Şev Yüzeyi Arası Mesafe Değerleri

	D (mm)	l (m)	V (m)
$C = 1.5$	25	3.30	0.80
	50	5.40	1.89
	76	7.50	3.24
	100	10.60	5.00
	130	12.65	6.90
$C = 1.2$	152	15.70	7.10
	178	17.80	8.73
	204	20.90	10.70

Bütün bu bağıntılara yaklaşık olarak uygun olan delik çapı ve delik boyuna bağlı olarak delik-sev yüzeyi arası mesafe değerleri aşağıda özetlenmiştir.

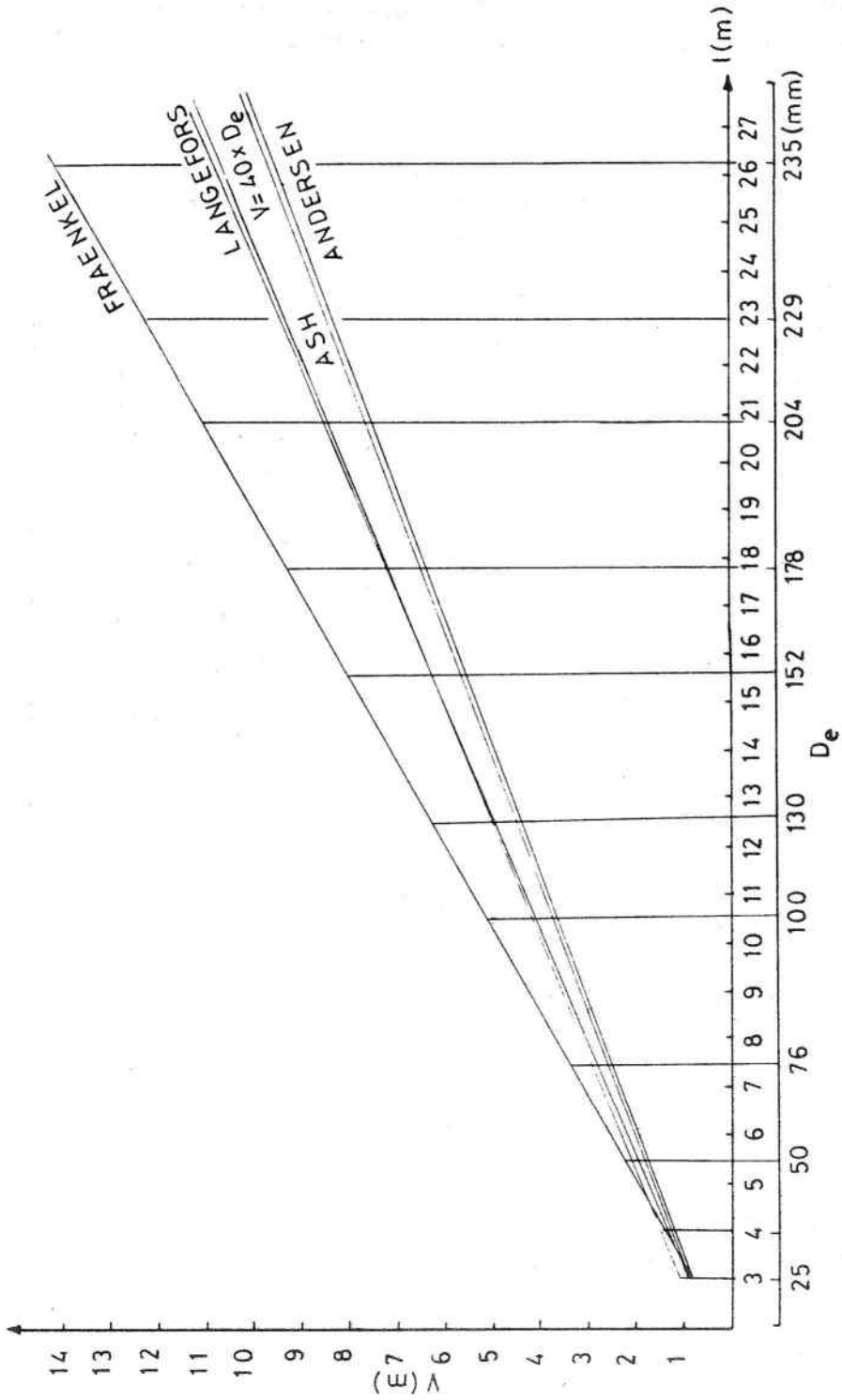
Çizelge 3. (C = 1) Alınarak Hesaplanan ANDERSEN Bağntısına Göre Delik-Şev Yüzeyi Arası Mesafe Değerleri (m).

