

# *Yeraltı Kazılarında Jeolojik Sorunlar Ve Araştırma Yöntemleri*

*ANDREW H, MERRİTT*

*Çeviren : Jeoloji Y, Müh. GÜNGÖR UNAY*

*Don U Deere and A. H. Merritt Danışman  
Mühendislik Firması, Florida, ABD*

*Elektrik İşleri Etüd İdaresi Ankara,*

## **GİRİŞ**

Bir çok yeraltı kazılarında beklenmeyen jeolojik durumlarla karşılaşılması tünel açımında maliyeti arttıran temel faktör olarak görülmektedir. Geçende Engineering News Record Dergisinde yayınlanan bir makalede, İkinci Kazı ve Tünel Konferansında sunulan önemli bildiri-lerin bazıları özetlenmektedir. Burada, bir çok tünel açım işleminde en yoğun tartışma konusu, araştırma verisinin yetersizliğinden kaynaklanmaktadır. Müteahhit rastlanılan Jeolojik koşulların projeci yada iş sahibinin söylediği biçimde olmadığı savını sürdürmektedir. Bu nedenle tünel inşaatı hesaplanandan daha pahalıya nial olmakta ve sonunda uyuşmazlık mahkemeye götürülmektedir-, denmektedir [1).

Bölgede araştırma verisi ve tünelcilik deneyimi sınırlı olduğunda jeolojik sorunlar tümüyle

( Bu çeviri, American Society of Civil Engineers tarafından yayınlanan «Subsurface Exploration for Underground Excavation and Heavy Sonstruetion» adlı Konferans Bilgilerinden «Underground Exacvation : Geologic Problems and Exploration Methods» adlı makaleden yapılmıştır.

bilinemez, yada, yöredeki jeoteknik mühendislerince önceden kestirilemez. Haritalamanın yorumunda, sondaj kuyusunda ve jeofizik çalışmada düşünülen yanlışlar nedenlerden biri olabilir. Bu bakım'dan problemler büyük, yeraltı kazı boşluklarının projelendirilmesinde, kullanılan küçük çaplı tünellerdeki özgül problemlerin ölçeğinin yetersiz olmasından kaynaklanabilir.

Jeolojide bu beklenmeyen değişiklikler sözleşme belgelerinde yeterince kendine yer bulamamakta, ve müteahhit ile inşaatı yürüten kişi arasında sürtüşmelere neden olmaktadır, öte yandan, işi yürüten bütün jeolojik verilerin müteahhite verildiğini, sorunlar ortaya çıkmışsa bunun teklifle müteahhitin doğru değerlendirme noksanlığından kaynaklandığı savını ileri sürebilir. Müteahhit bunu şu biçimde yanıtlıyabilir; iş sahibi/mühendis teklif verme süresine (örneğin 6 hafta] göre işin etüt ve projelendirilme aşamalarında yeterli süreye sahiptiler. Dolayısıyla mühendis sözleşmede belirtilen iş mlktarlarıyla kanıtlandığı gibi jeolojik koşullar doğru biçimde değerlendirmemiştir..

Yeraltı projelerindeki inşaat güçlüklerinin çoğu genellikle iki konu çevresinde odaklanır: kayadaki iksanın tipi ve miktarı; ilerlemedeki suyun basıncı ve miktarı. Önceden kestirilemeyen jeolojik problemler sözleşmeye konmayan İksa tipini gerektirebilir ve sorunlar genellikle uygun birim fiyatlarını tartışılması üzerine yoğunlaşır. İksa miktarındaki aşırı artışlar genellikle İşin amacını değiştirir ve müteahhit çalışma yöntemlerini ve günlük işletmeyi; özgün ekipmanın uygunluğunu; inşa gereçlerinin temin edilmesini ve tüm projenin planlamasını etkiler.

Yüksek basınçlı yada basınçsız fazla miktarda yeraltısuyunun bulunması aynı biçimde sözleşme amacının dışında sorunlar yaratır. Müteahhit'in pompaj kapasitesi rastlanılan hacimler için yeterli olmayabilir ve yüksek basınç kayada duraysızlık sorunlarına neden olabilir. Su akımlarını kontrol altında tutabilmek için aynada düzenli bir biçimde enjeksiyon işlemi yada basınç serbestleme kuyuları, toplama ve drenaj sistemleri gerektiği takdirde projenin yürütülme programında zaman yitirilebilir.

