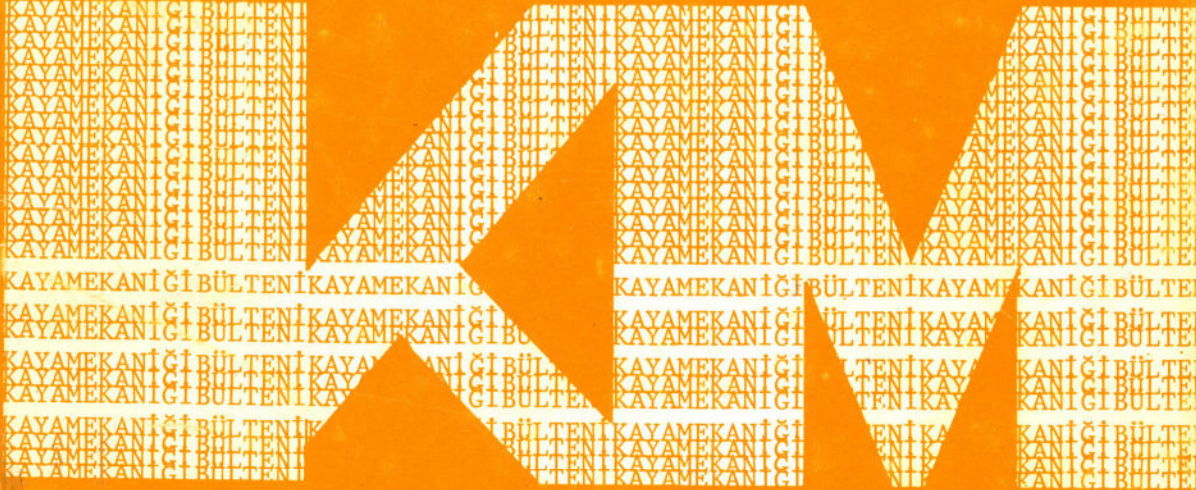


Kaya Mekaniği Bülteni 1

Ekim 1982

- Kaya Mekaniğinin Dünyada ve Türkiye’de Gelişimi** : **E. YÜZER**
Tünel Projelerinde Kaya Mekaniği Çalışmaları : **M. VARDAR**
Akustik Emisyon / Mikrosismik Aktivite : **K. E. KASAPOĞLU**
Yerinde Deneylerin Oda - Topuk Boyutlandırılmasına Uygulanışı : **E. ARIOĞLU**



Türk Ulusal Kaya Mekaniği Derneği Yayınıdır

Arkın Kitabevi — İstanbul



TÜRK ULUSAL KAYA MEKANİĞİ DERNEĞİ

YÖNETİM KURULU

Başkan	: Prof. Dr. Erdoğan YÜZER	(İ.T.Ü. Maden Fakültesi)
Başkan Yard.	: Doç. Dr. Mahir VARDAR	(İ.T.Ü. Maden Fakültesi)
Genel Sekreter:	Doç. Dr. Erçin KASAPOĞLU	(H.Ü. Mühendislik Fakültesi)
	Doç. Dr. Ergin ARIOĞLU	(İ.T.Ü. Maden Fakültesi)
Sayman	: Güngör UNAY	(E.İ.E. İdaresi - ANKARA)
	Mesut ÇETİNÇELİK	(D.S.İ. OETD - ANKARA)

DENETİM KURULU

Yalçın İRFAN	(O.D.T.Ü. Mühendislik Fakültesi)
Celâl KARPUZ	(O.D.T.Ü. Mühendislik Fakültesi)
Ercan KOŞAR	(E.İ.E. İdaresi - ANKARA)

YAYIN KURULU

Yönetim Kuruludur.

Yazışma Adresleri :

Hacettepe Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi Jeoloji Bölümü
Beytepe - ANKARA

İstanbul Teknik Üniversitesi
Maden Fakültesi
Teşvikiye - İSTANBUL

- Kaya Mekaniğinin Dünyada ve Türkiye’de Gelişimi** : **E. YÜZER**
Tünel Projelerinde Kaya Mekaniği Çalışmaları : **M. VARDAR**
Akustik Emisyon / Mikrosismik Aktivite : **K. E. KASAPOĞLU**
Yerinde Deneylerin Oda - Topuk Boyutlandırılmasına
Uygulanışı : **E. ARIOĞLU**

Türk Ulusal Kaya Mekaniği Derneği
Yayıdır.

Arkın Kitabevi — İstanbul



Değerli Okurlarımız,

Sizlere sunduğumuz bu dergi, derneğimiz kuruluşundan bu yana geçen 15 yıl içinde değişik aralardan sonra çıkarabildiği 3. dergi olmaktadır. Başlıbaşına bu olay bile kaya mekaniğinin ülkemizde özlenen düzeye gelmesinden ne denli uzak olduğunu göstermektedir.

1981 yılında göreve getirilen yönetim kurulumuz derneğimizin üyesi bulunduğu Uluslararası Kaya Mekaniği Derneği (ISRM) ile 1976'dan bu yana kopuk olan ilişkisini yeniden sağlamaya çalışmış, 20 Eylül 1981'de Tokyo'da yapılan konsey toplantısında konu görüşülerek, uluslararası derneğe tekrar üyeliğimiz gerçekleşmiştir.

Bunun üzerine 25 Ağustos 1981 tarihi itibarı ile 40 olan üyemizin isimleri ISRM'e bildirilmiş ve bu üyelerimiz adına düzenlenen ISRM kimlik kartları kendilerine gönderilmiştir. 1981 yılında iki haber bülteni çıkarılarak kaya mekaniği alanındaki bilimsel etkinlikler üyelerimize duyurulmaya çalışılmıştır.

1981 yılında genel sekreterimiz, Doç. Dr. Erçin KASAPOĞLU ve saymanımız Güngör UNAY'ın yurtdışına gidişleri nedeni ile Ankara'da yürütülen etkinliğimiz önemli ölçüde aksamıştır. Daha sonra saymanlık görevini üyemiz A. Mesut ÇETİNCİLİK, genel sekreterlik görevini de geçici olarak Doç. Dr. Ergin ARIOĞLU yüklenmişlerdir.

Ülkemizde kaya mekaniği disiplini yerleştirip yaygınlaştırmak amacı ile tamamen bilimsel içerikte ve elinize aldığınız yeni şekli ile senede iki kez çıkarılması düşünülen dergimizin esirgemeyeceğinizi umduğumuz ilgi ve desteğinizle bundan sonraki sayılarında özlenene daha yaklaşıcağına inanıyoruz.

Sizlerden gelecek katkı ve eleştiriler doğrultusunda daha iyiye doğru yönlendirileceğini beklediğimiz dergimizin bundan böyle düzenli olarak çıkması en içten dileğimizdir.

Tekrar çıkarken tüm üyelerimize ve okurlarımıza başarı dileklerimizle saygı ve sevgilerimizi sunarız.

Yönetim Kurulu

YAZIM İLKELERİ

"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 2. 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 aydınlatılmış 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.

KAYA MEKANİĞİNİN DÜNYADA VE TÜRKİYE'DE GELİŞİMİ

*Erdoğan YÜZER**

İnsanın güvenerek ilk kullandığı malzeme "Taş"tır. Bu güven sonraları barınak, daha sonra da temel olarak "kaya"ya da duyulmaya başlamıştır. Geçtiğimiz yüzyıllarda kayaya duyulan güvenin sınırları o kadar genişlemiştir ki, yerüstü ve yeraltı kazıları sırasında "Kaya"ya ulaşmak, ya da kayayı bulmak amaç olmuş kaya, mekanik davranışını etkileyici özellikleri ölçülmeksizin sağlam varsayılmıştır. İçinde yaşadığımız yüzyılın ortalarına kadar bu güveni sarsacak büyük tehlikeler doğmamış, ancak bu sırada, şimdilerde değerlendirebildiğimiz, maliyeti artırıcı aşırı boyutlandırılmalara gidilmiştir.

Kayaların aşınma ve ayrışma ürünü olarak tanımlanan, gevşek, çimentosuz ortam, ya da mühendislik tanımı ile "Zemin"e ise 200 yıldan bu yana güven duyulmamış, zeminlerin ancak denenerek, daha sonraları da ölçülerek, temel olma açısından güvenilirlik derecelerinin saptanması yoluna gidilmiştir. Zeminlerin bu özelliği, "Zemin Mekaniği" biliminin çok önceleri gelişmesini sağlamıştır.

İkinci Dünya Savaşı sonrasında başlayan hızlı endüstrileşme sırasında zeminlere oranla çok daha heterojen, anizotrop ve süreksiz bir ortam olan "Kaya"ya insan eli ile aktarılan yüklerin miktarı 8-10 kat artmış, kaya içinde açılan boşluk çapları 4-5 kat büyümüştür. Bu sınırlara ulaşıncaya, "kaya" da denenmeden, ölçülmeden güvenilir bir ortam olma özelliğini yitirmiştir. İşte, kayanın mekanik davranışının denenerek, ölçülerek öğrenilmesi ve yapıların buna göre boyutlandırılması "Kaya Mekaniği" biliminin ortaya çıkmasını sonuçlamıştır.

Kayaların mekanik davranışını belirleyen kuramsal ve uygulamalı, disiplinler arası bir bilim dalı olarak tanımlanan "Kaya Mekaniği"nin gelişimi son 35 yıl içinde olmuştur.

1950'lerden bu yana,

- Matematik ve fizik bilimlerindeki genel gelişme, özellikle gerilme ve deformasyonların "duyarlı" olarak ölçülmesinin başlaması,
 - Başta petrol olmak üzere, az derinden elde edilen madenler yerine gittikçe daha derinlere ulaşılması zorunluğunun doğması,
 - Baraj, tünel, yeraltı santral gibi yapılarda boyutların gittikçe artması
 - Askeri amaçlı yapılar ve depolama işlerinin yeraltında yerüstüne oranla daha güvenle yapılması,
- kaya mekaniğinin gelişimini hızlandırmıştır.

Kayalardan alınan örnekler (taşlar) üzerinde bilimsel alandaki ilk çalışmalara 1908-1911 yılında GRIGGS ve Von KARMAN'la başlanmıştır. Bu ilk deneyler, kırılma, kıvrılma gibi doğada izlenen tektonik olayların mekanizmasını araştırma amacını taşımıştır. Yine bu tarihlerde (1910-1912) LEON ve WILLHEIM tarafından kaya ortam içindeki boşlukların çevresindeki gerilme dağılımını ve kırılma mekanizmasını inceleyen laboratuvar deneyleri yapılmıştır.

Kayalar üzerinde mühendislik amaçlarına dönük laboratuvar ve arazi ölçmelerine 1945'den sonra başlanmıştır (ROS-EICHINGER, 1949). Bu tarihten sonra kaya mekaniği ile uğraşan çeşitli disiplinler içinde yetişmiş kişiler, bir araya gelerek örgütlenmeye başlamışlar, kendi meslek görüşlerini bugün ayrı bir «ekol» olarak değerlendirilen çerçeveler içine oturtmaya başlamışlardır. Amerika'da W. LIVINGSTON (1945-1952). Avrupa'da J. STINI (1946-1951) bu türdeki gayret gösterenlerin öncüleri olmuşlardır. Bu gayretlerin sonunda, belirli aralarla tekrarlanan bilimsel toplantılar yapılmaya başlamıştır.

1951 yılında Avrupa'da (Salzburg), 1956 yılında Amerika'da (Colorado) ilk kaya mekaniği kollokyum ve simpozyumları yapılmıştır. Bu bilimsel toplantılar günümüze kadar her yıl tekrarlanarak gelmiştir. 1982 Ekim ayında artık gelenekleşen Salzburg "Geomekanik" kollokyumlarının 31. cisi, 1982 Ağustos ayında da Amerika'daki simpozyumların 23. su yapılmıştır.

1950-60 arasında daha çok ayrı kıtalarda kalan bu gelişmeler, 1962'de L. MÜLLER'in öncülüğü ile "Uluslararası Kaya Mekaniği Derneği"nin kurulmasından sonra, Uluslararası bir nitelik kazanmıştır. Bu dernek, 1966'dan bu yana, her 4 yılda bir tekrarlanan Kongre'ler, her yılda simpozyumlar düzenlemektedir. Lizbon'da düzenlenen ilk uluslararası kaya mekaniği kongresinden bu yana 5 büyük kongre yapılmış, 6. kongrenin de 1984 yılında Montreal'de yapılması kararlaştırılmıştır. Kaya mekaniği ile yakından ilgili olan mühendislik jeolojisi ve zemin mekaniği disiplinlerindeki derneklerle birlikte düzenlenen bilimsel toplantıların sayısı ise çok daha fazladır. Örneğin, kaya mekaniği derneğinin Mayıs 1982'de çıkarılan haber bülteninden edinilen bilgilere göre kaya mekaniği ve başta baraj ve tüneller olmak üzere yakından ilgili konularda 1982-84 yılları arasında 60 kadar bilimsel toplantı düzenlenecektir. Diğer taraftan bu yoğun bilimsel çalışma ve örgütlenme sonucunda çok sayıda kitap ve periyodik de yayınlanmaya başlamıştır.

Dünyadaki bu hızlı gelişme sırasında, Türkiye'de de kaya mekaniği ile uğraşan kişi ve kurumlar görünmeye başlamıştır. İlk kaya mekaniği uygulaması baraj yerlerinde, 1962'de EİEİ tarafından hidrolik krikto deneyleri ile başlatılmıştır. 1968 yılında "Ulusal Kaya Mekaniği Derneği" kurulmuş, bu dernek aracılığı ile uluslararası ilişkilerin aralıklı da olsa sağlanmasına çalışılmıştır.

Üniversitelerimizde "Kaya Mekaniği" biliminin ders olarak okutulmasına 1970'lerden sonra başlanmıştır. İlk kez 1973-1974 ders yılından itibaren kaya mekaniği adı altında ayrı bir ders olarak kimi üniversitelerimizin öğretim programlarına alınmıştır.

Ülkemizde, baraj, tünel v.b. inşaat mühendisliği yapılarında kaya me-

kanığı uygulamaları, bugün için, madencilik alanındaki uygulamalardan daha yaygındır. Diğer ülkelerde örneği görülen madencilik alanındaki kaya mekaniği uygulamalarına halen yurdumuzda hiç başlanılmamıştır.

Uygulayıcı kuruluşlarımızda kaya mekaniği ile uğraşan yeteri kadar sayıda teknik elemanın bulunmayışı, kaya mekaniği uygulamalarının ülkemizdeki yaygınlaşmasını engellemektedir. Ancak, üniversiteler ve uygulayıcı kuruluşlarda bulunan ve kaya mekaniği ile uğraşan çok az sayıdaki elemana da kendilerini kanıtlama fırsatı verilmemektedir. DSI ve ELE gibi uygulayıcı kuruluşlarımızdaki kaya mekaniği servislerindeki elemanlar çoğu kez, arazide aldıkları ölçüleri yorumlanması için yabancı uzmanlara iletenler durumunda bırakılmaktadır. Geçmiş yıllara oranla, büyük yeraltı kazılarının yoğunluk kazandığı bir dönemde, yapılması planlanan kaya mekaniği deney ve uygulamalarında halen yabancı uzmanların kullanılması üzücüdür. Bu uygulamada kamu kuruluşlarımızın aracı edilmesi ise, üzülmekten de öte, düşündürücüdür.