H(m)	3.00	5.00	7.00	10.00	12.00	15.00	17.00	20.00
1 (m)	3.50	5.90	8.30	11.80	14.30	17.60	20.16	23.50
25	1.03	1.33	1.58	1.88	2.07	2.30	2.46	2.67
50	1.45	1.88	2.23	2.66	2.93	3.25	3.48	3.75
76	1.78	2.30	2.73	3.26	3.58	3.98	4.26	4.60
100	2.05	2.66	3.16	3.76	4.14	4.60	4.92	5.31
130	2.29	2.97	3.53	4.21	4.63	5.14	5.50	5.94
152	2.51	3.26	3.87	4.60	5.07	5.63	6.02	6.50
178	2.71	3.52	4.17	4.98	5.48	6.08	6.51	7.02
204	2.90	3.76	4.46	5.32	5.86	6.50	6.96	7.51

(*) (Delik çapına uygun basamak yüksekliği ve seçilmesi gereken delik şev yüzeyi arası mesafeler Çizelge'de çerçeve içine alınarak belirtilmiştir).

Çizelge 4. LANGEFORS Bağıntısına Göre Delik-Şev Yüzeysel Arası Mesafe Değerleri (m).

D_e (mm)	H(m)	3.00	5.00	7.00	10.00	12.00	15.00	17.00	20.00
	1 (m)	3.50	5.90	8.30	11.80	14.30	17.60	20.16	23.50
25		0.97	0.90	0.83	0.72	0.65	0.55	0.47	0.37
50		2.10	2.00	1.95	1.85	1.77	1.67	1.60	1.50
76		3.27	3.19	3.12	3.02	2.94	2.84	2.77	2.67
100		4.35	4.27	4.20	4.10	4.02	3.92	3.85	3.75
130		5.70	5.62	5.55	5.45	5.37	5.27	5.20	5.10
152		6.69	6.61	6.54	6.44	6.36	6.26	6.19	6.09
178		7.86	7.78	7.71	7.61	7.53	7.43	7.36	7.26
204		9.03	8.95	8.88	8.78	8.70	8.60	8.53	8.43



Bütün bu bağıntılara, yaklaşık olarak uygun olan delik çapı ve delik boyuna bağlı olarak delik-şev yüzeyi arası mesafe değerleri Çizelge 5'te özetlenmiştir.

Çizelge 5. Delik Çap ve Boyuna Göre Delik-Şev Yüzeyi Arası Mesafe Değerleri.

D_e (mm)	l (m)	V (m)
25	3.30	(0.95 - 1.00)
50	5.40	(1.80 - 2.00)
76	7.50	(2.70 - 3.25)
100	10.60	(3.70 - 5.00)
130	12.65	(4.75 - 6.90)
152	15.70	(5.60 - 7.10)
178	17.80	(6.50 - 8.80)
204	20.90	(7.50 - 10.70)

3. DELİK ŞEV YÜZEYİ - DELİKLER ARASI MESAFE İLİŞKİSİ

Delik arası mesafe, delik-şev yüzeyi arası mesafenin (1...1.25) katı seçilebilmektedir.

$$E = (1...1.25) \times V \quad [4]$$

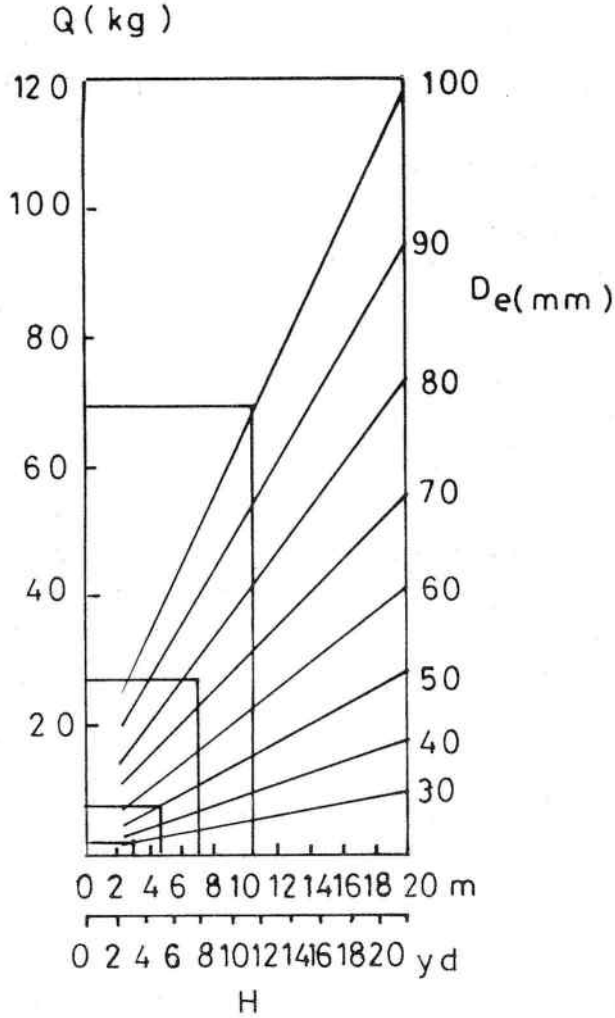
V = Delik-şev yüzeyi arası mesafe (metre)