Bir yeraltı projesinin başarısının dayandığı inşaatla ilgili İki önemli jeolojik sorun ayrımlanmış olup, jeolojik yapı özelliklerinin açıklanmasına katkıda bulunacak yeraltı araştırması ve yeraltı kazısını kontrol altında tutan önemli jeolojik yapıların bazıları burada tartışılacaktır.

## YERALTI BOŞLUK KAZILARINDA ÖNEMLİ JEOLOJİK SORUNLAR

Son yıllar içerisinde yazar çeşitli jeolojik kütlelerde öngörülen yirmiyi aşkın yeraltı projesiyle ilişkili olmuştur. Bunlar araştırma projelendirme ve inşaat aşamalarını içermektedir. Derin kaya kazılarında karşılaşılan sorunlardan önemlilerine değinmek için bu makalede girişimde bulunulmuştur. Tünel zeminin genel bir sınıflandırma sisteminin ve çeşitli jeolojik durumların ayrıntılı bir tartışması Deere, Merritt ve Cording, 1874 .(21'de verilmiştir.

Totellerde ayrıntılı jeoteknik araştırmayı gerektiren Özellikler aşağıdaki biçimde altı bölüme toplanabilir.

- A, Kayanın Genel Niteliği
- B, Ana Zayıflık Düzlemlerinin Yönlenimi
- C, Kayanın Ayrışması

- D. Yerindeki Gerilme
- E. Yeraltısuyu
- F. Litoloji ve Sertlik

### A. Kayanın Genel Niteliği

Kaya kütlelerinin bozulmamış direnci yeraltı projelerinde pek seyrek sorun olmaktadır. Jeoloji mühendisi ve proje mühendisleri kırılmanın miktarı ve bunun kaya kütlelerinin direncini, deformasyon yeteneğini ve geçirgenliğini nasıl etkilediği konusuna ilgi duyarlar. Kaya niteliğini sayısal olarak betimlemek (tasvir) için bir çok yöntemler kullanılmaktadır: eklem sıklığı; Kaya Niteliği Tanımlaması, ROD (3); Kaya Yapı Değerlendirilmesi, RSR (4); ve diğerleri.

Kullanılan yöntem ne olursa olsun, kaya niteliği projecisinin saptanması gerekli olan ana özelliktir çünkü İksa tekniğinin seçimini ve kullanılacak miktarı etkileyecektir. Bu bakımdan, zayıf nitelikteki kaya zonlarının saptanmasında yararlı olup, bu sayede özgül İksa teknikleri ve ayrıntılı kazı işlemleri projeye sokulabilir, Bu durum özellikle kesişen tünelleri içeren büyük yeraltı kazı boşluklarında önemlidir. Kaya niteliği ve İksa yöntemleri arasında bağlantı kurulduğunda, uzun tünellerde dağılımları, örneğin, önceden uygun inşaat gereçlerinin satın alınmasında ve nakledilmesinde iş sahibinin ve müteahhitin yardıma gereksinme duyduğu yerde önemli olabilir.

### B. Ana Zayıflık Düzlemlerinin Yönlenimi

Büyük yeraltı boşluklarının açımında birincil önemdeki jeolojik yapılar aşağıdaki biçimde sıralanabilir :

1. eklemler, 2. tabakalanma düzlemleri, 3. faylar, 4. kayma zonları ve 5. metamorfik kayalardaki foliyasyon. Bu yapısal özellikler, sağlıklı biçimde yorumlandığı takdirde, kesin proje aşamasında kaya İksa yöntemleri ve maliyet hesaplarında önemli bir yer tutacaktır. Büyük kazı boşluklarında, kayadaki aşırı sökmelin ve İlâve betonun hacmini olduğu kadar boşluk duvarlarının duyarlılığını, tünel tavanların, kemerlerini ve boşluk arakesitlerini de etkiler.