Üniversitelerimiz ve kamu kuruluşlarımızda halen kaya mekaniği ile dolaylı da olsa uğraşanların sayısı 30 kadardır. Uygulamaların yukarıda belirtilen biçimde olması nedeni ile bu sayı artmak bir yana, gün geçtikçe azalmaktadır. Uzmanlıklarını çoğu yurt dışındaki öğrenimleri ile kazanmış bu genç ve yetenekli kaya mekanikçilerin cesaretlendirilmesi, kendilerine uygulama alanında yetki ve sorumluluk verilmesine bağlıdır.

Derneğimiz bu konuda üzerine düşen girişimleri yapmanın bilinci içindedir. Ancak başarının, kaya mekaniği ile uğraşan kamu kuruluşlarının konuya verecekleri önem ve üniversitelerimizdeki çok sınırlı potansiyeli harekete geçirebildikleri oranda gerçekleşebileceği unutulmamalıdır. Aksi halde; 2000li yıllarda bile, yurt dışından kaya mekaniği uzmanı getirmek zorunda kalınmasının sorumluluğunu hepimiz şimdiden üstlenmeliyiz.

TÜRK ULUSAL KAYA MEKANİĞİ DERNEĞİ ÜYELERİ

ADA, E. (D.S.İ.)
AKDOĞAN, E. (E.İ.E.)
AKSOY, H. (M.T.A.)
ALEMDAROĞLU, B. T. (M.T.A.)
APAYDIN, N. (M.T.A.)
ARIOĞLU, E. (İ.T.Ü.)
ATASOY, Y. (H.Ü.)
ATAMAN, T. (O.D.T.Ü.)
BİLALCOĞLU, R. (D.S.İ.)
BİLGİN, A. (O.D.T.Ü.)
BİRÖN, C. (İ.T.Ü.)
BÖLÜKBAŞI, N. (O.D.T.Ü.)
BULUTLAR, E. (E.İ.E.)
BÜYÜKKÖSE, N. (E.İ.E.)
CAN, C. (O.D.T.Ü.)
ÇETİNÇELİK, A. M. (D.S.İ.)
DENİZ, S. (İ.T.Ü.)
ERANIL, Y. (E.Ü.)
ERDOĞAN, H. (D.S.İ.)
ERDOĞAN, M. (İ.T.Ü.)
ERTUNÇ, A. (E.İ.E.)
GÜLDÜR, H. (Engin Müh.)
GÜNAY, G. (H.Ü.)
GÜMÜŞOĞLU, Ç. (İ.T.Ü.)

İRFAN, T. Y. (O.D.T.Ü.)
KALAÇ, M. (TEMEL SU)
KARABATAN, A. Y. (SU İŞİ)
KARPUZ, C. (O.D.T.Ü.)
KASAPOĞLU, K. E. (H.Ü.)
KAZANOĞLU, H. (H.Ü.)
KARACAN, E. (H.Ü.)
KESKİN, E. (M.T.A.)
KİFER, O. B. (H.Ü.)
KOÇAK, S. (M.T.A.)
KULAKSIZ, S. (H.Ü.)
ÖZER, N. (HAMAMCIOĞLU)
ÖZGENOĞLU, A. (O.D.T.Ü.)
FAŞAMEHMETOĞLU, G. (O.D.T.Ü.)
SAVAŞKAN, E. (S.T.F.A.)
SEZGİNER, Y. (TEMEL SU)
SÜMERMAN, K. (E.İ.E.)
ŞENYUR, G. (H.Ü.)
TAN, Y. (E.İ.E.)
ULUSAY, R. (M.T.A.)
UNAY, G. (E.İ.E.)
VARDAR, M. (İ.T.Ü.)
YÜCEL, Z. (M.T.A.)
YÜZER, E. (İ.T.Ü.)

TÜNEL PROJELERİNDE KAYA MEKANİĞİ ÇALIŞMALARI

Mahir VARDAR*

1. GİRİŞ

Kaya içindeki tünellerin güvenli, ucuz, çabuk ve ömürlü açılmasını sağlayan etmenlerin başında "doğanın mekanik davranışlarının yeterince tanınabilmiş olması" gelir. Bu amaçla; hazırlık, araştırma, planlama, projelendirme, uygulama ve uygulama sonrasında yürütülen çalışmalara kaya mekaniği çalışmaları adı verilmektedir.

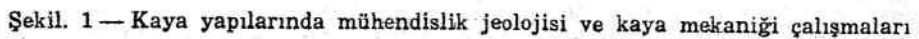
Bu çalışmalar genel olarak birbirinden farklı üç ayrı anlayış içinde sürdürülmektedir.

- a) Doğa, yerkabuğu her türlü özellikleriyle tanımlanır ve tanıtılır. İnşaat ve/veya maden mühendisi, proje hesaplarında kullanacağı verileri bunlar arasından seçer. Proje hesaplarında kullanılan parametrelerin bilinmesi, çalışmaları başarıyla yönlendirir ve gereksiz ayrıntılardan kaçınmaya yardımcı olur. Bu anlayışta; "doğanın yapıya olan etkilerinin bilinmesi" yeterlidir.
- b) Tünel mühendisi, boyutlandırmak istediği açıklığı hesaplayabilmek için gerekli gördüğü, yerkabuğu ile ilgili verileri elde etmek ister. Klasik inşaat mühendisliği anlayışı içinde yeralan bu görüşte, ana ilke tünel kaplamasının doğaya ve onun tüm olumsuz etkilerine karşı direnecek şekilde boyutlandırılmasıdır. Burada yalnızca jeolojik ve jeomekanik verilerden oluşan sayısal bilgiler sunulur.
- c) Günümüzün kaya yapıları mühendisliğinde; tünel, açılan boşluk dolayındaki, teknik girişimden etkilenen ve öngörülen süre içinde duraylılığı sağlanmış olan doğa ile koruyucu, sağlamlaştırıcı ve kullanım amaçlı yapılardan oluşan bir sistemler bütünüdür. Bu bütünde doğanın yapıya olan etkilerinin yanı sıra, teknik girişimin (tüm kazı ve sağlamlaştırma türleri, hızları ve gereçleri dahil) doğaya olan etkileri de araştırılmakta ve kaya mekaniğinden bu "karşılıklı etkileşimleri tanıtan ve belirleyen" jeoteknik değerlendirmeler istenmektedir.

Bu verilerin duyarlılığı ve girdilerin ayrıntısı, çalışılan proje aşamasına ve projenin önem derecesine göre değişmektedir.

2. BAŞLICA ÇALIŞMALAR

Yeraltı kaya yapılarının başta gelen türlerinden biri olan tünellerin projelendirilmesi için arazide, laboratuvarında ve büroda birbirlerini tamamlayan araştırma ve çalışmalar yapılmaktadır. (Şekil. 1)



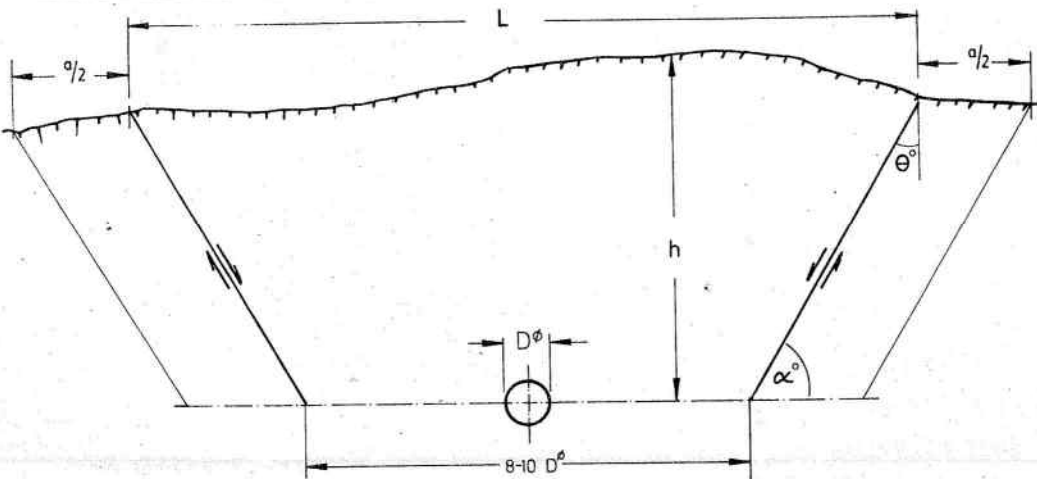
Literatür araştırması sırasında (varsa) tünel güzergâhı içinde veya yakınındaki benzer kayaçlar içinde açılmış olan tünellerle ilgili çalışmalar ve bilgiler toplanır, arşivler incelenir ve böylece olası sorunların başlıcaları önceden belirlenmeye çalışılır.

Güzergâh boyunca yapılan ilk jeoloji ve hidrojeoloji gözlemleri ve ölçmeleriyle 1/25.000 ve/veya 1/10.000 ölçekli harita ve kesitler hazırlanır. Alınan kayaç örnekleri üzerinde mineralojik ve petrografik deney ve incelemeler yapılır.

Yeraltı jeolojisini ve güzergâh içindeki kayaç türlerinin saptanması için bir sondaj ve araştırma programı hazırlanır. Jeofizik, mekanik sondajlar, araştırma galerileri ve yarmalarla yeraltında geçilecek birimlere ulaşılır. Böylelikle süreksizlikler, yeraltısuyu, gaz, sıcaklık ve gerilme durumu ile ilgili ayrıntılı bilgiler elde edilmeye çalışılır. In-situ deneylerle yerinde, alınan taş örnekleri (karotlar) üzerinde yapılan deneylerle de laboratuvarında, kayaçların fiziksel, mekanik, teknolojik, kimyasal ve hidrolojik özellikleri belirlenir. Süreksizliklerin ve süreksizlikler arasındaki dolgu malzemesinin mekanik özellikleri saptanarak kaya dokusu ve kaya dayanımı hakkında yeterli bilgiler edinmeye çalışılır.

Bu ayrıntılı bilgiler, mühendislik jeolojisi haritaları, kesitleri ve diyagramları arasında, kullanılacak şekilde sergilenir. Harita ve kesitlerin ölçekleri, gereksinime bağlı olarak 1/5.000, 1/2.000, 1/1.000, 1/500 ve 1/200'e doğru, giderek büyür.

Güzergâh boyunca, tünel eksenine paralel olarak uzanan belirli genişlikteki bir kuşakta mühendislik jeolojisi çalışmaları yapılır. Kuşağın genişliği, açılacak olan tünelin boyutlarına, kayaçların içsel parametrelerine ve tünel ekseninin derinliğine bağlı olarak değişir. (Şekil. 2) Bu kuşak; tünel açımını etkileyebilecek tüm sınır koşullarının belirlendiği bölgeyi içine almak zorundadır.



Şekil. 2 — Tünel güzergâhı boyunca yüzeyde incelenmesi gereken kuşağın genişliği

Buna göre, optimal kuşak genişliği en az

$b \geq a + 2 (4D + h \cdot \tan (\pi/4 - \phi/2))$ olmalıdır. Burada

a = Sınır koşullarını belirlemek için gerekli uzaklık (m)

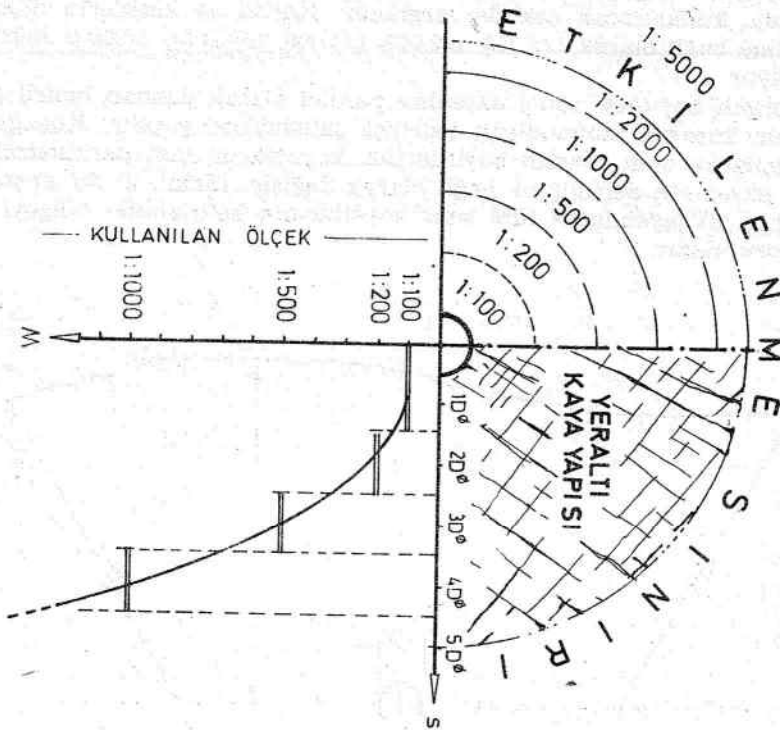
$$D = \text{Tünel çapı (m)}$$

h = Tünel üzerindeki örtü kalınlığı (m)

Ø = Kayanın en olumsuz koşullar altındaki içsel sürtünme açısıdır.
Örneğin 100 m. derinlikte kaley plastik kayalar için

Örneğin 100 m. derinlikte kolay plastikleşen kayalar içinde açılan 10 m. çaplı bir tünel için en az 300 m. genişliğinde bir alan incelenmelidir. Yüze yakın tünel ve metrolarda ise, ilke olarak, bu genişlik 8 - 10 D'den daha büyük seçilmelidir.

Yeraltı jeolojisi çalışmalarında ve birimlerin jeoteknik özelliklerinin saptanmasında ayrıntılara verilen ağırlık tünel duvarından kaya içine doğru uzaklaştıkça azalır. Buna bağli olarak, bulunan jeomekanik verilerin duyarlılığı da düşer. Bu nedende projede yeralan paftalarda farklı ölçekler kullanılmaktadır. Buna göre; yeterince ayrıntılı bir projedeki en kesitlerde tünel eksenini çevreleyen 3 D çaplı bölgede, 1/100 ölçekle gösterilebilecek tüm detay bulunmalıdır. 3 D ilâ 5 D arasındaki bölgede 1/200, 5 D ilâ 7 D içinde 1/500, 7 D ilâ 9 D arasında 1/1.000, 9 D ilâ 11 D arasında 1/2.000 ve uzaklaştıkça 1/5.000 ölçekli gösterimler yeterli sayılır (Şekil. 3).