E = Delikler arası mesafe (metre)

4. ŞARJ HESAPLARI

1) FRAENKEL Grafiği:

Bu grafikte, basamak yüksekliği ve delik çapına bağlı olarak şarj miktarları verilmiştir.



Şekil 3 : Şarj Miktarları İle İlgili FRAENKEL Grafiği [1]

2) LANGEFORS Bağıntıları : [5]

Bu bağıntılarda kolon ve dip şarj miktarları ayrı, ayrı hesaplanmaktadır.

$$Q_{2b} = D_e^2 / 1000$$

D_e = Delik çapı (mm)

Q_{2b} = Delikteki metre başına dip şarj miktarı (kg/m)

$$l_2 = 1.3 \times V_{max}$$

l_2 = Dip şarj uzunluğu (m)

V_{max} = Delik-şev yüzeyi arası mesafenin maksimum değeri (m)

$$Q_2 = l_2 \times Q_{2b}$$

Q_2 = Dip şarj miktarı (kg)

$$Q_{1b} = 0.5 \times Q_2$$

Q_{1b} = Deliğin beher metresindeki kolon şarjı miktarı (kg/m)

$$l_1 = l - (l_2 + s)$$

l_1 = Kolon şarjı uzunluğu (m)

l = Delik uzunluğu (m)

l_2 = Dip şarj uzunluğu (m)

s = Sıkılma uzunluğu (m)

s = V alınmaktadır.

$$Q_1 = l_1 \times Q_{1b}$$

Q_1 = Kolon şarjı miktarı (kg)

$$Q = Q_1 / Q_2$$

Q = Delikteki toplam şarj miktarı (kg)

Çizelge 6. Langefors Bağıntısı ve 2/3 Delik Boyuna Göre Şarj Miktarları.
(Çizelge değerleri yoğunluğu 1 kg/dm³ olan ANFO için verilmiştir).

D_e (mm)	l (m)	Q (kg)	2/3 Delik Şarjı Q (kg)
25	3.50	1.248	1.145
50	5.90	8.531	7.723
76	8.30	27.800	25.102
100	11.80	67.750	61.785
130	14.30	139.720	126.538
152	17.60	233.719	212.912
178	20.16	367.740	334.449
204	23.50	561.900	512.068

KAYNAKLAR

- [1] ATLAS COPCO "Manuel on Rock Blasting" (1962). Atlas Copco MCT AB. Stockholm-Sweden.
- [2] EUGENE P.P. "Surface Mining" (1972). The American Institute of Mining Metallurgical and Petroleum Engineers, Inc. New York.
- [3] GREGORY C. E. "Explosives for North American" (1979). Engineers. Trans. Tech. Publications.
- [4] NORSK SPRENGSTOFINDUSTRI "Sprengstoffer Sprengningsteknikk" (1969). Oslo.
- [5] RUNE G. "Swedish Blasting Technique" (1973). Published by SPI, Gothenburg Sweden.

1) ANDERSEN Bağıntısı:

$$V = C \sqrt{D_e \times l} \quad [2]$$

C = Kayaç faktörü (orta sert kayalar için C = 1)

V = Delik şev-yüzeyi arası mesafe (feet)

D_e = Delik çapı (inç)

l = Delik boyu (feet)

2) ASH Bağıntısı :

$$V = C \times D_e / 12 \quad [3]$$

V = Delik şev-yüzeyi arası mesafe (feet)

D_e = Delik çapı (inç)

C = Kayaç katsayısı (20 < C < 40 ortalama 30)

3) FRAENKEL Bağıntısı :

$$V = \frac{C \times l^{0.3} \times (1-s)^{0.3} \times D_e^{0.8}}{50} \quad [3]$$

V = Delik şev-yüzeyi arası mesafe (metre)

C = Kayaç faktörü (1 < C < 6)

l = Delik boyu (metre)

(1 - s) = Şarj boyu (metre)

D_e = Delik çapı (mm)

s = Sıkılama boyu (m)

4) LANGEFORS Bağıntısı:

$$V_{\max} = 45 \times D_e / 1000 \quad [5]$$

V_{max} = Delik şev-yüzeyi arası mesafe (m)

