

- TONEL PROJELERİ SEÇİM VE KONTROLÜ İÇİN KARMAŞIK
YERBİLİM ARAŞTIRMA PROGRAMLARI -

Yazarlar : H.K. HELFRICH, Ph.D., x
B.HASSELSTRÖM xx
B.SJÖGREN xxx

Çeviren : MEHMET ALTINTAŞ

ÖZ :

Son birkaç yıl içindeki tünel açılımlarındaki gelişmeler üzerine, tünel planlama, yapım ve bakımı için yerbilimlerine olan gereksinimler çok fazla artmıştır. Çağdaş araştırma teknikleri, örneğin havadan ve yerden yapılan Jeofizik etüdler, uygulamalı Jeoloji ve kaya mekaniği bilgileri tünelin bütün kısımlarının açılımları süresince yararlı bir şekilde kullanılabilir. Arazi çalışmalarındaki deneyimler ile kuramsal bilgiler arasındaki kopukluklarda bağlantı kurmaya kalkışmak belli bir öneme sahiptir. Yerbilimciler ve yapı mühendisleri, her ikisinde, genel teknik terimleri anlaşılır biçimde kullanmaları çok önemlidir. Dünyanın çeşitli yerlerindeki deneyimler, şimdiye kadar neler yapıldığını ve neler başarılabilmediğini göstermiştir. Başlıca amaç, sismik yöntemlerle kaya mekaniği kontrol yöntemlerinin birlikte kullanılması ile ilgilidir. Yerbilim araştırmaları belirli projelere uygun olarak planlanmalı ve bu araştırmaları maksimum emniyet ve minimum fiyatla başarmak amaç edinilmelidir.

GİRİŞ :

Bütün kullanışlı ve gelişmiş aletlerle hemen her zaman aynı başarıyı gösterebilmenin ve tünel açılım yöntemlerinin hızlı bir şekilde gittikçe artmasının bir sonucu olarak tünel yapımı için teknikler gelişmiştir. Bununla beraber, kaya mekaniği ve diğer araştırma teknikleri her zaman çok geniş kapsamlı olarak kullanılmamaktadır.

Eğer ekonomik olan önemli etkenler, örneğin kaya sağlamlığı, sulu ortamlar ve desteğe gereksinimi olan yerler planlamada hesaba katılacak olursa bu doğrudan doğruya kazançla sonuçlanacaktır.

Birçok konulardaki herhangi görünür fiyat artışları, sonuçta yatırımların iyi bir şekilde değerlendirilmesi gerektiğini kanıtlamaktadır. Bütün tünel projelerinde Jeolojik koşulların dikkate alınması gerekmektedir, çünkü bu koşullar kesin tünel açılımlarında yapımdan yerleşime kadar baştan başa tünel projelerini etkilemektedir.

UYGULAMA YÖNTEMİ :

Sistematiik yaklaşım yöntemi, tünel projesinin amaç, model ve zaman sürecine göre uygulanması olarak tanımlanabilir.

x Şef Jeolog
xx Maden Mühendisi, Jeofizikçi
xxx Teknoloji Uzmanı, Jeofizikçi
Terratest AB, Stockholm, İsveç

Seçim :

Her projeye, onunla bağlantılı olan bütün yerbilim verileri derlenerek başlanmalıdır. Bu, hem jeolojik etüd, fotojeoloji ve haritalamaya ek olarak kaynak sağlar, hem de veriyi önceden hazır duruma getirir ki, bu ayrıntılı yerbilim araştırmaları için fiatlar konusunda karar verme kaynağıdır. Düşünülen tünel hattı boyunca ortaya çıkan sahalardan kaya mekaniği yönünden çözümlenmesi için, fotojeolojik çözümleme ile haritalama ortak bilgiler verebilmelidir, çünkü, morfoloji, drenaj, sertlik, ufalanma ve diğer faktörler, saptanması zorunlu olan kayaç yapısına etki edebilirler. Jeofizik araştırmalar ve yerinde yapılan kuyu içi testlerinin ayrıntılı bilgi verebilmesi için, sonuçların bu çözümleme ile belirlenmesi gerekmektedir.

Aşağıda sıralanan yöntemler uygulanabilir jeofizik araştırmalardır :

1- Kaya birimlerinin ve başlıca fayların örtülü bulunduğu alanların genel olarak haritalanabilmesi için havadan manyetik ve havadan elektromagnetik ölçümleri.