Şekil. 3 — Yeraltı kaya yapısı ile ilgili olarak toplanan bilgilerin yansıtıldığı kesit ve haritaların ölçekleri, tünel duvarından kaya içine doğru gidildikçe küçülür.

Kaya mekaniği açısından; sağlıklı mühendislik jeolojisi yorum ve gösterimleri bir tünel projesinin ilk aşamasını oluşturur. Bunu izleyen çalışmalarda, özel kaya mekaniği konuları işlenir.

Tünelin stabilitesini (duraylılığını) irdeleyebilmek ve açım sırasında oluşabilecek sorunları önceden kestirebilmek için matematik veya fiziksel modeller hazırlanır. Tüneli bir "kaya yapısı" olarak boyutlandırabilmek için, sınır koşulları (ilkel gerilmeler, dış yükler, su, sıcaklık v.b.) ile kayanın dayanım ve tepkime biçimleri (zamana bağlı direnç ve deformasyon davranışları) bilinmek zorundadır. Bu amaçla çoğu kez "Kaya Kalitesi" tanımlarından yararlanılır. Bu çalışmalarda; kazı yönteminin türü ve hızının, kaya yapısının boyutlandırılmasına doğrudan etkidiği değişik şekillerde gözönüne alınır.

Böylece oluşturulan projede; sağlamlaştırma önlemleri ve geçici ve kalıcı kaplama kalınlıkları en ve boy kesitlerle her kritik kesim için ayrı ayrı belirtilir.

Bu gösterimleri genellikle iş organizasyonunu amaçlayan ekip - ekipman, CPM ve PERT programları tamamlar.

Ana hatlarıyla belirtilen bu çalışmalar sonucu bir "Önerilen Tünel Projesi" ortaya çıkar. İhale için gerekli paralandırma ve zamanlama amacına uygun, fakat uygulama için yetersizlikleri görülebilecek bu proje, uygulama aşamasında çoğu kez değişikliklere uğrar.

Kazı ve yapım sırasındaki mühendislik jeolojisi ve kaya mekaniği gözlem, ölçüm, yorum ve yönlendirmeleriyle, çalışılan proje "Gerçekleştirilen Kaya Yapısı Projesi"ne dönüşür.

Tünel mühendisinin çalışmaları kural olarak bundan sonra da denetim ölçmeleri, dökümlendirme ve danışmanlık hizmetleriyle sürer (Şekil. 1).

3. TÜNEL PROJELERİNDE KULLANILAN BAŞLICA GİRDİ VE KATSAYILAR

Herhangi bir tünel projesinde mühendislik jeolojisi ve kaya mekaniği hizmeti verecek olan mühendisin, proje girdilerinin başlıcalarını yeterince bilmesi ve bunların birbiriyle olan ilişkilerini kavraması zorunludur. Başarılı olması için; kaçınılmaz olan bu "asgari müşterek" üzerine kendi görüşü, birikim, deneyim ve yeteneklerini en uygun zaman ve koşullarda eklemesi, ayrıca bunları normlara uygun, fakat kendine özgü bir biçimde sunması gerekir.

Tünel projeleri için gerekli olan girdi ve katsayıları başlıca

- a) Geometrik veriler - mekân bilgileri
- b) İlkel (Primer) gerilme durumu ve dağılımı
- c) Ortamın elastik katsayıları
- d) Ortamın dayanım katsayıları
- e) Dış yükler
- f) Yapım sonrasındaki değişim koşulları

şeklinde kümeleştirmek olağandır.

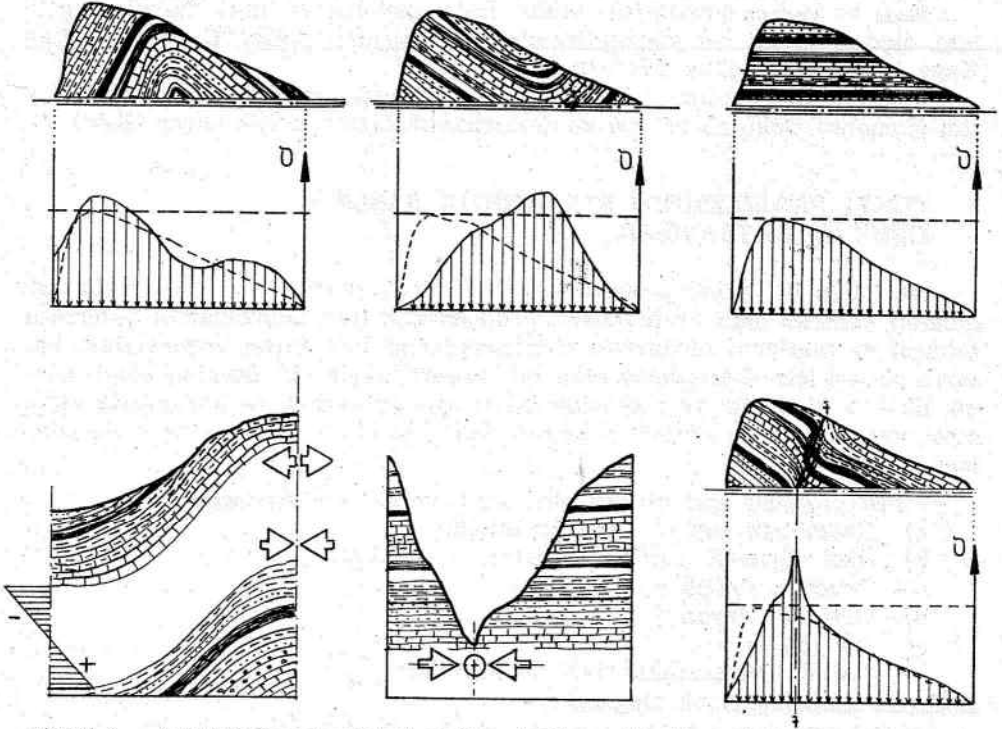
Geometrik veriler başlığı altında; daha, genel planlama, ön fizibilite ve tasarım aşamasında, amacın gereği olarak belirlenmiş tünel kesit alanı,

uzunluğu, güzergâhı, öteki yapılara göre konumu, uzaklığı, örtü kalınlığı ile daha sonraki aşamalar sırasında saptanan ortam ve kaya dokusu ile ilgili mekân bilgileri anlaşılır. Bunlar; süreksizliklerin (faylar, tabakalar, çatlaklar) ve birim kaya elemanlarının yerleri, yönelimleri, dizilimleri ve boyutları ile ilgili sayısal verilerdir. Yüzeyden yapılan ölçmeler, kuyu içi (optik kamera - TV kamerası, iz alma yöntemi) gözlemleri ve yönlendirilmiş karot incelemeleri bu konuda yapılan çalışmaların başlıcalarıdır.

Ancak, yüzeyde yapılan süreksizlik ölçümlerinin, derinde açılan tünel güzergâhına indirgenmesinin de büyük yanlışlara neden olacağı her zaman hatırlanmalıdır.

İlkel (doğal) gerilme durumu ve dağılımına ilişkin bilgiler önemli projelerde in-situ (arazi) ölçümleri ile elde edilir. Bundan amaç; kurcalanmamış, örselenmemiş, yani teknik girişimden henüz etkilenmemiş olan, kayanın doğal asal gerilme bileşenlerinin yönelimlerini ve şiddetlerini güzergâh boyunca belirlemektir. Buradan hareketle, kazı sonrasındaki (teknik girişim sırasındaki) sekonder (ikincil) gerilmelerin şiddetleri hesaplanacaktır.

Ayrıca, güzergâh seçimi sırasında gerilmelerin yoğunlaştığı bölgelerden uzaklaşmaya çalışılacaktır. Gerilmelerin şiddeti ve yönelimi; tünelin yerini, konumunu ve boyutlarını belirleyen etmenlerin başta gelenleri arasındadır. (Şekil. 4).



Şekil. 4 — Jeolojik yapı ve doğal gerilme dağılımı, tünelin yerini, konumunu ve boyutlarını belirleyen etmenlerin en önemlileri arasındadır.

Jeolojik yapı ile doğal gerilme dağılımı arasında yakın bir ilişki bulunmaktadır. Örneğin tabakalı kayalarda kıvrımlar, senklinaller, anktiklinaler, faylar ve bindirmeler gibi büyük süreksizlikler ve tabaka yönelimleri, hiç bir tektonik etkilenmenin bulunmadığı bölgelerde bile, yerçekimi gerilmelerinden büyük ölçüde farklılaşan gerilme bileşenleri oluştururlar. Yatay tabakalar gravitasyon gerilmesini değiştirmeden, senklinaller de gerilmelerin çanak içinde arttığı, kanatlarda azaldığı gözlenir. Tabaka çatlaklarında kesme gerilmelerinin yeterince iletilmemesi nedeniyle, antiklinallerde gerilmeler kanatlarda yoğunlaşır. En büyük asal gerilme düşeyden saparak, tabakalara paralel veya paralele yakın olarak uzanır. Faylarda aniden artan, geniş milonit zonlarında ise bazen azalan gerilmeler gözlenir. Elastik kıvrımların tepe noktalarında beklenenden daha düşük, tabanlarında daha yüksek yanıl basınçlar bulunur. Vadi tabanları küçük düşey gerilmeler, fakat yüksek yatay gerilmelerle zorlanır. Yamaçlarda tabaka eğimleri, gerilme akılarını çoğun kendi eğimleri doğrultusunda yönlendirir.

Bağımsız elastik katsayılar olan E (elastisite - Young Modülü) ve ν (Poisson Oranı), varsa, tabakalaşmaya dik ve paralel olacak şekilde taş ve kaya için ayrı ayrı saptanır ve yönbağımlılık (anizotropi) araştırılır. Bu amaçla yerinde deneyler (hidrolik krika, yassı veren, pressiometre, dilatometre) ve jeofizik yöntemlerden yararlanılır. Alınan karotlar laboratuvarında incelenir. Laboratuvar deney sonuçlarının arazi koşulları için doğrudan kullanılamayacağı kesinlikle bilinmeli, bunlar yeterli deneyime dayanan bilgilerle yorumlanmalı ve çok zorunlu haller dışında kullanılmamalıdır.

Primer gerilme durumu her P [x_p, y_p, z_p] noktası için

[σ_1 (σ_{III}), λ , α , β] değerleri ile gösterilir. Burada

σ_1 = En büyük asal gerilme şiddeti (Çoğu kez $\sigma_1 = \sigma_v$ = Gravitasyon gerilmesi varsayımı yapılmaktadır!)

σ_{III} = En küçük asal gerilmenin şiddeti (Çoğu kez $\sigma_{III} = \sigma_h$ = yatay gerilme varsayımı yapılır!)

λ = Yanıl gerilme oranı = $\sigma_{III}/\sigma_1 = \sigma_h/\sigma_v$

α = σ_1 'in kuzeyle yaptığı açı

β = σ_1 'in yatayla yaptığı açı'dır.

Beton ve püskürtme betonun arazideki elastik katsayıları bilinmelidir.

Dayanım katsayıları denince, beton, taş ve kayanın çekme ve basınç dirençleriyle içsel parametreleri olan C (kohezyon) ve ϕ (içsel sürtünme açısı) değerlerinin zamana bağlı olarak ve yenilme öncesinde ve sonrasında alacağı değerler anlaşılır. Taş - kaya ilişkisi, farklı asal gerilme koşullarında ve zamana bağlı olarak incelenerek kayanın "doku hareketliliği ve doku dayanımı" saptanmaya çalışılır.

Bu amaçla yapılan özel kaya sınıflamaları bulunmaktadır.

Son olarak; dış yüklerin ve sınır koşullarının ilk büyüklüklerinin ve bunlarda oluşabilecek değişikliklerin sayısal olarak belirtilmesi gerekir. Kayanın özgül ağırlığından oluşan yükler, komşu yapıların yükleri, çatlak ve boşluk suyu basınçları, ankraj kuvvetleri, kabarma, şişme basınçları v.b., çevre koşulları ve proje gereği düşünülerek saptanan büyüklüklerdir.

4. KAYAÇ ÖZELLİKLERİNİN TÜNEL PROJELERİNE ETKİSİ

Tünelin açıldığı ortam kaya ve/veya zemin olabilir. Bazı özel durumlarda ise, hem zemin ve hem de kaya davranışı gösteren jeolojik birimlerden geçilmektedir. Örneğin kiltaşları, silttaşları ve marnlı kireçtaşları ile geniş ezilme zonları bu türdendir. Bu ortamların bir kaya yapısı olarak tünel'e olan etkileri aşağıdaki gibi özetlenebilir.

4.1. Kaya

Kayanın:

- a) Direnç ve deformasyon özellikleri
 - Kazı profilinin ve arının duraylılığı ile
 - İç yapıların yüklenme biçim ve şiddetini,
- b) Gevrek veya sünümlü davranışı
 - Kaya patlamasına yatkınlığı
 - Gevşeme bölgesinin boyutlarını
 - Çatlak oluşumunu, yenilme ve kırılma davranışlarını
 - Frezeli kazı makinelerinin kullanılabilme sınırlarını,
- c) Plastik davranışı
 - Kayma ve akmaya bağlı hacim artışlarını
 - Konverjansı
- d) Zamana bağlı davranışı (viskozite, akma, relaksasyon)
 - Kendini tutma süresi (duraylık süresi) ni
 - Geçici ve kalıcı sağlamlaştırma yapılarının yüklenme hızı ve derecesini,
- e) Diğer fiziksel ve kimyasal özellikleri
 - Kimyasal etkilere ve donmaya karşı yatkınlığı
 - Geçirimsizlik ve su iletimini
 - Kabarma, şişme, erime davranışlarını ve
 - Teknolojik davranışlarını (delinebilirlik, kazılabilirlik, kesilebilirlik, patlatılabilirlik)

belirler.

4.2. Zemin (Ayrık Külteler)

Zeminin:

- a) Dane dizilişi, aşırı konsolidasyon ve plastisite
 - Kazılabilirliği Frezeli kazı makinelerinin kullanılabilmesini, kalın yönteminde uygulanması gereken itme basıncını
 - Arının duraylılığını, duraylık süresini
 - Su gelirini, drenaj olasılıklarını, tabakaların su etkisiyle akma-kayma olasılığını
 - Enjeksiyon tutabilmeyi
 - Hidrolik taban kırılmasını yatkınlığı zamana bağlı yenilme olasılığını,
- b) Geçirimsizlik, geçirimsizliğe bağlı anizotropi ve inhomojenlik
 - Su gelirini
 - Drenaj olasılıklarını
 - YSS'nin düşürülmesi sırasında oluşan su düşüm konisinin biçimini ve yayılımını

- Enjeksiyon tutabilmeyi
 - Hidrolik taban kırılmasına yatkınlığı
 - Basınçlı hava kullanılmasındaki hava kaybını,
- c) Suya bağlı yoğunluk hacim ve plastiklikteki değişim
- Kazı yüzeylerinin duraylılığını
 - Geçici ve kalıcı kaplamalara binen yükleri
 - Kabarma basıncı sonucu oluşan zorlanmayı,
- d) Deformasyon özellikleri
- Oturmaların miktar ve hızını
 - Elastik deformasyonların şiddetini

denetlenmektedir.