Bir örnek verilmek istenirse, bu günlerde metamorfik kayada (şistler ve gnayslar) açılmakta olan büyük çaplı bir tünel gösterilebilir. Bu tüneldeki foliyasyonun doğrultusu hemen

hemen tünel eksenine paraleldir. Islak kil zonları foliyasyon boyunca düzenli bir biçimde gelişmiş olup, foliyasyon kayma zonları olarak tanımlanmıştır (5). Belirgindir ki jeolojik geçmişte şistlerin İzokinal kıvrımlanması kıvrım katanlarında diferansiyel hareketler oluşturmuş, ve mika minerallerini öğütürerek kile dönüştürmüştür. Görülmüştür ki bu yapısal özelliklerin doğrultu boyunca uzun mesafelere dek gelişmesi halinde, bir senklineal kıvrımın ekseninde aşağıya doğru aniden son bulabilir. Bu tünel örneğinde görece ince (20 cm kalınlığa dek) kil zonları 200-300 m den fazla ilerleme sırasında devam etmiş olup, tüm mesafe için çelik bağ iksası gerektirmiştir. Kayma ve uzama problemleri duvarlarda meydana gelmiş olup, büyük kama göçmeleri tünel kemerinde gözlenmiştir.

Yeraltı boşluk kazıları ile ilgili olarak, kötü yönlendirilmiş kayma zonları, faylar, ve foliyasyon kaymalarına Cihurohll Şelalesi denge bacasında (6); Morrow Point'in santral yerinde (7); NORAD Yeraltı İletişim Merkezinde (8); ve Washington, D. C. Metro sisteminin çeşitli kesimlerinde rastlanılmıştır. Bazı hallerde bu zonlara araştırma programının uygulanması sırasında rastlanılmış ancak her durumda da bu jeolojik yapılar yaygın ve genellikle pahalı kaya iksa sistemini gerektirmiştir.

Kayada küçük çapta oluşan bir aşırı sökme çoğu kez müteahhit ile mühendis arasında uyumsuzluk konusu olmaktadır. İnce şeyi aratabakalı sedimanter kayalar çoğunlukla tünelin taban ve tavanında aşırı sökmeye neden olur. Uygun konumda olmayan eklemler yeraltı santralının alt yapısında bulunan topuklar, ya da sürekli kaya iksası kemer betonuyla sağlandığı yerdeki boşluk kazısındaki tipik kaya çıkıntılarında (haunches) aşırı sökmeye neden olabilir.

### C. Kayanın Ayrışması

Tropikal koşullarda derinliğine ayrışmaya uğrayan kaya, bina temelleri, kentler arası yollar ve demiryol, baraj ve dolusavak kazılarında satıhta çeşitli inşaat güçlüklerine neden olmuştur (10). Bununla beraber, derinliğine ayrışmış kayaya tropik olmayan alanlarda, özellikle karasal buzullaşma sınırları ötesinde de rastlanılmaktadır.

Metro ve su tünelleri inşaatları genellikle yüzeye yakın çalışmalar olup, bunların projelendi<sup>4</sup>

rilmesinde aşağıdaki sorunlar göz önünde bulundurulmalıdır;

1. Sert kayanın üst sınırının belirlenmesi
2. Karışık-yüz kazısından kaçınmak için yeteri derinliği saptayıp, bir sert yada yumuşak kayadaki tünel açımına karşın kaz ve kapla yöntemini uygulama kararının alınması.
3. Faylar eklemler yada özgül litolojik birimler boyunca derin ayrışmayla karşılaşılma olasılığı.

New York Kentinin ilk su taşıma tünellerinin kaya iksası ve Inwood Mermeri ve Manhattan Şisti'nin dokanağından içeri su akımı gibi önemli problemleri vardı. Bu dokanak kuşkusuz su kaynağı olan Harlem, Bronx, ve East Nehirlerinden daha düşük düzeydeydi. Dokanaklar genellikle faylı olup, ayrışma paralanmış kireçtaşına dek ilerleme göstermiştir. Bununla beraber, yeni su tünellerinin kesin proje aşaması sırasında, araştırma sondajları bu ayrışmanın ilk 100 Mâ 150 m de meydana geldiğini göstermiş olup, tüneller bu yükseltelerin altına konumlandırılmışlardır. Son gözlemler bunun doğru bir proje kararı olduğunu göstermiştir.