2- Yapısal araştırmalarda karar verebilmek için jeofizik arazi ölçümleri, örneğin, sismik, manyetik, yapay uçaylama (I.P.), elektrik ve gravite gibi.

Kaya mekaniği yönünden sismik yöntemin verileri çok önemlidir ve bu bize dayanımsız kaya parçalarının sismik haritalanmasını yapabileceği de toprak örtüsünün kalınlığı ve yeraltı suyu hakkında çok önemli bilgiler alabilme olanağı sağlayacaktır. Yapay uçaylama (I.P) ve elektriksel öz direnç ölçümleri çok defa kayanın ayrışma derecesi hakkında yararlı özellikler verir.

Önemli jeolojik ve jeofizik ölçümler genel anlamda birbirlerinin etkisi altında olacaktırlar. Hidrojeolojik araştırmalar, yüzey suları, çöküntü havzaları ve yeraltı suyu akıntıları ile birlikte geçirgenlik, drenaj ve kaya oluşumlarının dayanıklılığı hakkında fikir vermesi bakımından önemlidir. Bu sonuçlar, yeraltı su düzeyindeki azalmaların etkileri ve su akıntı zararları hakkında karar verebilmek için jeolojik ve jeofizik bilgilerle birlikte değerlendirilecektir.

Eğer istenilen proje uygun ise ve eğer belirtilen saha, boyutları, çevre koşulları ve tünele gerekli dayanım bakımından yeterli ise yukarıda açıklanmış araştırmaların verilerinden elverişli olan belirlenmiş olacaktır.

Kaya Dayanımının Saptanması :

Kayacın dane boyutlarını, yapısını ve çatlakların yönelimini tanımlamak için sondaj testlerinden alınan karotlardan yararlanılarak bir sondaj karot logu derlenmiştir. Karot boyu sınıflaması (Şekil-1'de) kayaç içindeki dayanımsız zonların yer ve durumları hakkında önemli ölçütler sağlar, Sismik hızlar ile karot boyu düzenlemesi arasında düzenli bir ilişki bulunmaktadır. Hansagi'nin "gefuge-faktor" 'ü kayaç dayanımlılığını saptamada elverişli olduğunu göstermektedir ve bugün kayaç dayanımlılığını sayısal yolla önceden haber verme yöntemlerinden biridir. Bu yöntem ile, tasarlanan tünel içinde gereksinim olan dayanımlılığın tip ve derecesi ile bağlantılı öneriler yapılabilmektedir.

x"Yapısal Faktör" (Çevirenin Notu).

Kaya Kütlesi Hakkında Jeolojik ve Teknik Veriler :

Amaç olarak, tünel açılışında, önceden tünel eksenini boyunca kaya mekaniği şartlarının ve bir jeolojik haritanın sağlanmış olması gerekmektedir. Yüzey verilerine dayalı sınırlı haritalamalar aşağıdaki konuları ortaya koymak için kullanılmıştır :

- a- Tünel eksenini boyunca jeolojik profil,
- b- Sismik kırılma ölçümlerinden dayanımsız veya duraysız zonları bulmak,
- c- Suyun akmakta olduğu zonların kaydedilmesi ve bununla ilgili görülen su miktarının saptanması,
- d- Kayaç özelliklerinin ilk sınıflaması, tünel hattı boyunca sismik ve sondaj bilgileri üzerine dayanmaktadır.

Yapım, Denetleme ve Kontrol :

Tünel açılımı süresince ayrıntılı bilgilere sahip olmak için jeolojik haritalama, sismik kırılma ve deformasyon ölçümleri tamamen yapılmalıdır. Haritalama uygun aralıklarla duvarları, çatı ve yüzeyi içine almalı ve özellikle patlatmadan sonra doğrudan doğruya tünelin çizgileriyle gösterildiği yerde çalışmaları yürütenler ile uygun olarak planlanmış olmalıdır. Bu gibi durumlarda, daha sonraki yapısal çözümler için gerçek belgelere dayanmak koşulu ile, duvarlarda ve yüzeyde hızlı fotoğraflık kayıtlar denenebilir. Sürekli yapısal kontrolün bu yönü kaya bulonlama aralıklarına karar vermede çok önemlidir ki bu tabakanın özelliklerine ve dayanımsız zonların durumlarına uygun olarak ayarlanabilir. Dayanımsız zonların daha fazla desteğe gereksinimi olan yerleri, her zaman, yüzey haritalamalarıyla önceden saptanamaz. Sonuç olarak, sürekli kayıt, yapım başlamadan önceki bütün değişimleri koruyacaktır, böyle bir kayıt çözümlene değişimlerinin ve yeniden yapımın çok önemli olduğunu kanıtlayabilir.