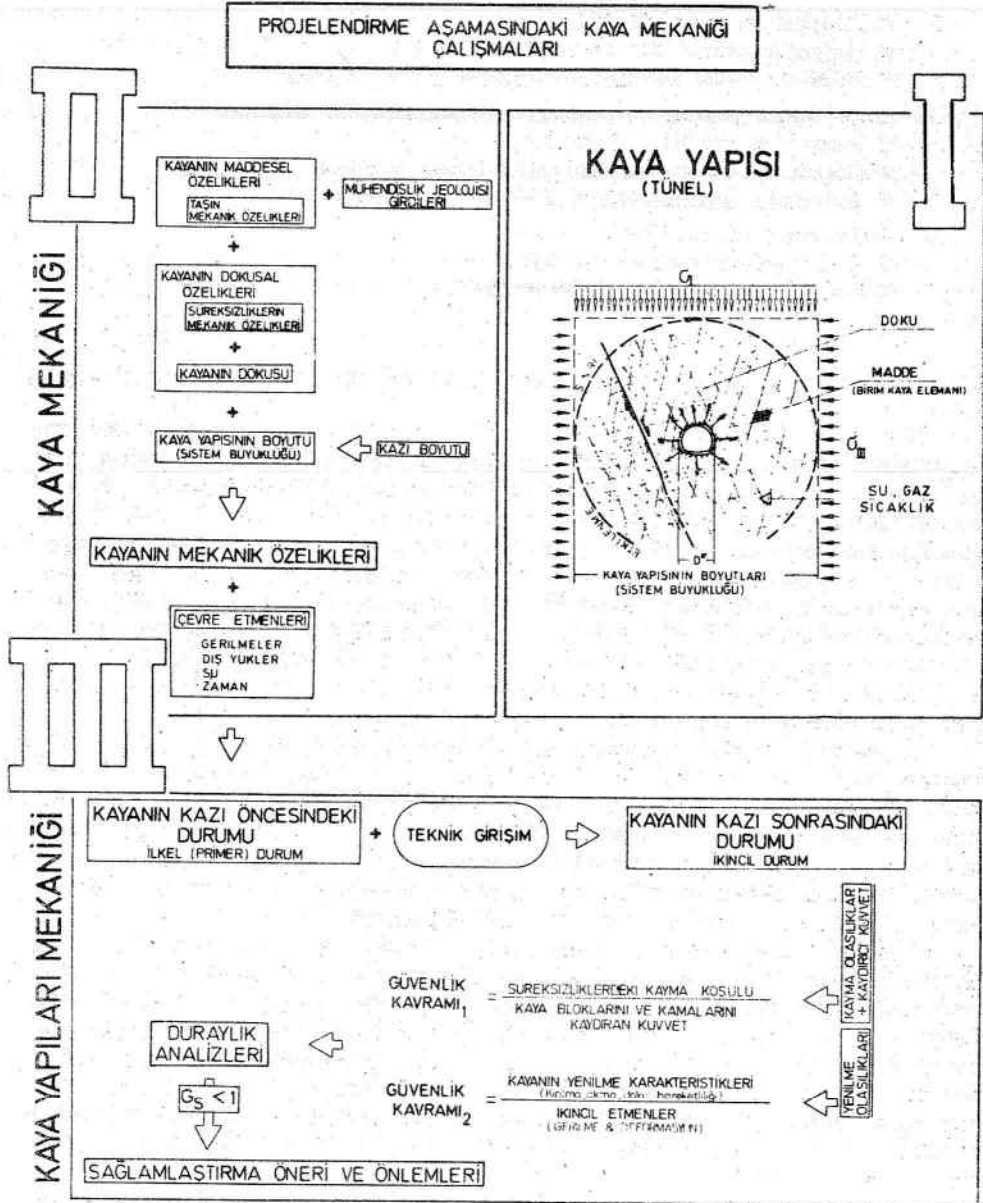
5. PROJELENDİRME AŞAMASINDAKİ KAYA MEKANİĞİ ÇALIŞMALARI

Tüneli bir kaya yapısı olarak ele alan, günümüzün en son ve gelişmiş anlayışları, yeraltı yapılarını Yeni Avusturya Yöntemi ile açmaya çalışmaktadır. Yöntemin ana ilkesi kayanın primer mekanik özelliklerinden yararlanarak, kazı açıklığını çevreleyen, etkilenmiş bölgeyi alabildiğinde kendi kendine taşıtmaktır. Bu bölge, biribiri üzerine oturmuş birim kaya elemanlarından —süreksizliklerarası parçalardan— oluşan, önce doğal, daha sonra da teknik girişimle zorlanan bir taşıyıcı sistemdir. Duraylılığı incelenen ve boyutlandırılan, içinde projede öngörülen açıklığın yer aldığı bu sisteme "Yeraltı Kaya Yapısı" adı verilmekte ve kaya mekaniğinde tünel denilince, malzemesi yerkabuğu olan çok kalın duvarlı içi boş çoğun silindirik bir cisim anlaşılmaktadır. (Şekil 5)

Şu halde; projelendirmenin ilk aşamasında bu cismin büyüklüğü, boyutları, biçimi ve davranış sürekliliği gösteren kesimleri belirlenmek zorundadır. "Sistem Büyüklüğü" adı verilen bu kaya yapısının boyutlarını saptayabilmek için proje kapsamının iyice tanınması ve mühendislik jeolojisi ve rillerinin ayrıntılarıyla bilinmesi gerekir. Bir tünel projesi, çoğu kez sınır koşullarındaki değişime bağlı olarak pek çok sayıdaki sistem büyüklüklerinin birbirine eklendiği bir proje görünümündedir.

Projelendirmenin ikinci aşamasında kayanın (ayrı ayrı her kayaç türünün) madde özellikleri ve doku özellikleri araştırılır. Maddesel ve doku özelliklerinin sistem büyüklüğü içinde ele alınarak değerlendirilmesinden sonra, kendi kendini taşıması istenen sistemin doğal koşullar altındaki mekanik davranışları saptanır. Artık; deformasyonları değil, tüm hareket türlerinin (eğilme, burulma, boy değişimleri, kayma, sünme, ötelenme, dönme v.b.), ortak bileşkesi olan zaman ve yönbağımlı (anizotropik) birim yerdeğiştirmeleri, yani "doku hareketliliği"ni yansıtan katsayı ve bağıntılar bulunur.

Jeomekaniğin süreksiz ortam davranışlarını incelemesi, onu diğer bilim dallarından ayıran en önemli özellikleri arasındadır. Bu nedenle, kayanın yük taşıma özelliklerini tanıtan içsel parametreleri ve direnç değerleri de, yine zaman, ortam ve yönbağımlı olarak belirtilmesi gereken büyüklük ve bağıntılar olmak zorundadır. Buna "doku dayanımı" denir. Kayanın mekanik özelliklerinin saptanması, iyi planlanmış laboratuvar ve arazi deneylerini ve özel deneyimleri gerektirmektedir.



Şekil. 5 — Projelendirme aşamasında kaya mekaniği çalışmaları I - Sistem büyü-
lüğünün saptanması, II - Kaya mekaniği çalışmaları, III - Kaya yapıları
Mekanik çalışmaları.

Tünel Projelerinde Kaya Mekanîği Çalışmaları

Bu yaklaşımları kolaylaştıran önemli çalışmalar bulunmakta ve kaya sınıflamaları ile pratik çözümlere ulaşmak istenmektedir (MÜLLER, PA-CHER, LAUFFER, BARTON v.b.)

Bu ikinci "Kaya Mekanîği Çalışmaları" aşamasında, başkaca primer gerilme durumu, su, sıcaklık ve zaman gibi çevre etmenleri belirlenerek, sayısal büyüklüklere dönüştürülür. Bunun için In-situ ölçümler kaçınılmazdır.

3. aşamada; kayanın kazı öncesindeki (ilkel = primer) durumundan hareketle, teknik girişim sonunda ortamın gerilme durumunda ve mekanik davranışlarında hangi ölçüde değişmelerin meydana gelebileceği hesaplanır. Bu yeni (ikincil = sekonder) durum, ilk durumla karşılaştırılır. Duraylık (stabilite) analizi adı verilen bu çalışmalar sırasında birbirinden farklı, başlıca iki güvenlik kavramından yararlanılır. Bunların ilkinde, süreksizliklerdeki kayma koşulu ile süreksizlikleri harekete zorlayan etkiler karşılaştırılır. Kaya kama ve bloklarının kaymasında kullanılabilen bu yöntemden, tünel projelerinde, hemen hemen yalnızca giriş yapılarındaki şev duraylığı analizlerinde yararlanılmaktadır. İkinci güvenlik kavramı, kayanın yenilme karakteristiklerinin (doku dayanımının) ikincil etmenlerle karşılaştırılmasına dayanmaktadır. Güvenlik sayısının 1'den küçük olması halinde, sağlamlaştırma önlemleri püskürtme beton, ankraj, enjeksiyon...) belirlenmekte ve bunların etkilerini gözönüne alan yeni duraylık analizleri, yeterli güvenlik sağlanıncaya kadar yinelenerek sürdürülmektedir.

Fenner, Schmid, Kastner formülleri veya bunların benzerleri olan klasik formüllerle yapılan hesaplamalara özellikle son 15 yıl içinde güçlü bilgisayarların kullanıldığı nümerik analiz yöntemleri de katılmıştır. Bu alanda çok başarılı ve hızlı gelişmeler gözlenmektedir. Bütün bunlara paralel olarak; doğal koşullardaki 1/1'lik veya özel deney hallerindeki 1/10 ile 1/100 ölçekli ekvalen deneylerden de, duraylık analizlerini yönlendirebilmek ve mekanik büyüklüklerin mertebesini kavramak için yararlanılmaktadır.

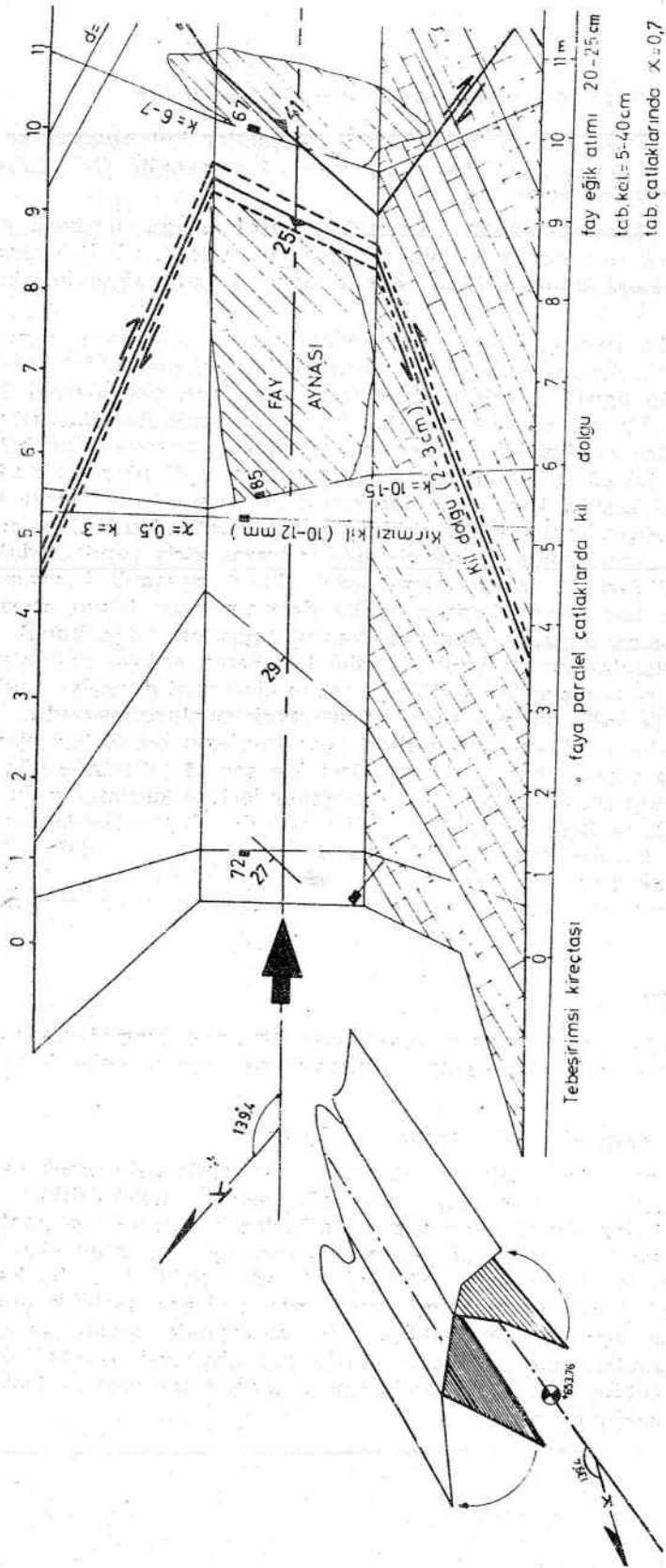
6. ÖRNEKLER

Bu bölümde tünellerle ilgili olarak, değişik proje aşamalarındaki mühendislik jeolojisi ve kaya mekanîği çalışmalarına ait örnekler bulunmaktadır.

a) Dicle Barajı Sol Yaka Araştırma Galerisi

Evaporitlerin erime-kabarma davranışını yerinde belirlemek ve üzerindeki kireçtaşı ve çamurtaşı örtüsünün jeolojik süreksizliklere bağlı olarak bu korkulan birimi ne oranda su ile besleyebileceğini saptamak amacıyla, Dicle Barajı fizibilite projesi aşamasında 182 m. uzunluğunda bir araştırma galerisi sürülmüştür (İTÜ MJKM, 1981). Şekil. 6'da, bu kare kesitli galerinin girişinde, tavan ve duvarlarda gözlenen jeolojik durumun yansıtıldığı bir açınım bulunmaktadır. Bu gösterimde; tavan, yatay düzlemle çakıştığından tüm süreksizlik türlerinin alışılacelmiş özel simgeleleriyle gösterilebildiği, galeri eksenini boyunca uzanan bir yapısal jeoloji haritası kuşağı şeklindedir.

DICLE BARAJI ARAŞTIRMA GALERİSİ



Bu kuşağın altında, galerinin tavan ve taban kotları arasında kalan sağ duvara ait jeolojik kesit bulunmaktadır. Üstte yeralan sol duvara ait düşey kesitte başlıca büyük süreksizlikler gösterilmekte ve bunlara ait d = süreksizlik aralığı, k = çatlak sıklığı, χ = ayrılma derecesi gibi kaya dokusunun mekanik davranışında etken olan sayısal veriler sunulmaktadır.