D_e = Delik çapı (mm)

$$V = V_{\max} - F$$

F = Delik delme hata payı faktörü (m)

$$F = 0.05 + 0.03 \times l$$

$$l = H + l_3 + 0.05 (H + l_3)$$

H = Basamak yüksekliği (metre)

l₃ = Basamak altı delik boyu (metre)

5) Ayrıca delik şev-yüzeyi arası mesafe delik çapının 40 misli seçilebilmektedir.

$$V = 40 \times D_e$$

V = Delik şev-yüzeyi arası mesafe (mm)

D_e = Delik çapı (mm)

Çizelge 1. ASH ve $V = 40 \times D_e$ Bağıntısına Göre Delik-Şev Yüzeyi Arası Mesafe Değerleri ($C = 38$).

ASH Bağıntısı		$V = 40 \times D_e$	
D_e (mm)	V (m)	D_e (mm)	V (m)
25	0.95	25	1.00
50	1.90	50	2.00
76	2.85	76	3.04
100	3.60	100	4.00
130	4.75	130	5.20
152	5.70	152	6.08
178	6.65	178	7.12
204	7.60	204	8.16

Çizelge 2. FRAENKEL Bağıntısına Göre Delik-Şev Yüzeyi Arası Mesafe Değerleri

	D (mm)	l (m)	V (m)
$C = 1.5$	25	3.30	0.80
	50	5.40	1.89
	76	7.50	3.24
	100	10.60	5.00
	130	12.65	6.90
$C = 1.2$	152	15.70	7.10
	178	17.80	8.73
	204	20.90	10.70

Bütün bu bağıntılara yaklaşık olarak uygun olan delik çapı ve delik boyuna bağlı olarak delik-şev yüzeyi arası mesafe değerleri aşağıda özetlenmiştir.

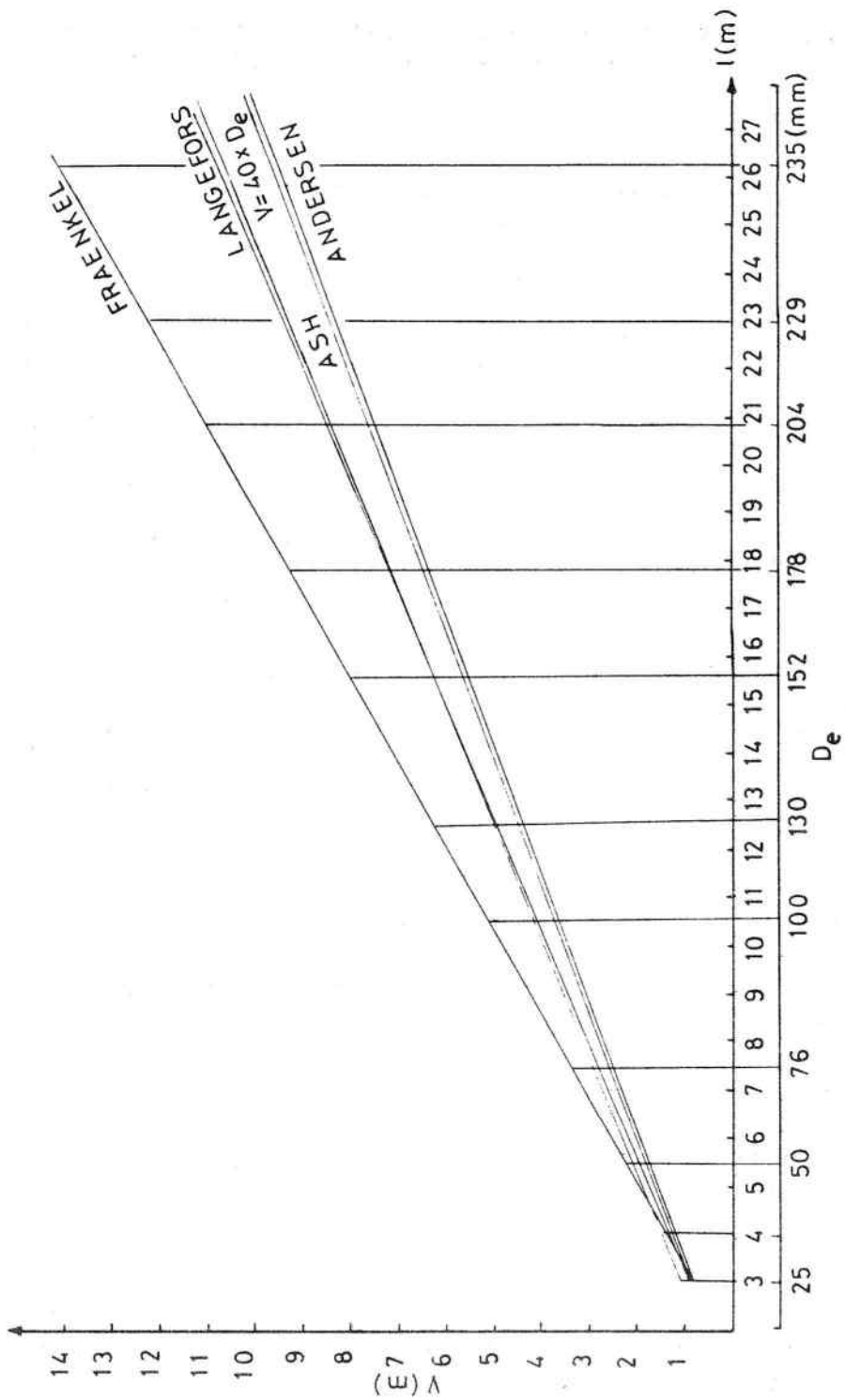
Çizelge 3. (C = 1) Alınarak Hesaplanan ANDERSEN Bağntısına Göre Delik-Şev Yüzeyi Arası Mesafe Değerleri (m).