Mikrosismik Ölçümler :

Mikrosismik ölçümler bozmuş kayaç yakınında oluşturulan sismik akustik pulsların, uzaktan algılama yöntemi ile tünel çevresindeki kayaçlar içinden sağlanmasına dayanmaktadır ancak buna açıkça dikkat edilmez. Önce, tünel açılışında, potansiyel enerji açığa çıkarılır, sonuçta stress değişimlerinden dolayı pulslara neden olunur. Seri mikrosismik ölçümler için Vogler ve Thome altı bağımsız değişkenli bir bağıntı tanımlamaktadırlar :

$$I_{t=} f (\Sigma, 0-, E^0, \beta, e, k) \quad \text{bu bağıntıda,}$$

Σ = Kayacın bulk dayanımı,

$0-$ = Maden galerinde veya kayaç boşlukları çevresindeki birim deformasyon dağılımı

$$E^0 = \frac{\epsilon \text{ elast}}{\epsilon \text{ toplam}} = \text{Kaya malzemesinin elastisite derecesi}$$

β = Kaya kütlesine ait elastik dalgalar için sönüm katsayısı

e = Jeofon ve yükseltici duyarlılığı.

$$k = \frac{A_a}{A_g} \quad (\text{kuplaj faktörü})$$

A_a = Jeofon titreşim enerjisi

A_g = Kaya kütlesi titreşim enerjisi

Arka plandaki gürültüler yerinde çok kanallı donanımlar kullanılarak ve sahayı uzun süre monitor ederek aynı anda çöküntü yapabilecek merkezleri belirleyebilir.

SİSMİK ÖLÇÜMLER :

Sismik kırılma ölçümleri mühendislere ve jeologlara inşaat mühendisliği programlarının planlanmasında çok yararlı ve güvenilir yardımlar sağladığını kanıtlamıştır. Yaklaşık olarak bu yöntem, tasarlanan yapıım alanlarında ilk önceki aşamada çok ucuz ve çabuk araştırma yapma ki bu da sonuçta ayrıntılı araştırmalara ek olarak çok uygun alan veya hat seçebilme olanağı sağlar. Tek kanallı donanımlar, hızlı gelişimin sonucu, zamanla yerlerini çok kanallı donanımlara bırakmışlardır. Çağdaş arazi yöntemleri ve yorumlama teknikleri, çok kanallı donanım ve kaydedicilerin zamanı 0.2 milisaniye duyarlılıkla okumaya olanak tanıması esaslı üzerine dayandırılmışlardır. Sistemli ölçüm, tünel projeleri hakkında aşağıdaki önemli bilgileri verebilir :

1- Bu yöntem, bütün tünel uzunluğu boyunca bozunma durumu, sağlam kaya veya temel kaya derinliğine kadar sürekli bir profil sağlar. Eğer uygun şekilde kullanılırsa tünel yapımında kritik olan gevsek bir kaya gözden kaçırılmayacaktır.

2- Araştırma sondajlarının kritik noktalara doğru yönlendirilmesi sonucunda kazanç sağlanır, bunun tersi ise pahalı sondaj programlarını getirir.

3- Sismik hızlarla kayanın niteliği tanımlanabilir. Zayıf nitelikli kayalar, dikey kesme zonları ve faylar içinde bulunabilecek -leri gibi, birden fazla yatay tabakanın içinde de bulunabilirler.

Şekil-2 Kuzey İsveç tünel projesinin sismik incelemesinden elde edilen sonuçları göstermektedir. Bozuşmuş ve çatlaklı ana kayanın hızı 3100-4000 m/sn, sağlam kayanın hızı 4700-5500 m/sn aralıklarında iken 900-2000 m/sn hızları toprak tabakalarına karşılık gelmektedir. Yapımı tasarlanılan projenin kritik noktaları tanımlanırken, sağlam kaya içindeki çeşitli kesme zonlarının 3000-4000 m/sn hız aralığında olduğunu göstermiştir. Bu zonların uzanımlarını izlemek ve tünel hattı için uygun yeri seçmek amacı ile eklemeli sismik profil ölçümleri yapılmıştır.