Giriş ağzından başlamak üzere metrelendirilen bir açıklamalar kuşağında ise, ayrıca vurgulanmasında yarar görülen özellikler ve değerler (litoloji değişimi, mineralojik bileşimdeki değişimler, fay atımları, fay dolguları, çatlak türleri, su geliri, aşırı sökülme ve kavlaklanmalar, şişme ve kabarma miktarları v.b.) biraraya getirilmiştir.

a) Ankara Metrosu

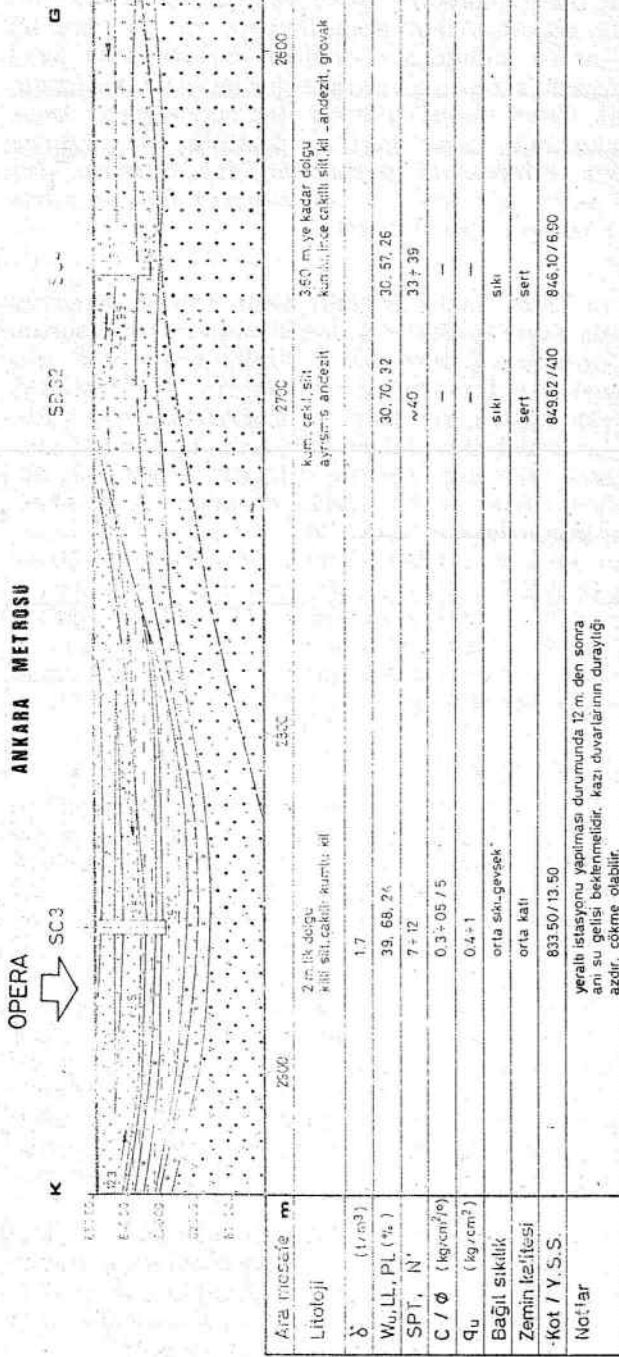
Bu örnekte; Ankara Raylı Toplu Taşıım Sistemi Kesin Projesi çerçevesi içinde kazı ve yapısı sırasında karşılaşılabilecek temel mühendisliği sorunlarını jeolojik koşullara ve birimlerin fizikomekanik özelliklerine bağlı olarak irdelemek amacıyla hazırlanan bir kesit görülmektedir. (İTÜ MJKM, 1979) Stabilité (duraylık), yük taşıma, su geliri ve sağlamlaştırma konularında tasarım ve uygulama sırasındaki çalışmaları kolaylaştırmak, yönlendirmek ve karşılaşılabilecek sorunlar üzerine dikkati çekebilmek düşüncesiyle bu kesitte jeolojik birimler ve birimlerin derinliğe göre düzeltilmiş SPT değerleri birlikte gösterilmiştir (Şekil 7).

Kesitin altında yer alan kolonsu çizelgede, temel kayacın litolojisini, yoğunluğunu (γ), Atterberg limitlerini (Wu, LL, PL) tek eksenli basınç dirençlerini (q_u), kohezyonların (C), iç sürtünme açılarını (ϕ), TENG (1962)'e göre bağıl sıklıklarını, TERZAGHI - PECK (1948)'e göre zemin kalitesini ve yeraltı su düzeyini belirten veriler biraraya getirilmiştir. Bunlara ek olmak üzere, notlar bölümünde karşılaşılabilecek olası bulunan sorunlar veya olumlu yönler özetlenmiştir.

c) Kralkızı Barajı Derivasyon Tüneli

Dicle Irmağının Maden Çayı kolu üzerinde yapımı planlanan Kralkızı Barajının sol sahildeki derivasyon tünellerinin kesin proje aşamasındaki çalışmaları sırasında mühendislik jeolojisi kesitleri çıkarılmış ve jeoteknik özellikleri kolonsu çizelgelerde gösterilmiştir (İTÜ - MJKM, 1980). Bu örnekte, 2 No'lu (T-2) çevirme tünelinin ilk 550 m.'lik kesimi incelenmektedir (Şekil. 8) tünellerin, jeoloji bakımından Türkiye'nin en sorunlu Güneydoğu Anadolu bindirme zonu içinde kalması nedeniyle, projede ayrıntılı çalışma zorunluluğu artmış, farklı davranışlı kayalar tüm fiziksel, mekanik ve teknolojik davranışlarıyla belirtilmeye çalışılmıştır. Burada; diğer örneklerle kıyasla, kayanın kazı sırası ve sonrasındaki davranışları ile en olası sağlamlaştırma türleri, uygulama projesine ışık tutmak ve ihalelere katılan mühendislik gruplarını yönlendirmek amacıyla ayrı ayrı satırlarda incelenerek tanıtılmıştır. Jeolojik birimlerin teknik girişimle karşılıklı etkileşimleri 9 m. çaplı bir tünel örneğinde ve kaya yapıları mekaniği anlayışı içinde ele alınarak yorumlanmıştır.

Bu amaçla, primer gerilme ve ortam koşullarından hareketle, 9 m. çaplı bir açıklığın çevresinde yoğunlaşan gerilme ve deformasyonların zaman içindeki gelişimleri incelenmiş ve bunlar zaman etkisi (duraylık süresi), kaya kalitesi (MÜLLER, LAUFFER, PACHER), aşırı sökülme, konverjans (çap daralması) oranı ve sağlamlaştırma direnci şeklinde belirtilmiştir.



Şekil. 7 — Ankara Metrosu - Opera dolayının SPT değerlerine göre hazırlanmış kesiti
ve jeomekanik özellikleri (İTÜ - MJKM, 1979).

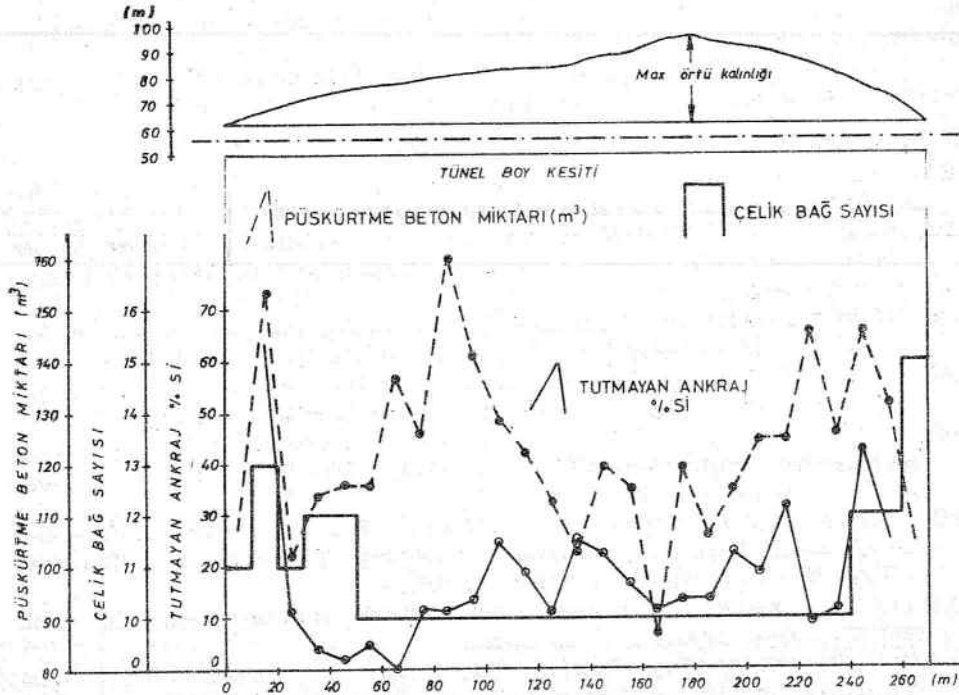
d) Hereke Tüneli

Bu örnekte; İstanbul - İzmit ekspres yolu üzerindeki önemli yapılardan birini oluşturan çift tüplü, hereke tünellerinin yapı aşamasındaki mühendislik jeolojisi ve kaya mekaniği çalışmalarına ait bazı bilgiler ve göstergiler bulunmaktadır.

Şekil. 9'da; 150 m² kesit alanlı killi ve kalkerli marnlar içinde açılan tünelin kalot kazısı sırasında aşırı (ayna) da yapılan gözlem ve ölçmelere göre hazırlanmış jeolojik en kesitlerden dördü görülmektedir. Adım adım, her patlatma sonrasında uygulanan püskürtme beton çalışmalarının öncesinde yapılan bu inceleme ve ölçümlerle önemli süreksizlikler, aşırı sökülme ve kavraklanma olasılıkları belirlenmeye çalışılmıştır. Bu verilerden hareketle hazırlanan boy ve en kesitlerde jeolojik durum gösterilerek, yapım sonrasında da kullanılabilecek bilgiler edinilebilmiştir (BİLALOĞLU, 1980).

Bu çalışmaların paralelinde, arın gerisindeki sağlamlaştırma işlem ve önlemlerinin de sayısal verilerle belirtilmesi için, kullanılan çelik bağ sayıları, tutmayan ankraj %'leri, ve püskürtme beton miktarları (m³) saptanmış ve bu veriler tünel boy kesiti üzerine taşınmıştır (Şekil. 10).

Böylece; projelendirme aşamasında hazırlanan mühendislik jeolojisi haritaları ve kesitleri ile tünel açımı sırasında gözlenen jeolojik durum ve nihayet kazı hızı, duraylık ve sağlamlaştırma işlemleri ile ilgili sonuçlar birbirleriyle karşılaştırılabilmiştir. Bilgi ve deneyim birikimi açısından



Şekil. 10 — Hereke sol tüneli kalot bölgesinde kullanılan püskürtme beton miktarı, çelik bağ sayısı ve tutmayan ankraj yüzdesi arasındaki bağıntı (BİLALOĞLU, 1980).

çok büyük önem taşıyan bu tür çalışmaların, ileride herhangi bir nedenle tünelde oluşabilecek sorunları kolayca çözebilmek için de çok yararlı olduğu ve gelişmiş ülkelerin hemen hemen hepsinde bu türden dökümantasyon ve arşivlendirme çalışmalarının işveren tarafından zorunlu tutulduğu unutulmamalıdır.

7. SONUÇ

Kullanılan iş makinelerinin tür ve kapasitelerinin, eleman kalitesinin, organizasyon türü ve biçiminin tünel açımına ve oluşturulan kaya yapısının niteliklerine olan etkisi ise çoğu kez yalnızca uygulamacı mühendislik grubu ve firmanın kendisinde kalan ve dışarıya pek az yansıyabilen deneyim ve bilgileri oluşturmaktadır.

Tünelcilik çalışmalarında bulunan firmaların; ekiplerini dağıtarak iş geldiğinde yeni elemanlarla tünel açmaya kalkışmaları eski deneyim ve bilginin ancak pek azından yararlanabilecekleri için, büyük sakıncalar yaratmaktadır.

Aynı adı taşıyan pek çok kuruluşun, aynı nedenlere bağlı sorunlarla tekrar tekrar karşılaşmasında bu durumun payı çok büyüktür.

Gelişmiş toplumlarda, yönlendirme ve denetim görevleri, deneyim birikimlerini bilimsel açıdan değerlendirebilen ve kadroları kolayca değiştirmeyen kurumlarca yürütülmektedir. Özel araştırma kuruluşları ile enstitü ve üniversitelerin, her tür teknik çalışmanın her aşamasında uygulayıcılarla birlikte olması, yine bu toplumlarda ve bu gerekçeyle gelenekleşmiş gibidir.

Özenle vurgulanması gereken bir durum, ülkemizde de, özellikle son yıllar içinde bu alanda önemli gelişmeler olduğudur.

KAYNAKLAR:

- BİLALOĞLU, H. : Hereke Otoyol Tünellerinde Yeni Avusturya Tünel Açma Yönteminin incelenmesi. İTÜ - MJKM, Bitirme Ödevi (1980).
- ERGUVANLI, K. - E. YÜZER, M. VARDAR, - C. ZANBAK : Probleme bei der Gründung der Dicle (Tigris) - Kralkızı - Talsperre. Rock Mechanics, Suppl. 10, 9 - 22 (1980).
- İTÜ - MJKM : Ankara Kenti Toplu Taşıma Projesi Mühendislik Jeolojisi Raporu. Maden Fakültesi Müh. Jeolojisi ve Kaya Mek. Kürsüsü, İstanbul (1979).
- İTÜ - MJKM : DSİ - Kralkızı Barajı Kesin Projesi Mühendislik Jeolojisi Raporu, İTÜ Maden Fak. Mühendislik Jeol. ve Kaya Mekaniği Kürsüsü İstanbul (1980).
- İTÜ - MJKM : DSİ Dicle Barajı Mühendislik Jeolojisi ve Evaporitlerin Mühendislik Özelliklerinin Araştırılması İTÜ Maden Fak. Müh. Jeol. ve Kaya Mekaniği Bilim Dalı İstanbul (1982).
- İTÜ - MJKM : İSKİ Kanalizasyon Projesi Fatih - Eyüp - Zeytinburnu Tünelleri Güzergâhındaki Kayaçların Jeomekanik Özellikleri. İTÜ Maden Fak. Müh. Jeol. ve Kaya Mekaniği Bilim Dalı. İstanbul (1982).
- VARDAR, M. : Yeraltı Kaya Yapıları Mekaniğindeki Son Gelişmeler. Müh. Jeol. Türk Milli Kom. Bülteni 2, 7 - 11 (1979).
- VARDAR, M. : Yeraltı Kaya Yapıları Mekaniğinde Yeni Avusturya Tünel Açma Yönteminin Ana İlkeleri. DSİ 6. Müh. Jeol. Simp. Yayını (1979).
- VARDAR, M. : Mühendislik Jeolojisi - Yeraltı Kaya Mekaniği İlişkisi. 1. Müh. Jeol. Simp. Ankara (1979).