	H(m)	3.00	5.00	7.00	10.00	12.00	15.00	17.00	20.00
	1 (m)	3.50	5.90	8.30	11.80	14.30	17.60	20.16	23.50
25		1.03	1.33	1.58	1.88	2.07	2.30	2.46	2.67
50		1.45	1.88	2.23	2.66	2.93	3.25	3.48	3.75
76		1.78	2.30	2.73	3.26	3.58	3.98	4.26	4.60
100		2.05	2.66	3.16	3.76	4.14	4.60	4.92	5.31
130		2.29	2.97	3.53	4.21	4.63	5.14	5.50	5.94
152		2.51	3.26	3.87	4.60	5.07	5.63	6.02	6.50
178		2.71	3.52	4.17	4.98	5.48	6.08	6.51	7.02
204		2.90	3.76	4.46	5.32	5.86	6.50	6.96	7.51

(*) (Delik çapına uygun basamak yüksekliği ve seçilmesi gereken delik şev yüzeyi arası mesafeler Çizelge'de çerçeve içine alınarak belirtilmiştir).

Çizelge 4. LANGEFORS Bağıntısına Göre Delik-Şev Yüzeyi Arası Mesafe Değerleri (m).

	D _e (mm)	H(m)									
		3.00	5.00	7.00	10.00	12.00	15.00	17.00	20.00		
	25	3.50	5.90	8.30	11.80	14.30	17.60	20.16	23.50		
	50	0.97	0.90	0.83	0.72	0.65	0.55	0.47	0.37		
	76	2.10	2.00	1.95	1.85	1.77	1.67	1.60	1.50		
	100	3.27	3.19	3.12	3.02	2.94	2.84	2.77	2.67		
	130	4.35	4.27	4.20	4.10	4.02	3.92	3.85	3.75		
	152	5.70	5.62	5.55	5.45	5.37	5.27	5.20	5.10		
	178	6.69	6.61	6.54	6.44	6.36	6.26	6.19	6.09		
	204	7.86	7.78	7.71	7.61	7.53	7.43	7.36	7.26		
		9.03	8.95	8.88	8.78	8.70	8.60	8.53	8.43		



Şekil 2. D_e , V Arası İlişkiler Grafiği.

Bütün bu bağıntılara, yaklaşık olarak uygun olan delik çapı ve delik boyuna bağlı olarak delik-şev yüzeyi arası mesafe değerleri Çizelge 5'te özetlenmiştir.

Çizelge 5. Delik Çap ve Boyuna Göre Delik-Şev Yüzeyi Arası Mesafe Değerleri.

D _e (mm)	l (m)	V (m)
25	3.30	(0.95 - 1.00)
50	5.40	(1.80 - 2.00)
76	7.50	(2.70 - 3.25)
100	10.60	(3.70 - 5.00)
130	12.65	(4.75 - 6.90)
152	15.70	(5.60 - 7.10)
178	17.80	(6.50 - 8.80)
204	20.90	(7.50 - 10.70)

3. DELİK ŞEV YÜZEYİ - DELİKLER ARASI MESAFE İLİŞKİSİ

Delik arası mesafe, delik-şev yüzeyi arası mesafenin (1...1.25) katı seçülebilmektedir.