Sismik ölçümler ve örtü tabakasının derinliği arasındaki istatistiksel karşılaştırmalar, mekanik sondajı takiben derinlik hesaplanmasındaki doğruluğun 10 m.'de ± 1 m., ve 50 m.'de ± 3 m. duyarlılıkla saptanabileceğini göstermiştir.

Sismik Hızlarla Kayanın Niteliği Arasındaki Bağlılıklar :

Tünel açılımları ve sondajlar ile sismik hızların karşılaştırmalı sonuçlarından, son bir kaç yıl içinde, sismik hız ve kaya niteliği arasındaki ilişkinin tanımlanması mümkün olabilmektedir. İlk olarak sağlam kaya içindeki 4000 m/sn'den daha düşük boyuna dalga hızları açık bir şekilde, bozmuş veya yüksek derecede kırıklı kayanın yer aldığı fayları veya zayıf zonları ortaya koyarken bu durumda genellikle tünele destek kaçınılmazdır. Diğer taraftan 4000 m/sn'den yüksek hızlar, tünelin çok az desteğe gereksinimi olduğunu dolayısıyla sıkı ve sağlam kayayı gösterir. Benzer örneklerde sağlam kaya daha düşük görünmektedir ancak değerler hız sınırları içinde değişmektedir.

Ortalama Karot Boyları ve Kaya Eklem Frekansı İle Sismik Hızlar Arasındaki Bağlılıklar :

Metredeki kırık sayısı, karotlar ve ortalama karot boylarından bulunmuş ve sismik hızların bir işlevi olarak Şekil- 3A, 3B ve 3C' de çizilmiştir. Bu şekillerdeki ortalama eğriler şu eşitlikten çıkmıştır :

$$\frac{X}{V_0} + \frac{1 - X}{V_1} = \frac{1}{V_e}$$

Burada;

- V_1 Sağlam materyalin hızı,
- V_0 İkinci derecedeki materyalin hızı,
- V_e Ortalama hız,
- X V_0 hızlı uzunluk.

X , $k_1 n$ ile yer değiştirmiştir;

Burada;

- k_1 değişmez
- n metredeki kırık sayısı

$$k_1 n \frac{V_1 - V_0}{V_1 \cdot V_0} = \frac{1}{V_e} - \frac{1}{V_1}$$

Sismik Hızlarla Kayanın Kırık Hacmi Arasındaki İlişki :

Sismik hız değerleri ve kayanın kırık hacmi arasında karşılaştırmalar yapılarak, çizilmiş olan 4. Şekil, sismik hız ile sondaj kuyu uzunluğu boyunca tamamen kırıklı kaya yüzde oranını göstermektedir. Kaya kırık yüzde oranındaki ani bir değişim 4500 m/sn'lik bir hıza karşılıktır.

Şekil, 2500 m/sn'den düşük hızların, kırıklı kayada olduğu gibi, suya doygun morenler içinde ortak bir hız olduğuna dikkat edilmesi gerektiğini gösterir.

Sismik Hızlarla Karot Boyu Sınıflaması Arasındaki Bağlantı :

Şekil. 5'de çizilmiş olan histogram, 133 metre sondajı kapsayan 23 sondaj kuyusu üzerinde yapılan ölçümlerden, sismik hızların bir işlevi olarak karot boyu düzenlemesini göstermektedir. 4700 m/sn'den daha yüksek hızlarda küçük karot parçaları sayısı çok az iken, 4000 m/sn'den daha aşağıda çok küçük karot parçaları büyük oranda saptanır.

Ölçüm Hızı :

İnşaat mühendisliği amaçları için, standard sismik incelemelerin alacağı zaman, etüdün derecesine, araziye ve ölçüm hatları arasındaki uzaklıklara bağlıdır. Genellikle günlük ortalama sismik etüd tarama hızı normal arazi için 400 ile 600 metredir. Uzaklıklar az olduğu zaman bu hız günde 600 ile 1000 metreyi bulabilir. Temel kaya derinliği başlı başına zaman almaktadır, bu yöntem derinliğin fazla olduğu yerlerde bile çok büyük yarar sağlar.