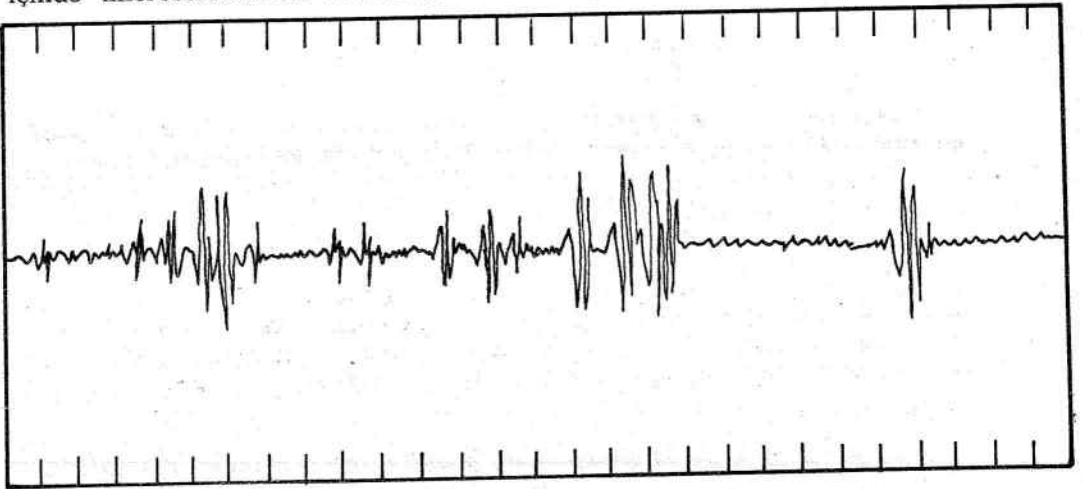
* Doç. Dr. Müh., İ.T.Ü. Maden Fakültesi. Mühendislik Jeolojisi ve Kaya Mekaniği Çalışma Grubu.

AKUSTİK EMİSYON/MİKROSİSMİK AKTİVİTE VE KAYA MEKANİĞİNDEKİ UYGULAMALARI

K. Erçin KASAPOĞLU*
Huant GÖKİŞİK**

1. GİRİŞ

Kayaçlar, metaller veya bunların alaşımları, buz, cam ve benzeri malzemeler, üzerlerine belirli bir gerilme uygulandığında, iletilebilir veya yarı-iletilebilir düzeyde geçici titreşimler yayarlar. Bu oluşum, 'akustik emisyon' olarak bilinir. Aynı oluşum, jeolojik malzemede, özellikle kayaçlarda 'mikrosismik aktivite' veya 'sismoakustik aktivite' olarak tanımlanır. Söz konusu titreşim (microseisim) lerin kaynağı, bu malzemede gerilme sonucu oluşan, elastik olmayan (non - elastic) birim deformasyonlardır. Jeolojik malzemede 'microseisim'lerin kaynağı ise, henüz yeterince anlaşılamamış olmakla birlikte; bunların, birikmiş birim deformasyon enerjisinin ani olarak boşalması sonucu oluşan birim deformasyon ve yenilme ile ilgili olduğu sanılmaktadır. Kayaç gibi çok kristalli malzemede 'microseisim'ler, mikro düzeyde, yer değiştirmeler sonucu; makro düzeyde ise, ikizlenme, tane sınırları boyunca oluşan hareketler, tane içi veya tanelerarası çatlama ve çatlak ilerlemesi sonucu oluşmaktadırlar. Birikmiş birimdeformasyon enerjisinin birdenbire boşalması sonucu gerilme dalgaları, malzeme içindeki odak noktasından belirli bir sınıra kadar yayılır ve bu bölgede 'microseisim'ler olarak gözlenirler (Şekil 1).



Şekil 1 : Tipik bir "microseisim" grubu (Hardy, 1969)

'Microseismim'ler, malzeme içindeki mekanik bakımdan duray olmayan noktalardan kaynaklanırlar; ve kaynaktan uzaklaştıkça şiddetleri azalır. Bu azalma, 'microseismim'lerin frekansına bağlı olarak devam eder. Oluşum hızları, şiddet ve frekansları ile, duraysızlığın türü ve derecesi hakkında dolaylı olarak bilgi verebilen 'microseismim'ler, uygun araç ve gereçlerle, kaynaklarından oldukça uzak noktalarda dahi algılanabilirler. Çok sayıdaki gözlem yerlerinde yapılacak ölçümlerle, mekanik duraysızlığın gerçek kaynağını saptamak; ve bundan kaya mekaniği uygulamalarında yararlanmak olanaklıdır.

Mikrosismik yöntem, kaya ve toprak şevlerinin, tünel, köprü ve baraj gibi mühendislik yapıtlarının ve özellikle yeraltı boşluklarının duraylıklarının belirlenmesinde, son yıllarda yaygın bir biçimde uygulanmaktadır.

2. PARAMETRELERİN TANIMI

Akustik Emisyon/Mikrosismik Aktivite yöntemi ile ilgili bazı parametreler, aşağıda kısaca tanımlanmaya çalışılmıştır.

Toplam Aktivite (Accumulated Activity) (N) : Belirli bir zaman periyodu içinde gözlenen toplam 'microseismim' sayısı.

Gürültü Hızı (Noise Rate) (NR) : Birim zaman (Δt) aralığında gözlenen 'microseismim' sayısı (ΔN).

$$NR = \Delta N / \Delta t$$

'Microseismim' Genliği (Amplitude of Microseismim) (A) : Kaydedilen her bir 'microseismim'in en yüksek genlik değeri.

'Microseismim' Enerjisi (Microseismim Energy) (E) : 'Microseismim' genliğinin karesi.

$$E = A^2$$

Toplam Enerji (Accumulated Energy) (ΔE) : Belirli bir zaman aralığı içinde gözlenen tüm 'microseismim'lerden yayılan mikrosismik enerjilerin toplamı.

$$\Sigma E = \sum_{i=1}^n E_i$$

Enerji Hızı (Energy Rate) (ER) : Birim zaman (Δt) aralığında gözlenen tüm 'microseismim'lerden yayılan mikrosismik enerjilerin toplamı.

$$ER = \sum_{i=1}^n E_i / \Delta t$$

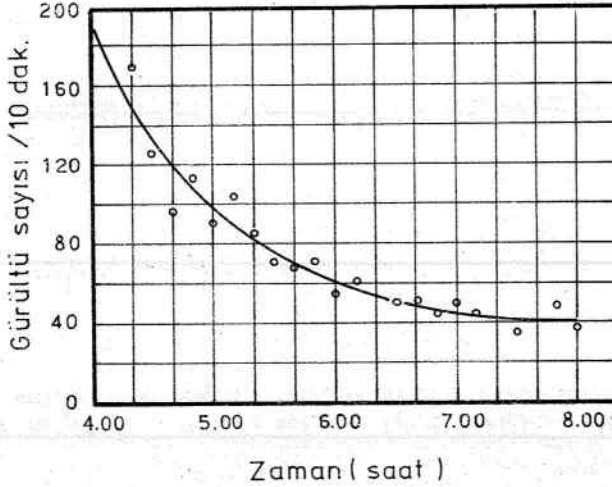
Enerji Dağılım Oranı (Energy Distribution Ratio) (EDR) : $\Delta \sigma$ gerilme aralığında, 500-5000 cps (saykıl/saniye) arasında yayılan toplam sentez edilmiş mikrosismik enerji (E_1) nin; aynı gerilme aralığında, 10250-15000 cps arasında yayılan toplam sentez edilmiş enerji (E_h) ye oranı.

$$EDR = E_1 / E_h$$

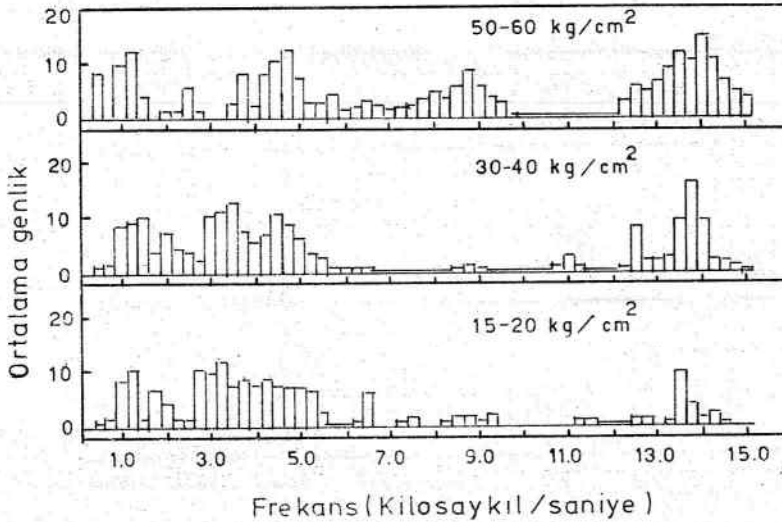
Toplam Sentez Edilmiş Mikrosismik Enerji (Total Synthesized Microseismic Energy) : Çok dar bir frekans aralığında enerji yayan yüksek genlikteki 'microseismim'lerden arındırılmış mikrosismik enerjilerin toplamı.

3. DURAYSIZLIK BELİRTİLERİ

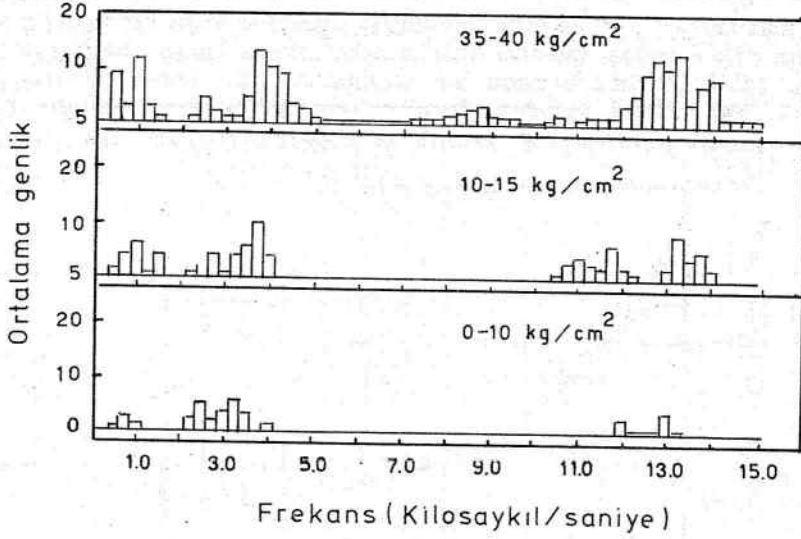
Obert and Duval (1942)'e göre, bir kayaç örneğine veya bir jeolojik yapıya etkiyen yük arttıkça, gürültü hızı da artar. Buna karşın, herhangi bir yenilmeden sonra gürültü hızında bir azalma görülür. Diğer bir deyişle, gürültü hızı, bir jeolojik yapıdaki duraysızlığın bir belirtici olabilir (Şekil 2). Öte yandan, mikrosismik etkinlik ile zaman arasındaki ilişkileri be-



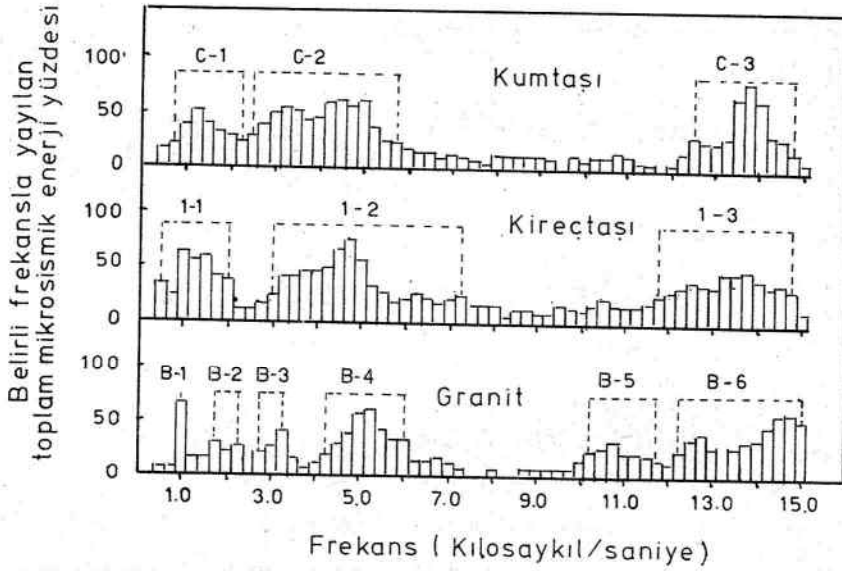
Şekil 2 : Yenilmeden sonra gürültü hızının zamanla değişimi (Hardy, 1969).



Şekil 3 : Havada kurutulmuş kumtaşındaki değişik gerilme aralıklarında gözlenen "mikroseisim"lerin ortalama genlik - frekans ilişkileri (Chung ve diğ., 1968).



Şekil 4 : Nemli kumtaşında değişik gerilme aralıklarında gözlenen "mikroseis-mim"lerin ortalama genlik-frekans ilişkileri (Chugh ve diğ., 1968).



Şekil 5 : Havada kurutulmuş haldeki değişik 3 kayaç türünde gözlenen egemen frekans bantları (Chugh ve diğ., 1968).

lirleyen grafikler, bir jeolojik yapıda duraylılık açısından neler olup bittiğini gösterebilir (Paulsen ve diğ., 1967). Mikrosismik etkinliğin artışı, ortamda duraylılık sorunu yaratabilecek bir potansiyel varlığının belirtici olabilir. Mikrosismik etkinliğin salınım bandını saptamak yoluyla, bir jeolojik yapının duraylılık derecesi öngörülebilir. Suziki ve diğ. (1964)'ne göre, salınım spektrumu, kayaç türüne, nem miktarına ve gerilme düzeyine bağımlı olarak değişir (Şekil 3, 4 ve 5). Bucheim (1958)'e göre ise, bir kayacın yenilme biçimi ile gözlenen 'microseisimim'lerin spektrum özellikleri arasında bazı ilişkiler kurulabilir.

Duraylılığın belirlenmesinde kullanılan bir başka yöntem de, Sentez Edilmiş Enerji Parametresini içeren yöntemdir. Bu parametre ise, belirli gerilme düzeylerinde ve genlik-frekans spektrumlarında oluşan 'microseisimim'lerin sayısı ile bağımlıdır. Bu konuda elde edilen verilere göre, kayalarda mikrosismik enerjinin büyük bir bölümü, 5000 cps'in altında veya 10000 cps'in üstünde yayılmaktadır (Chugh, 1968).