Karstik kreçtaşlarındaki barajların kaçak sorunlarıyla ilgili olarak teknik yazında çok yoğun belge bulunmaktadır. Bu tip gereçte açılan tünellerde önemli yapımla sorunlarıyla karşılaşılabilir. Bu koşullar altında eklemler, eklem kesim yerlerinde ve erir tabakalar boyunca derin ayrışma, ıslak yumuşak kili ve kısmen bozmuş kayayı oluşturmuş ve sonuçta; gevşek, bloklu ve sakıncalı tünellerin açma koşulları; kısa dayanma süresi; ciddi çökme olasılığı; karışık yüz durumları; ağır yükler ve yumuşak taban nedeniyle çelik iksanın tabana gömülme olasılığı; ve kullanılması halinde bir sondaj makinesinin batma ya da sapma sorunlarına neden olmuştur,

### D. Yerinde Kaya Gerilmesi

Kaya patlaması ya da fırlaması taş ocakları ve derin maden galerileriyle ilgili sorunlardır. Granit, gnays ve kuvarsit gibi masif kayalardaki sığ tünellerde de aynı sorunlara rastlanmıştır olup, buralardaki kalıcı tektonik gerilmeler yüksek bir düzeye ulaşırlar. Tüneller çevresinde oluşan yeni gerilmeler sağlam kayanın basınç direnci düzeyine yaklaşır. Yıkılmalar yada

göçmeler, fırlama yada gürültü ile patlama biçiminde oluşurlar. 200 metre et kalınlıklı bir granit gnaysdaki sıg bir tünelde yazanın edindiği deneyim esas sorunların güvenlik ile zemine göre doğru iksa tipini saptama konusundan kaynaklandığını göstermiştir. Bir noktada gerilme en üst düzeye erişinceye dek tümüyle kapsül içine alınmış kaya sulonları (reçineli) ve şatkrit etkin bir biçimde kullanılmışlardır. Gerilme çok yükselince şatkrit tünel duvarında patlamış ve kaya bulonları için sondalama delikleri çok tehlikeli olmuştur. Sonunda çelik bağların (steel ribs) kullanılma zorunluğu doğmuştur. 'Bulon plakalarının gerisinde dilim fırlamaları olurken ve kaya kaybı nedeniyle çubuk üzerindeki gerilme serbestlenirken (bu bulonlar genellikle yeniden gerdirilemez), bu durumda standart kaya bulonlarının etkisiz kaldığına dikkat edilmelidir.

Gerilme sorunları kumtaşı, şeyil ve sittaşı gibi data ziyade zayıf olan kayalarda da meydana gelir, burada üst kaya yükü yeterli olunca kırıkların gelişir ve genellikle gürültüsüz doğada kayanın dilinimlenmesi sonucunu doğurur,

#### E, Yeraltı Suyu

Önemli su sorunlarının dağlık kesimlerde ve büyük su kütlelerinin altındaki faylı yada erir nitelikteki kayalarla ilgili olduğu bilinen bir gerçektir.

Çok arızalı topoğrafik koşullara sahip dağlık bir kesimde düşünülen bir projenin ulaşım gücünü nedeniyle ayrıntılı jeolojik harita alımı ve yoğun bir sondalama programının uygulan-

akımı gözlenmiştir. Gelen su genellikle fay zonlarıyla ilişkili olmuştur. Bu durumda bir taraftan yaklaşıldığında, piezometrik düzey yavaş biçimde düşecek ve akımlar bir miktar *azalacaktır*. Bununla beraber, aradaki kil zonuna girildiğinde (piezometrik düzey diğer tarafta yüzeye yeniden yaklaşmıştır) yüksek akım ve basınçlarla karşılaşmıştır. Aynada drenaj tamamlanırken tünel ilerlemesi son derece yavaş olmuş ve sık aralıklı halka takımları (ring sets) Özenli bir biçimde yerleştirilmiştir.

#### f, Litoloji ve Sertlik

•Son zamanlarda yaygın biçimde kullanılan tünel delme makinası TDM ilerleme de fazla

güçlüğe uğramadan iyi sonuçlar vermiştir. Çoğu kez TDM çok sert kayada da delme olanağı bulunmuş, ancak kesici giderleri çok yüksek olmuş ve son derece düşük ilerleme hızları elde edilmiştir, Staten Adası altındaki Richmond tünelinin açımı sırasında, yumuşak Manhattan şisti içinde masif bir pegmatit daykı gözlenmiştir. Büyük uğraşlara rağmen bakım giderleri artmış ve makina çalışmadan alıkonmuştur\* iş geleneksel sondalama ve patlatma yöntemiyle bitirilmiştir. Yakın zamanlarda aynı müteahhit seyrek ince kuvars daykları içeren aynı şistte tünel açımını makinayla başarılı biçimde tamamlamıştır.