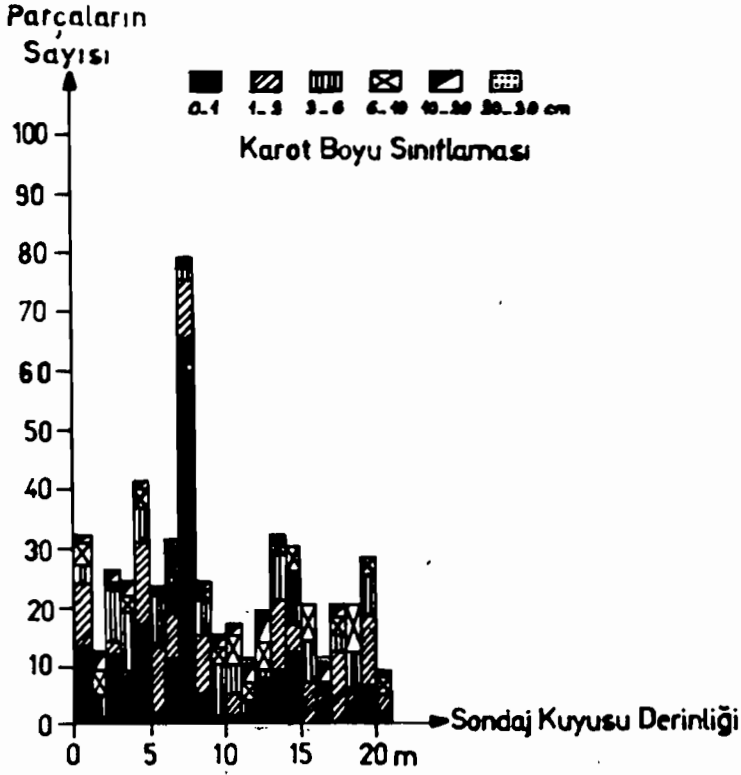
Şekil. 6'da, sondajlar ile beraber sismik ölçümlerin uygulama örnekleri Hasselström²'ün makalesinden alınmıştır.

SONUÇ :

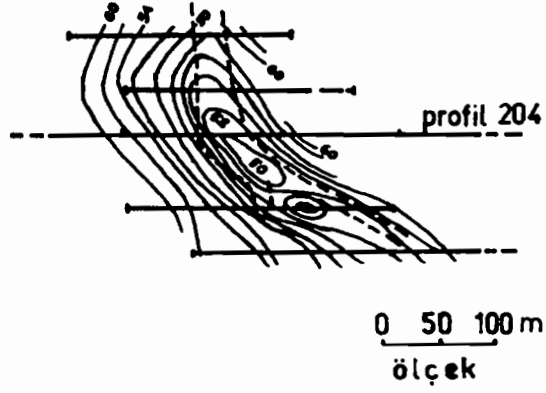
Çağdaş tünel projeleri, kapsamlı yerbilim araştırmalarını, projenin karmaşıklığına göre bütün jeolojik ve kaya mekaniği bilgilerini bir araya getirerek çok kere haklı çıkarmaktadır. Bu ölçümler sismik kırılma yöntemleri aracılığı ile çok kolay tamamlanabilmektedir ki bu tünel yapımında karşılaşılan kaya çeşitleri hakkında değerli bilgiler sağlar. Bu kullanışlı bilgiler ile, önceden bilinen koşullardan doğan isteklere karşılık verilir, fiatlardaki düşüşler etkilenir ve tünel projesi çok büyük güvenle planlanabilir.

KAYNAKLAR :

- 1- VÖGLER, G., and THOMA, K., Die Überwachung von Bruchvorgängen im Gebirge mit programmierter digitaler Eigenimpulsregistrierung über Tage. Bergakademie, V.9 (1967), pp. 514 - 518
- 2- HASSELSTRÖM, B., Water prospecting and rock investigation by the seismic method. Geoprospection, V.7 (1969), pp. 113 - 132.

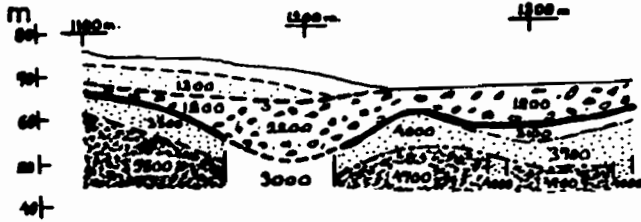


Şekil. 1 - Sondaj kuyularındaki karot boyu sınıflaması, kaya kütleleri içindeki dayanımsız zonları göstermektedir.