$$E = (1...1.25) \times V \quad [4]$$

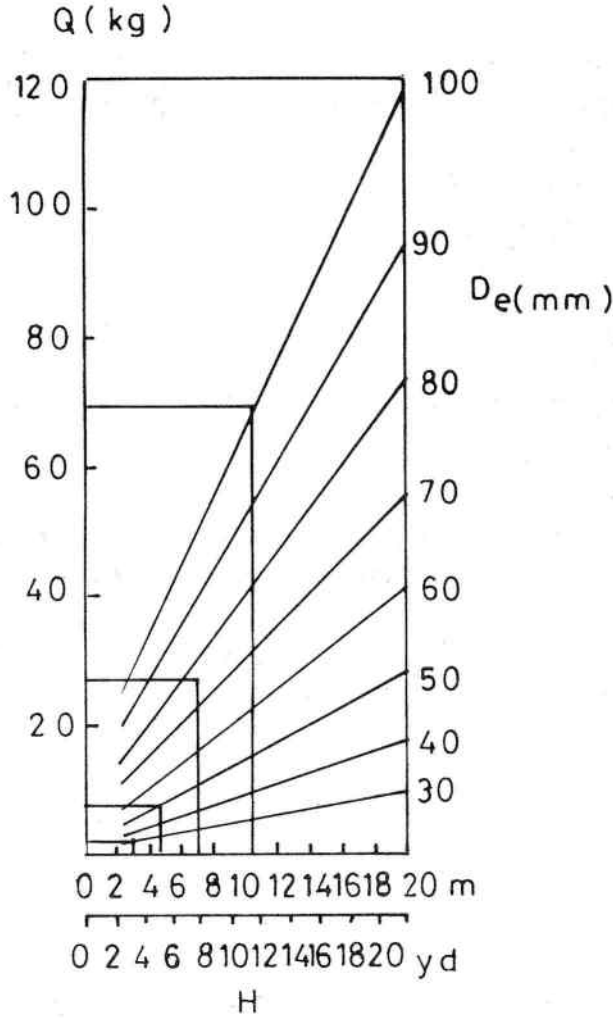
V = Delik-şev yüzeyi arası mesafe (metre)

E = Delikler arası mesafe (metre)

4. ŞARJ HESAPLARI

1) FRAENKEL Grafiğı:

Bu grafihte, basamak yüksekliğı ve delik çapına bağılı olarak şarj miktarları verilmiştir.



Şekil 3 : Şarj Miktarları İle İlgili FRAENKEL Grafiği [1]

2) LANGEFORS Bağıntıları : [5]

Bu bağıntılarda kolon ve dip şarj miktarları ayrı, ayrı hesaplanmaktadır.

$$Q_{2b} = D_e^2 / 1000$$

D_e = Delik çapı (mm)

Q_{2b} = Delikteki metre başına dip şarj miktarı (kg/m)

$$l_2 = 1.3 \times V_{max}$$

l_2 = Dip şarj uzunluğu (m)

V_{max} = Delik-şev yüzeyi arası mesafenin maksimum değeri (m)

$$Q_2 = l_2 \times Q_{2b}$$

Q_2 = Dip şarj miktarı (kg)

$$Q_{1b} = 0.5 \times Q_{2b}$$

Q_{1b} = Deliğin beher metresindeki kolon şarjı miktarı (kg/m)

$$l_1 = l - (l_2 + s)$$

l_1 = Kolon şarjı uzunluğu (m)

l = Delik uzunluğu (m)

l_2 = Dip şarj uzunluğu (m)

s = Sıkılma uzunluğu (m)

s = V alınmaktadır.

$$Q_1 = l_1 \times Q_{1b}$$

Q_1 = Kolon şarjı miktarı (kg)

$$Q = Q_1 / Q_2$$

Q = Delikteki toplam şarj miktarı (kg)

Çizelge 6. Langefors Bağıntısı ve 2/3 Delik Boyuna Göre Şarj Miktarları.
(Çizelge değerleri yoğunluğu 1 kg/dm³ olan ANFO için verilmiştir).

D_e (mm)	l (m)	Q (kg)	2/3 Delik Şarjı Q (kg)
25	3.50	1.248	1.145
50	5.90	8.531	7.723
76	8.30	27.800	25.102
100	11.80	67.750	61.785
130	14.30	139.720	126.538
152	17.60	233.719	212.912
178	20.16	367.740	334.449
204	23.50	561.900	512.068

KAYNAKLAR

- [1] ATLAS COPCO "Manuel on Rock Blasting" (1962), Atlas Copco MCT AB. Stockholm-Sweden.
- [2] EUGENE P.P. "Surface Mining" (1972). The American Institute of Mining Metallurgical and Petroleum Engineers, Inc. New York.
- [3] GREGORY C. E. "Explosives for North American" (1979). Engineers. Trans. Tech. Publications.
- [4] NORSK SPRENGSTOFINDUSTRI "Sprengstoffer Sprengningsteknikk" (1969), Oslo.
- [5] RUNE G. "Swedish Blasting Technique" (1973). Published by SPI, Gothenburg Sweden.