Öte yandan, elastik olmayan davranış ile mikrosismik etkinlik (aktivite) arasında çok belirgin bir ilişki vardır; ve kayalarda elastik olmayan davranış, kayaç içindeki mikro düzeydeki kırılmaların bir sonucu olabilmektedir (Hardy ve diğ., 1978).

4. DURAYSIZLIK BÖLGELERİNİN SAPTANMASI

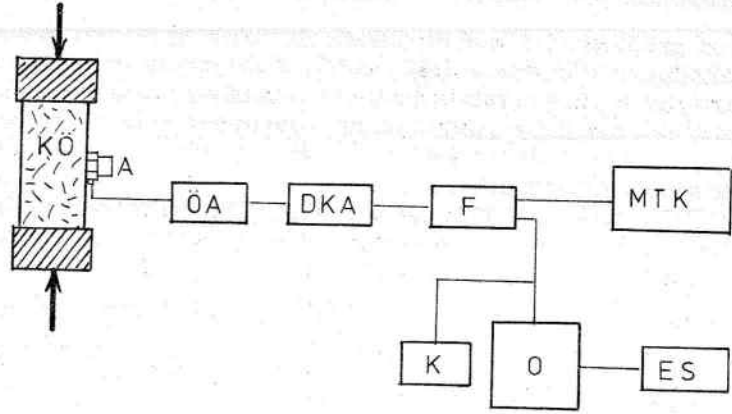
Mikrosismik bir etkinliğin odağının saptanması, sismologların bir deprem odağını saptamalarına benzer şekildedir. 'Microseisimim'in odağı, Yayılma Zaman Farkı (Travel Time Difference) yöntemi ile saptanır (Cadman ve diğ., 1967). Böyle bir yöntem, ortamın değişik noktalarına yerleştirilen transdüörlerden elde edilecek mikrosismik verilerin analizini ve korrelasyonunu öngörür. Obert ve Duval (1967) ve Cook (1963), bu yöntemi uygulayarak, sahada 'microseisimim' odaklarını saptayabilmişlerdir. Aynı yöntem laboratuvarı Scholz (1968) tarafından uygulanmış ve umut verici sonuçlar elde edilmiştir.

5. MİKROSİSMİK ÖLÇME DÜZENİ

Mikrosismik ölçme sistemi, laboratuvar ve arazi ölçme sistemleri olarak iki grupta ele alınabilir.

5.1. Laboratuvarı Mikrosismik Ölçme Sistemi

Laboratuvarı, çoğunlukla silindirik kayaç örnekleri (karotlar) üzerinde yapılan mikrosismik ölçümlerde kullanılan sistemin blok diyagramı Şekil 6'da gösterilmiştir.

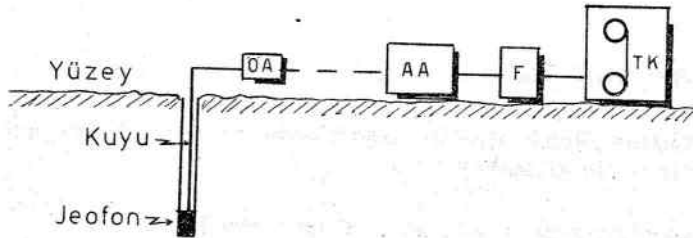


Şekil 6 : Laboratuvarda mikrosismik ölçüm sistemi (Chugh ve diğ., 1968).
KÖ : Kayaç örneği, A : Akselometre, ÖA : Ön Amplifikatör,
DKA : Değişken Kazanç Amplifikatörü, F : Filtre, MTK : Man-
yetik Teypli Kaydedici, K : Kulaklık, O : Osiloskop, ES : Elek-
tronik Sayaç.

Böyle bir sistemde, piezoelektrik akselometre (piezoelectric accelerometer) den oluşan bir titreşim transdüsörü (vibration transducer) kayaç örneği üzerine yapıştırılır. 'Microseismim'ler olarak elde edilen akselometre çıkışı ancak birkaç milivolt düzeyinde olduğundan; bu küçük sinyalleri en az 30 milivolt düzeyine yükseltebilmek için bir amplifikatör kullanılır. Amplifikatör çıkışına konulan filtre ile de, sistem dışı gürültüler elenir. Böylece elde edilen 'microseismim'ler, gerektiğinde yeniden incelenmek üzere manyetik bir teypte kaydedilir. 'Microseismim'lerin frekans spektrumlarını elde etmek için, teyp çıkışına bir frekans analizörü bağlanır. Elde edilen 'microseismim'ler bir kulaklık sistemi ile dinlenebildiği gibi; görüntüleri de bir osiloskop ekranında gözlenebilir.

5.2. Arazide Mikrosismik Ölçme Sistemi

Basitleştirilmiş bir saha ölçme sistemi Şekil 7'de gösterilmiştir. Bu sistemin, laboratuvar ölçme düzeninden farklı olan yanı, laboratuvarda kayaç



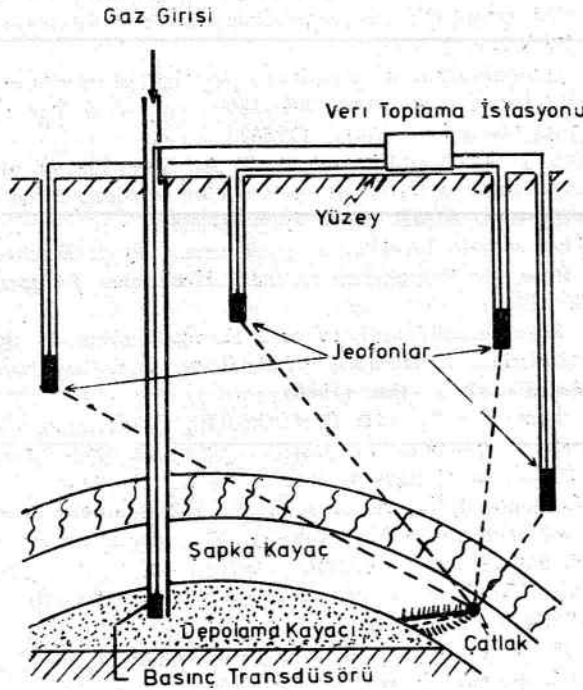
Şekil 7 : Arazide mikrosismik ölçüm düzeni (Hardy ve diğ., 1977).
ÖA : Ön Amplifikatör, AA : Art Amplifikatör, F : Filtre,
TK : Teypli Kaydedici,

örneği üzerine yapıştırılan transdüsörler yerine, burada belirli derinliklerde açılan kuyuların dibine yerleştirilen kuyu jeofonlarının kullanılmasıdır.

6. KAYA MEKANİĞİNDEKİ UYGULAMALAR

İnşaat, maden, petrol, jeoloji ve deprem mühendislikleri uygulamalarında, kayaçlarla ilgili duraylık sorunlarının çözümüne yönelik çalışmaların bir bölümü, Akustik Emisyon/Mikrosismik Aktivite yönteminin belli başlı uygulama alanlarını oluşturur.

Genelde; jeolojik malzemenin mekanik davranışları ile ilgilenen mühendisler ve bilimadamları için, Akustik Emisyon/Mikrosismik Aktivite, özellikle deformasyon ve yenilme hallerinin öngörülmesinde, büyük ölçüde yararlanabilecekleri bir yöntemdir.



Şekil 8 : Yeraltı gaz depolaması ile ilgili bir mikrosismik yöntem uygulaması (Hardy, 1969).

İnşaat mühendisliğinde, yol, köprü ve baraj inşaatlarında; gerek yapının gerek zeminin, taşıyacakları yükler altındaki mekanik davranışlarının önceden belirlenmesinde ve denetiminde; maden mühendisliğinde, açık işletmelerdeki basamak ve şevlerin; yeraltı işletmelerinde, galeri ve tünel gibi kazıların duraylık durumlarının önceden belirlenmesinde ve denetiminde; petrol mühendisliğinde, optimum sondaj koşullarının belirlenmesinde, yeraltı petrol boru hatlarının döşenmesinde karşılaşılan gerilme - bi-

rimdeformasyon sorunlarının çözümünde; yeraltı doğal gaz rezervuarlarındaki basınçların ölçümünde; jeolojik bir ortamda, katmanların doğrultu, eğim, derinlik, kalınlık, kıvrım ve fay gibi yapısal özelliklerinin belirlenmesinde; jeofizikte, fay mekanizması ile ilgili depremlerin öngörülmesinde, Akustik Emisyon/Mikrosismik Aktivite yönteminden büyük ölçüde yararlanılabilme olanakları vardır.

Akustik Emisyon/Mikrosismik Aktivite yönteminin günümüzde en yaygın olarak uygulandığı konulardan biri de, yeraltı doğal gaz rezervuarlarının duraylılığı konusudur. Şekil 8'de, bu tür bir uygulamada, rezervuar çevresindeki çatlakları veya durak olmayan bölgeleri saptamak amacı ile zeminde açılmış kuyulara yerleştirilen jeofonlar görülmektedir.

KAYNAKLAR

- Buchheim, W., Geophysical methods for the study of rock pressure in coal and potash-salt mining: International Strata Control Congress, Leipzig, 222-233, (1958).
- Cadman, J. D., Goodman, R. E. and Van Alstine, C., Research on subaudible noise in landslides: NSF Grant GK 109, Department of Civil Engineering, University of California, Berkeley, (1967).
- Chugh, Y. P., An investigation of frequency spectra of microseisms emitted from rock under tension in the range 300 - 15000 cps: M. S. Thesis, Mining Dept., The Pennsylvania State University, (1968).
- Chugh, Y. P., Hardy, H. R. Jr. and Stefanko, R., An investigation of the frequency spectra of microseismic activity in rock under tension: Proc. of 10th. Rock Mechanics Symposium, AIME, New York, (1968).
- Cook, N. G. W., The seismic location of rockbursts: Rock Mechanics (C. Fairhurst, Editor), Proc. 5th Symposium on Rock Mechanics, Pergamon Press, New York, 493-517, (1963).
- Hardy, H. R. Jr., Microseismic activity and its application in the natural gas industry: Transmission Conference Proceedings, American Gas Association, Cat. No. X59969, T-147-T-156, (1969).
- Hardy, H. R. Jr., Kim, R. Y., and Stefanko, R., Correlation of microseismic activity and inelastic behavior in geologic materials under stress: Canadian Association of Physicists Congress, Calgary, Alberta, (1968).
- Hardy, H. R., Jr., Comeau, G. L. and Kim, R. Y., Development of a microseismic borehole probe for monitoring the stability of geologic structures: Proc. 18th Rock Mechanics Symposium, Keystone, (1977).
- Obert, L. and Duwal, W. I., Use of subaudible noises for the prediction of rock bursts: USBM RI 3654, (1942).
- Obert, L. and Duwal, W. I., Rock mechanics and design of structures in rock: John Wiley and Sons, Inc., New York, (1967).
- Paulsen, J. C., Kistler, R. B. and Thomas, L. L., Slope stability monitoring at Boron: Mining Congress Journal, 53, 28-35, (1967).
- Scholz, C. H., Microfracturing and inelastic deformation of rock in compression: Jour. Geop. Res., 73, 4, 1417, (1968).
- Suzuki, T., Sasaki, K., and Hirota, T., A new approach to the prediction of failure by rock noise: Proc. 4th International Conference on Strata Control and Rock Mechanics, Colombia University, New York, 1-9, (1964).

* H. Ü. Jeol. Müh. Bölümü, Beytepe - Ankara

** M.T.A. Enstitüsü Jeofizik Dairesi, Ankara

YERİNDE DENEYLERİN ODA - TOPUK BOYUTLANDIRILMASINA UYGULANIŞI

*Ergin ARIOĞLU**

ÖZET :

Bu yazıda, yerinde deneylerin oda-topuk boyutlandırılmasına uygulaması verilmektedir. Oda-topuk yönteminde daha ekonomik ve rasyonel çözümlerin elde edilmesi için boyutlandırma anlayışının yerinde (in-situ) yapılan deneylere dayandırılmasının önemi vurgulanmaktadır.

1. GİRİŞ :

Yerinde ölçülen mekanik büyüklüklerin özellikle uygulamalı kaya mekanığı bilim disiplininde değerlendirilmesi son 15 yıl içinde giderek artmıştır. Bu olayın başlıca nedenleri şöyle sıralanabilir:

— Yerinde ölçülen mekanik büyüklükler formasyonunun dış yükler altındaki gerçek davranışını yansıtır. Bu özelliği ile yeraltı mühendislik yapılarının boyutlandırma problemlerinde daha gerçekçi fiziksel modellerin ve değerlerin kullanılmasına imkân verir.

— Yukarıda belirtilen yararın devamı olarak da maden mühendisliğinde üretim olayı ile direkt ilintisi olan işlerin tasarımında, örneğin oda-topuk, uzun ayağın boyutlandırma problemlerinde daha ekonomik ve cesur çözüm imkânları sağlar.

Bu yazının amacı yerinde ölçülen kömür basınç dirençlerinin karakteristik bir oda-topuk boyutlandırma problemine nasıl uygulandığını göstermek ve sonuçları klâsik tasarım yöntemi ile karşılaştırarak yerinde ölçme deneylerinin sağladığı belirgin yararları analitik şekilde vurgulamaktır.

2. YERİNDE ÖLÇÜLEN KÖMÜR BASINÇ DİRENCİNİN ODA - TOPUK PROBLEMİNE UYGULANMASI :

2.1. Yerinde Kömür Basınç Direnci

Yerinde gerçekleştirilen çeşitli deneyler sonucunda bulunan tek eksenli direnç ile numune boyutları arasında aşağıda belirtilen ampirik bağınların bulunduğu anlaşılmıştır (1, 2):

Kare topuk için : $\sigma_b = A \frac{a^\alpha}{b^\beta} \dots\dots\dots (1)$

Dikdörtgen kesitli topuk için : $\sigma_b = A \frac{a_e^\alpha}{b^\beta} = A \frac{(a \cdot b)^{\frac{\alpha}{2}}}{b^\beta} \dots\dots\dots (2)$
 $a_e = \sqrt{a \cdot b}$

Kare topuk $\sigma_b = m (a/b) + n \dots\dots\dots (3)$

Bu bağıntılarda

σ_b = Yerinde basınç direnci [kg/cm²]

$A = 1 \times 1 \times 1$ m boyutunda kömür topuğunun basınç direnci [kg/cm²]

a = Topuk genişliği [m]

b = Damar kalınlığı [m]

a_e = Eşdeğer topuk genişliği [m]

α, β = Yerinde topuk direncine ait ampirik katsayılar

m, n = Yerinde topuk direncine ait ampirik katsayılar

Beklenildiği gibi, verilen kömür için topuğun narınlığı arttıkça, diğer bir deyişle (a/b) oranı azaldıkça basınç direnci önemli ölçüde azalmaktadır. Bu sonuç doğrudan doğruya topuk içinde boyutla birlikte yapısal kusurların (çatlak, fissür, süreksizlik düzlemleri, bantlar v.s.) artması ile ilgilidir.