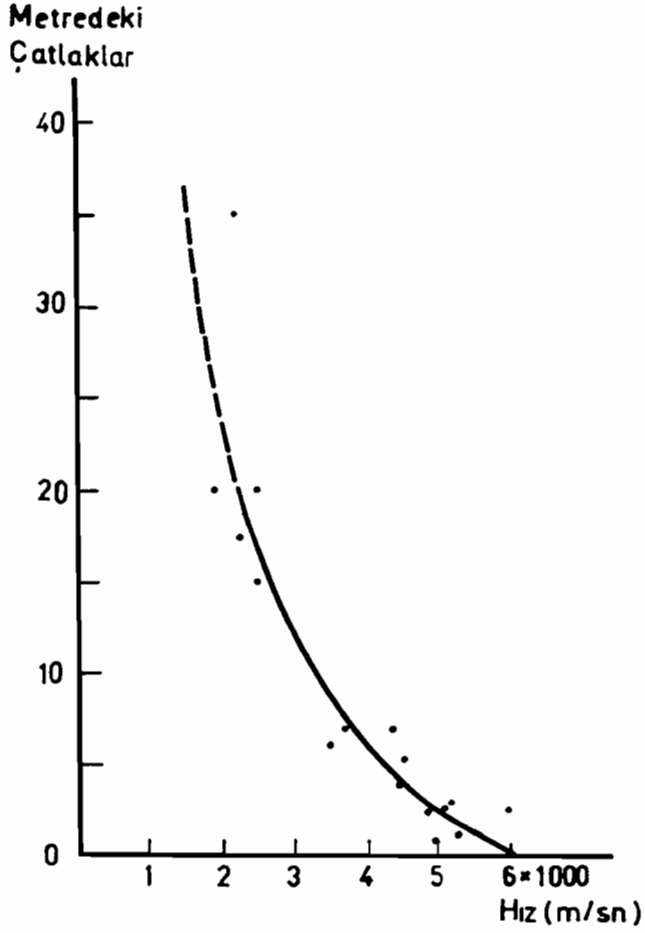


temelkaya konturları
kesme zonu uzanımı

profil 204

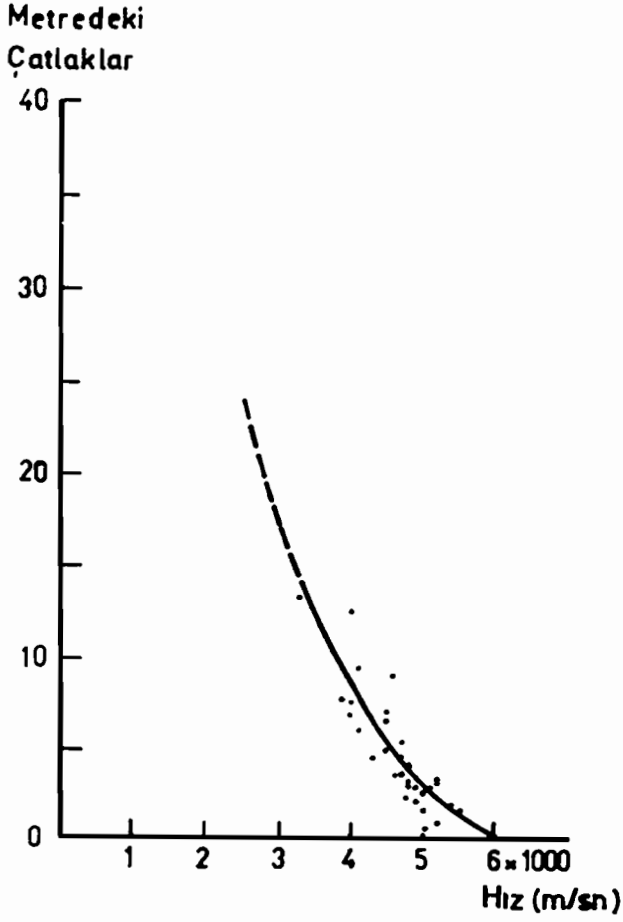


Şekil. 2 - İsveç'in güneyinde bir tünel projesi için standart sismik araştırmadan harita ve kesit. Hızlar m/sn olarak verilmiştir. Sismik etüde dayanarak düşük hız zonu uzanımı ve temel kaya konturları