KAYIBIMIZ

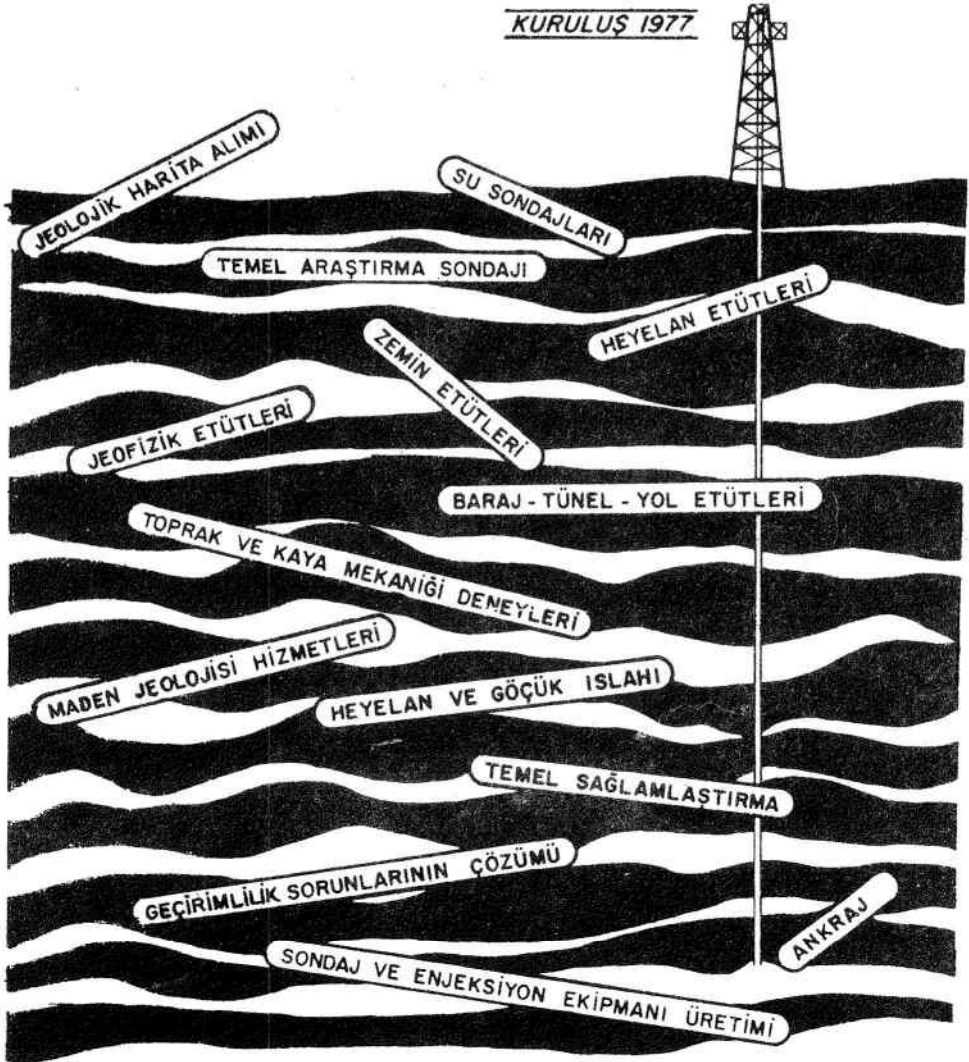
Derneğimiz kurucularından Yüksek İnşaat Mühendisi Sayın
HÜSAMEDDİN GÜZ'ü 3.9.1989 günü yitirdik.

Ailesi, yakınları ve derneğimiz üyelerine başsağlığı diliyor,
HÜSAMEDDİN GÜZ'ü saygı ile anıyoruz.

SONAR

SONDAJ VE JEOLJİK ARASTIRMA MERKEZİ

KURULUŞ 1977



HAVA SOKAK 19/2 ÇANKAYA-ANKARA TEL :139 65 79-140 2553



JEMAS

MÜHENDİSLİK, TAAHHÜT VE TİCARET LTD. ŞTİ.