2.2. Topukların Boyutlandırılması :

Klasik boyutlandırma anlayışına göre gerekli topuk boyutu,

$$F = \frac{\text{Topuk Direnci}}{\text{Topuğa gelen Basınç}} = \frac{\sigma_{b,1}}{\sigma_t} \geq 1 \dots\dots\dots (4a)$$

ana koşulu ile belirlenir. Topuğa etki eden basıncın ortalama şiddeti (Şekil. 1).

$$\sigma_t = \frac{\sigma_z}{1-e} = \frac{0,1 \gamma \cdot H}{1-e} \text{ [kg/cm}^2\text{]} \dots\dots\dots (5)$$

olarak verilir (3, S 149). Bu eşitlik, (4a) da yerleştirilirse, Güvenlik Sayısı,

$$F = \frac{4 \sigma_{b,1}}{H} (1-e) \dots\dots\dots (4b)$$

şeklinde yazılabilir.

Kare topuk (Şekil. 1) için üretim oranı "e",

$$e = \frac{l^2 + 2 a l}{(a+l)^2} \dots\dots\dots (6)$$

olarak tariflenebilir (3). Burada "l" oda açıklığını göstermekte olup, statik analize göre:

$$l \leq 4.47 \sqrt{t \frac{\sigma_e}{F_a \cdot \gamma}} \dots\dots\dots (7)$$

ile verilmektedir (3).

Burada:

F = Güvenlik sayısı

$\sigma_{0,1}$ = Kömür örneğinin laboratuvardaki basınç direnci $[\text{kg}/\text{cm}^2]$

σ_t = Topuğa etkiyen ortalama basınç $[\text{kg}/\text{cm}^2]$

σ_z = Derinlik (düşey) basıncı $[\text{kg}/\text{cm}^2]$

e = Üretim oranı

γ = Tabakaların ortalama özgül ağırlığı $[\text{t}/\text{m}^3]$

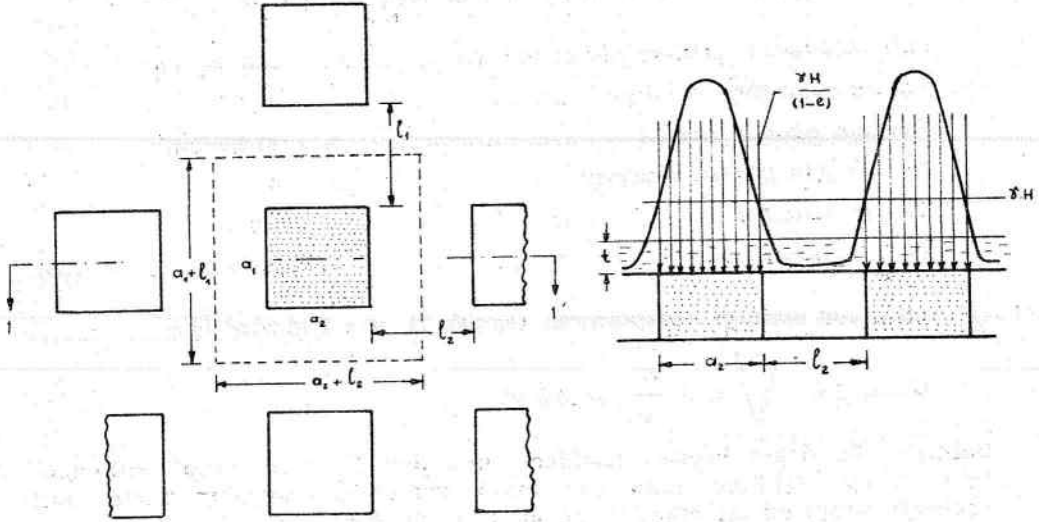
H = Üretim derinliği $[\text{m}]$

l = Oda genişliği $[\text{m}]$

t = Yalancı tavan kalınlığı $[\text{m}]$

σ_p = Yalancı tavanın eğilme direnci $[\text{kg}/\text{cm}^2]$

F_R = Açıklık hesabında kullanılan güvenlik sayısı



$$e = \frac{(a_1 + l_1)(a_2 + l_2) - (a_1 \cdot a_2)}{(a_1 + l_1)(a_2 + l_2)}$$

$$e = \frac{l_1 \cdot l_2 + a_1 \cdot l_2 + a_2 \cdot l_1}{(a_1 + l_1)(a_2 + l_2)}$$

Kare topuk için

$a_1 = a_2$ ve $l_1 = l_2 = l$

$$e = \frac{l^2 + 2al}{(a + l)^2}$$

Şekil 1 : Oda - Topuk Tasarımı

Yerinde ölçmelere dayanan boyutlandırmada, (4b) ana ifadesi

$$F = \frac{4 [m (a/b) + n]}{H} (1 - e) \quad (4c)$$

şeklinde tariflenebilir. Taşıyıcı yapının (topuk) yerinde davranışı daha gerçek şekilde bilindiğinden, başka bir deyişle belirsizliklerin mertebesi azaldığından Güvenlik Sayısı $F = 1.5$ olarak alınmaktadır (4, S 188). Verilen bir kömür damarı için yerinde direnci karakterize eden ampirik katsayılar (m ve n) istatistiksel analizle belli olacağından, (4c) eşitliğinden gerekli topuk boyutu "a" kolayca hesaplanabilir. Verilen formüllerin tipik bir uygulaması aşağıda sunulmuştur.

2.3. Nümerik Uygulama :

Yerinde basınç ölçme deneylerinin maden mühendisliğinde sağladığı yararı göstermek açısından oda-topuk yönteminin uygulama limiti burada belirlenmiştir. Örnekte kabul edilen veriler şöyledir:

Laboratuvarda ölçülen basınç direnci	$\sigma_{b,l} = 350 \text{ kg/cm}^2$
Yalancı tavanın kalınlığı	$t_l = 1.75$
Tavanın eğilme direnci	$\sigma_e = 20 \text{ kg/cm}^2$
Açıklık için güvenlik sayısı	$F_a = 4$
Damar kalınlığı	$b = 2.0 \text{ m}$
Yerinde basınç direnci	$\sigma_b = 40 \text{ a/b} + 70 \text{ (1, S108)}$

İlkin, oda açıklığı hesaplanırsa (eşitlik 7), $\gamma = 2.45 \text{ t/m}^3$ için

$$l_{\max} \leq 2.85 \sqrt{1.75 \frac{20}{4}} \cong 8.5 \text{ m}$$

bulunur. Bu değer işletme istekleri yönünden $l = 6 \text{ m}$ kabul edilmiştir. (4b) ve (4c) eşitliklerinden, oda-topuk yönteminin uygulanabilme limit derinliği kabul edilen emniyet katsayıları için sırasıyla;

$$H_{\max} \leq \sigma_{b,l} (1 - e) \quad (8a)$$

$$H_{\max} \leq 2.66 (m^a/b + n) (1 - e) \quad (8b)$$

şeklinde belirlenebilir. Çeşitli üretim oranları için laboratuvar basınç direnci ve yerinde saptanan basınç dirençlerine göre oda-topuk yönteminin uygulama limit derinlikleri tablo-1'de gösterilmiştir. (Şekil. 2).

Aynı şekil üzerinde üretim oranına bağlı olarak yerinde topuk direncinin değişimi çizilmiştir. Değişimler yakından incelendiğinde bu pratik sonuçlar çıkartılabilir.

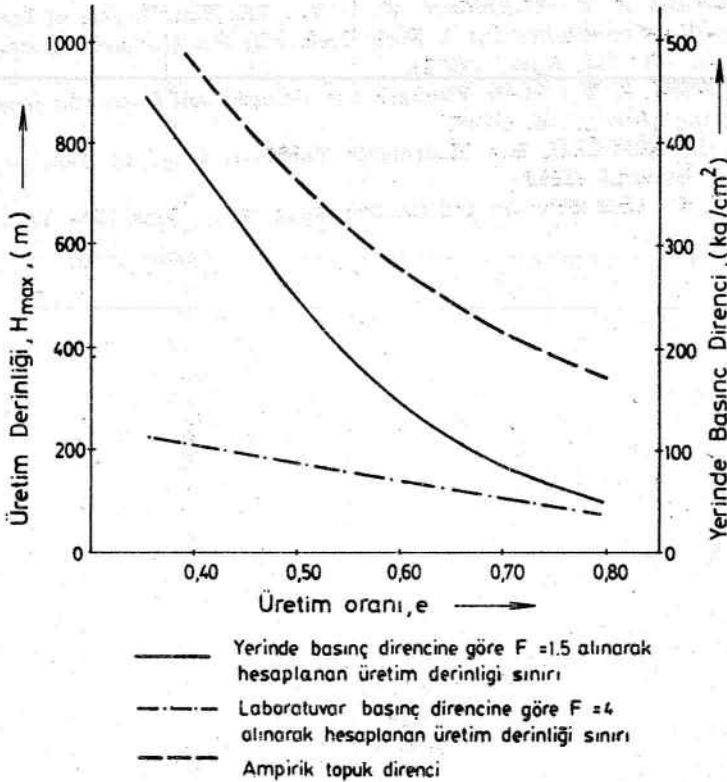
— Artan üretim oranı ile oda-topuk yönteminin uygulanabilme derinliği azalmaktadır.

Yerinde Deneylerin Oda - Topuk Boyutlandırılmasına Uygulanışı

e	0,80	0,75	0,60	0,55	0,45	0,40	DÜŞÜNCELER
H_{min} [m]	74	88	140	158	193	210	8a eşitliği ($\sigma_{b,1}$ ye göre)
H_{maks} [m]	95	128	288	372	616	752	8b eşitliği (σ_b ye göre)

Tablo 1 : Üretim oranına göre oda -topuk yönteminin uygulama derinlikleri.

— . Yerinde basınç direncine dayandırılan yaklaşım, aynı üretim oranı için söz konusu limit derinliği daha da büyük vermektedir. Diğer bir anlatımla, üretim yöntemi seçimine daha cesur geometrik boyutlar getirmektedir. Genelde uygulanan üretim oranı %60 için, yerinde saptanan basınç dirençlerine göre hesaplanan üst derinlik laboratuvar basınç direncininkine oranla %105 daha fazla olabilmektedir.



Şekil 2 : Üretim oranı - Üretim derinliği ilişkisi.

3. SONUÇ :

Bu çalışmada elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi sıralanabilir:

1. Maden mühendisliğinde yerinde deneylerin uygulaması son 15 yıl içinde büyük önem kazanmıştır.
2. Yerinde basınç direncine göre topuk boyutlandırılması formüle edilmiştir (4c eşitliği).
3. Yerinde basınç direncine dayandırılan yaklaşım oda-topuk yönteminin uygulama sınırını büyük ölçüde artırmaktadır. Bugün 200-250 m olarak kabul edilen üst derinlik değeri rahatlıkla üretim oranını değiştirmeden, 300-350 m'ye çıkartılabilir. Bu, yerinde ölçmelerin sağladığı en be-lirgin yarardır.

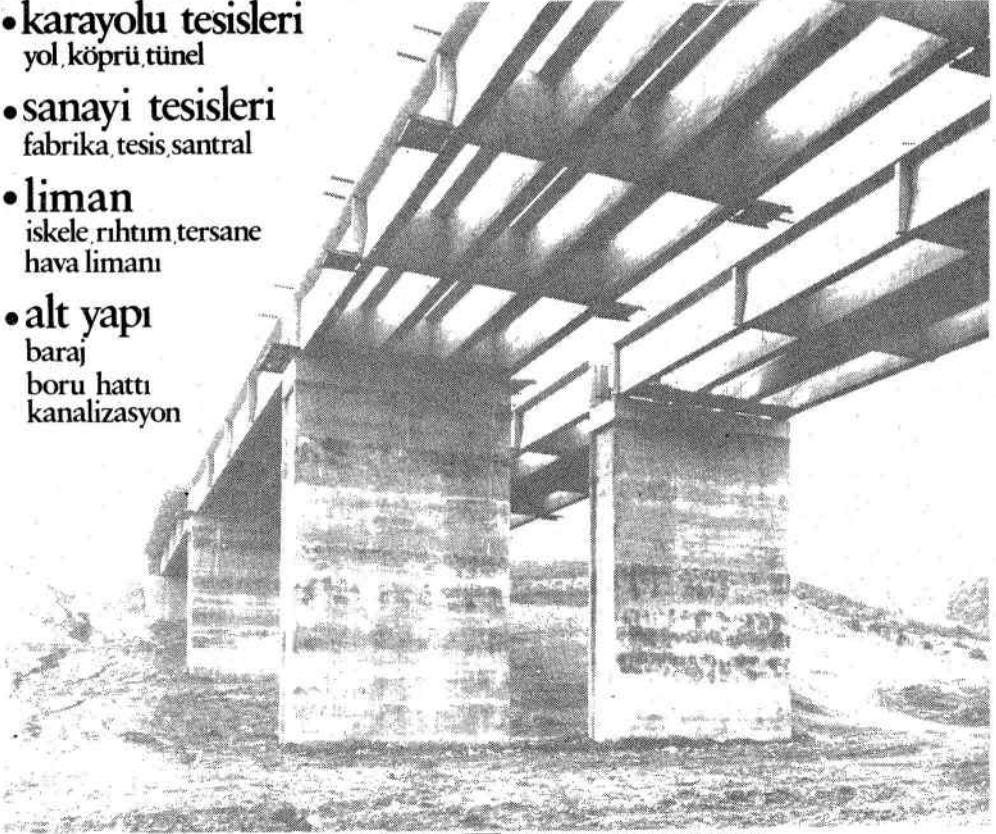
KAYNAKLAR :

- (1) BIENIAWSKI, Z. T., HEERDEN, W. L. Y. : The Significance of Insitu Tests On Large Rock Specimens, Int. J. Rock Mech. Min. Sci. Geomech. Abstr., Vol. 12, No. 4, pp. 101-113, April, (1975).
- (2) BIENIAWSKI, Z. T. : Insitu Strength and Deformation Characteristics of Coal, Engineering Geology, 2, (1968).
- (3) BİRÖN, C., ARIÖĞLU, E. : Madenlerde Tahkimat İşleri ve Tasarımı, Birsen Kitabevi, İstanbul (1980).
- (4) PENG, S. S. : Coal Mine Ground Control, John Wiley Sons, New York, (1978).

ENKA

İNSAAT VE SANAYİ A.Ş.

- **karayolu tesisleri**
yol, köprü, tünel
- **sanayi tesisleri**
fabrika, tesis, santral
- **liman**
iskele, rıhtım, tersane
hava limanı
- **alt yapı**
baraj
boru hattı
kanalizasyon



ANADOLU OTOYOLU HEREKE VIYADÜKLERİ İNŞAATI

Enka Hanı, Balmumcu Mahallesi, Bestekâr Şevki Bey Sokak, Beşiktaş-İstanbul Telf : 66 22 15 - 6 - 7 - 8 - 9

Telq : Enka Anonim Teleks : Pima Tr İst. 26 139