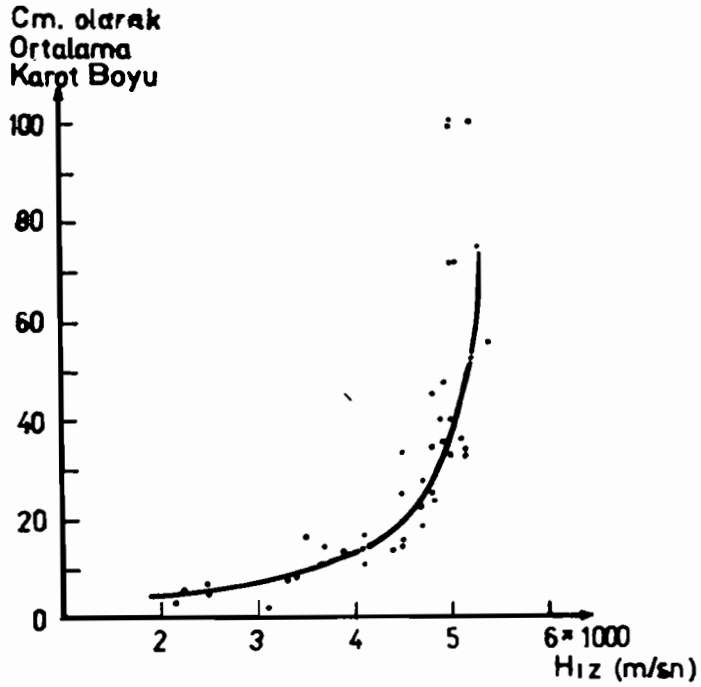


Şekil. 3A - Sondaj kuyularından kaya kalitesinin yorumlanması, m/sn olarak boyuna sismik hızlar ile metredeki çatlaklar arasındaki ilişkinin açıklanışı.

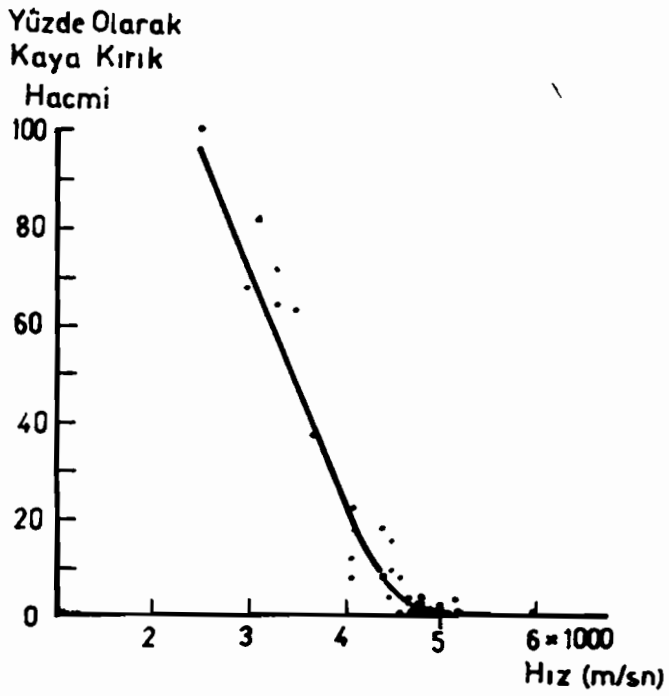
Araştırma sahası Andes-Şili'de bulunmaktadır.