JEOTEKNİKTE UYGULAMA VE DANIŞMANLIK ENGINEERING & CONSULTING SERVICES IN GEOTECHNICS

- MÜHENDİSLİK JEOLJİSİ
- ZEMİN MEKANİĞİ
- KAYA MEKANİĞİ
- TEMEL MÜHENDİSLİĞİ
- SONDAJ
- ENJEKSİYON
- LABORATUVAR VE ARAZİ DENEYLERİ

- Jeolojik ve jeoteknik harita yapımı
- İmar planlamaları için jeolojik ve jeoteknik etüdlar
- Baraj, gölet, tünel ve yeraltı yapıları için jeoteknik araştırmalar
- Yamaç ve şev stabilite etüdları
- Ağır yapılar, yol, demiryolu, havaalanı temel zemin araştırmaları
- Yapı malzemeleri araştırmaları
- Yeraltısuyu etüd ve sondajları
- TEMEL SONDAJ/BARAJ VE TÜNELLERDE CUT-OFF PERDE, KONSOLIDASYON, KONTAKT VE DERZ ENJEKSİYONLARI

- ENGINEERING GEOLOGY
- SOIL MECHANICS
- ROCK MECHANICS
- FOUNDATION ENGINEERING
- DRILLING
- GROUTING
- LABORATORY & FIELD TESTS

- Geological and geotechnical mapping
- Subsurface exploration
- Geotechnical investigation for hydrolic structures, tunnel and underground excavation
- Slope stability analysis and investigation for landslides
- Soil investigations for heavy structure, highways and airfields
- Exploration of construction materials
- Groundwater investigation, drilling and construction of wells
- CORE BORING / CUT-OFF CURTAIN, CONSOLIDATION AND CONTACT GROUTING FOR DAMS AND TUNNELS.

Boğaz Sokak 21/B Gaziosmanpaşa-ANKARA-TURKEY

Tel/Phone: (9-4) 126 16 65 - 27 70 00



YERBİLİMLERİ ETÜD VE MÜŞAVİRLİK
LTD. ŞTİ.

Tic. Sicil No. 36415 Tic. Oda No. 10/243

Bükreş Sokak, 6/4 06680

Kavaklıdere — ANKARA

SİAL: Tel: 127 30 43 - 167 96 58 - 167 66 73

GENEL JEOLJİ

JEOTEKNİK HİZMETLER

HİDROJEOLJİ

BARAJ VE SULAMA, PROJELERİNİN JEOLJİK
ETÜDLERİ, TÜNEL GÜZERGAHI ETÜDÜ,
YERALTISUYU ETÜDÜ, HAVZA ETÜDÜ. İÇME
VE KAYNAK SUYU ETÜDLERİ, TEMEL ARAŞ-
TILMALARI, HEYELAN VE KAYMA SAHASI
ETÜDLELİ, ZEMİN TANIMLAMA DENEYLERİ,
ENDÜSTRİYEL HAMMADDE VE MADEN SA-
HASI ETÜDLERİ FİZİBİLİTE VE PROJE ÇALIŞ-
MALARI.

YERBİLİMLERİNDE SÜREKLİ
DANIŞMANLIK



INGERSOLL-RAND

Kompresörleri ve Ekipmanlarıyla işler daha verimli... daha kazançlı.

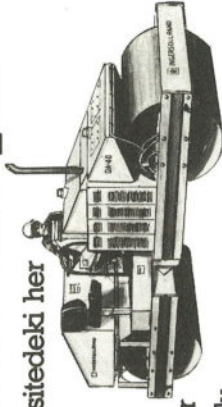
Hamamcıoğlu Müesseseleri, basınçlı hava

teknolojisinde dünya lideri Ingersoll-Rand'ın üstün standarttaki ürünlerini, Türkiye piyasasına kıvançla sunar.



Dilediğiniz kapasitedeki her

türlü ekipman ihtiyacınızı stoklarından karşılamaya hazır olan Hamamcıoğlu



Müesseseleri, etkin bakım ve yedek parça örgütüyle de hizmetinizdedir.

- 125 - 175 - 250 - 375 cfm kapasitede seyyar kompresör çeşitleri
- Kırıcı / delici tabancalar
- Paletli delici ve aksesuarları
- Asfalt silindirleri



INGERSOLL-RAND TÜRKİYE DİSTRİBÜTÖRÜ HAMAMCIOĞLU MÜESSESELERİ T.T.A.Ş.

MERKEZ
İstanbul : Şişli, Büyükdere Cad.
No. 13/A P.K. 181
Telefon : 146 01 54-146 01 55
Telex : 18611 hmtt tr

BÜRO
Ankara
Telefon : 38 85 00 - 38 85 01
Telex : 42439 hmcı tr

BÜRO
İzmir : Cinnah Cad. No. 110/1
Çankaya
Telefon : 21 41 32 - 21 41 33
Telex : 53984 hmtz tr

BÜRO
Adana : Tallipaşa Bulv. Nefret Apt.
No. 6 Kat 1 Alıncak
Telefon : 21 41 32 - 21 41 33
Telex : 53984 hmtz tr

BÜRO
Valiye Vizon Apt.
No. 1/4 P.K. 138 Gar
Telefon : 47586-47587
Telex : 62561 hmad tr