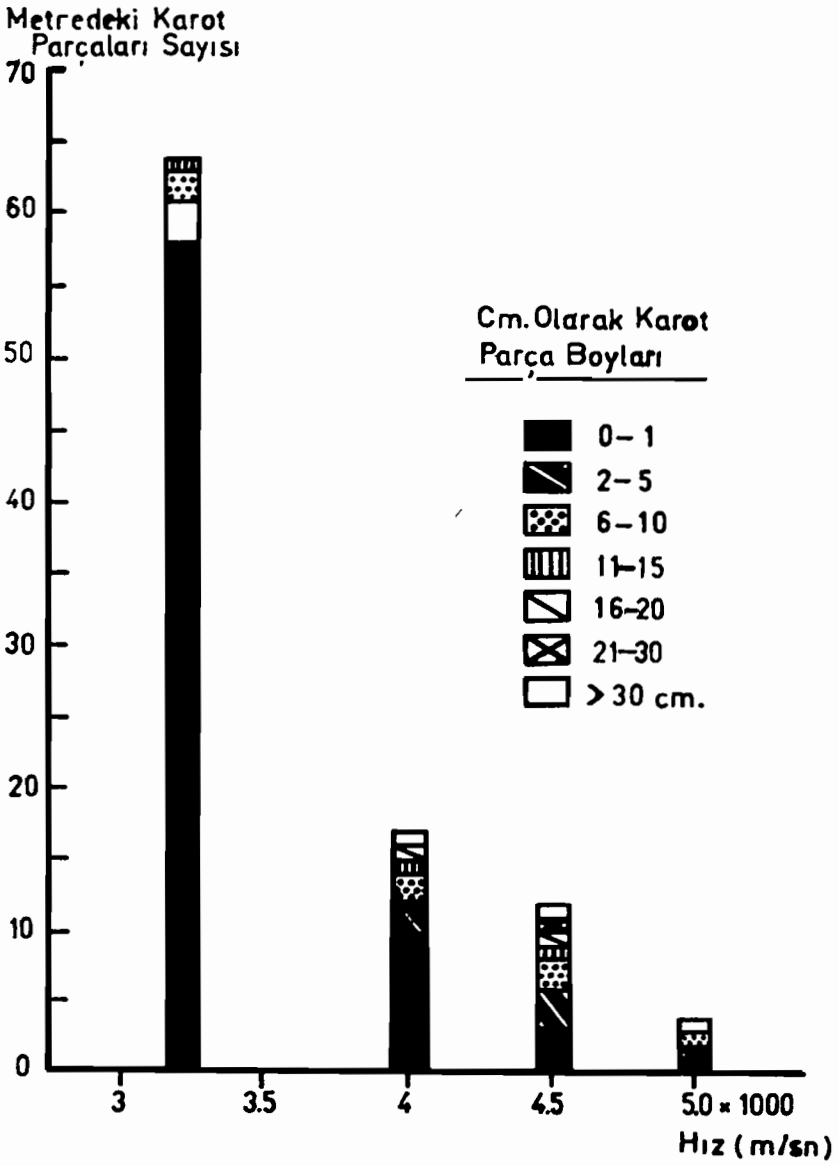
Şekil.3B - İsveç'teki bazı sahalarda, Şekil.3A'daki aynı araştırma



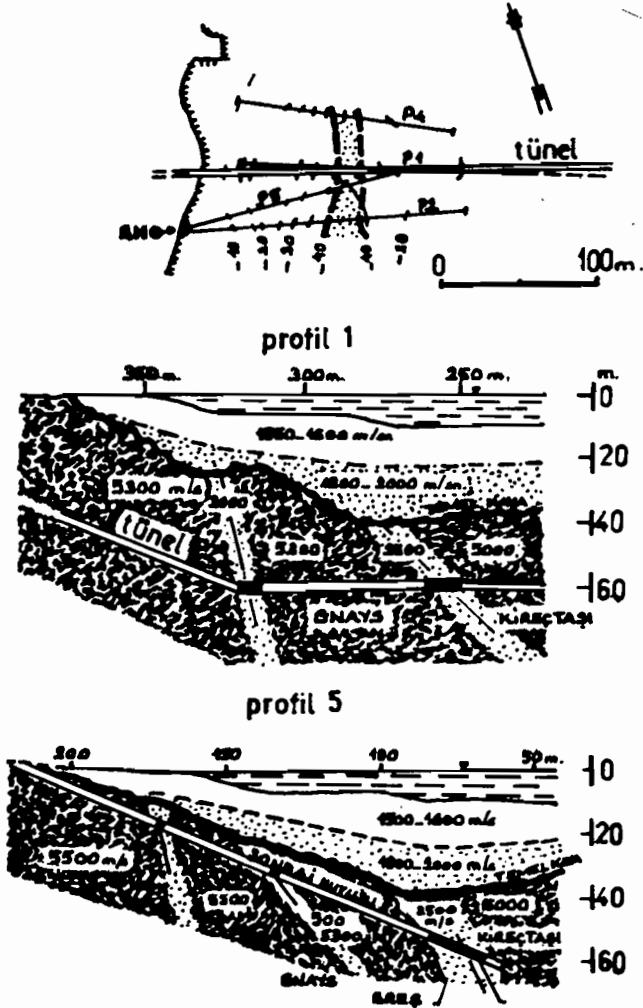
Şekil. 3C - Santimetre olarak ortalama karot boyu ile m/sn olarak sismik hızlar arasındaki ilişki



Şekil. 4 - Yüzde olarak kaya kırık hacmi
ile m/sn olarak hızların açıklanışı



Şekil. 5 - Sismik hızlarla karot boyu sınıflaması ilişkisi



Şekil. 6 - Sismik etüd ile düşük hız zonlarının bulunuşu ve sonradan eğimli sondaj kuyularının esas zona (2500 m/s hızlı) doğru yöneltiliş, eğimli zonların materyal düzeninin ve sismik ile uyumunun bulunuşu