Başka bir projede de TDM hemen hemen düz konumlu sedimanter bir istifte kullanılmıştır. Şeyillerde ve siltaşlarda çabuk ilerleme yapılmasına rağmen, diğer formasyonlarda hızda % 75 oranında bir düşme gözlenmiştir. Ayrıntılı petrografik analizler önemli miktarda ortakuvarsit ve silisli dolomit, ayrıca yüksek oranda kuvars çimentosu içeren kumtaşının da varlığını göstermiştir.

Dolayısıyla TDM kullanımını öncesi Jeolojik araştırmanın geleneksel tünel açma yöntemindekinden daha ayrıntılı olması gerekmektedir. Her iki durumda da aynı biçimde iksa ve yeraltı suyu problemleri mevcuttur, ancak kaya sertliği ile ilgili özgül problemler, kaya tabakalarının duruş ve değişimi, ve kayanın dayanma süresi tünel açma makinesinin başarısını etkileyen kritik öğelerdir.

#### ARAŞTIRMA YÖNTEMLERİ

Bütün yeraltı kazıları için Jeoteknik araştırma programı şu 3 hususu içermelidir:

- Bölgesel jeoloji ve çevredeki tünelcilik deneyimi
- Ayrıntılı temel araştırması
- Kazı sırasında saha gözlemi

#### Â. Bölgesel Jeoloji

Bölgesel Jeolojik etüt çalışmaları şu konulara değinmelidir; Litolojik hava dokanıkları; ana jeolojik yapılar-yönlenimleri ve eğimleri; tektonizma tarihi; ve yeraltı suyu rejimi. Şayet çevrede tünel açımı ile ilgili kayıtlar mevcutsa bunlar kaya duraylılığı ve yeraltı suyu problem-

; Değişmiş Jeolojik koşula elverişli yapının tümünün daha gerçekçi bir tavır koyma olgusu kadar yeraltı araştırması ve Jeolojik öngörümlerle ilgili problemlerin tam tanımlanması tünellerin maliyetini ve riskini azaltmada yardımcı olacaktır.

Emek gücündeki ve giderlerdeki artışlar, ve inşaat gerecinin zor bulunması, tünellerin endüstrisini öyle bir noktaya getirmiştir ki bu noktada yeraltı inşaat işlerinde işin kumara kalmaması gereklidir.

#### DEĞİNİLEN BELGELER

1. Rising Costs Dampen Underground Construction Boom Engineering .New-Record, July 4, 1974, P. 10.
2. Deere, D. U., Merritt, A. H., Cording, E. J., Engineering Geology and Underground Construction», to be presented at the 2nd International Congress of Engineering Geology, Sao Paulo, Brazil, 18-24 August, 1974,
3. Deere, D. U., «Geological Exploration, «Rock Mechanics in Engineering Practice, j. Wiley and sons, 1968.
4. Wickham, G. E., Tiedemann, H. R., Skinner, I. H., Support Determinations Based on Geologic Predictions, 1 st North American Rapid Excavation and Tunneling Conference, -Chicago, June 5-7,
5. Deere, D. U., «The Foliation Shear Zone-An Adverse Engineering Geologic feature of Metamorphic Rock,» Jour., Boston society, of Civil Engineers, Vol. 60, P. 163 -176.
- 6.- Benson, P. Ohriinn P. and, Deere, D. D flock Mechanics at Ghurichili Fall, ASGE Special publication on Underground Rock Chambers, 1971, P/407-488.
7. Brown, G. L, Morgan, E. D., Dodd, J. S., «Rock Stabilization at the Morrow Point power plant,» American Society of civil engineers SMI prod. Paper 7820, Jan. 1971.
8. Underwood, L.B., and Dittafano, C. J., .Development of a Rock Bolt system for Permanent Support at NORAD AIME Trans. Vol. 238, 1967.
9. Mahar, J. W., Gau, F. L, and Cording, E. J., «Observation During Construction of Rock Tunnels for the Washington D. C. Subway, «Proc. 1 st Rapid Excavation and Tunneling Conf., Vol. 1, P. 659-681, 1972
10. Merritt, A. H., »Slope Stability in Tropically Weathered Diorite, 13th Symposium on Rock Mechanics, University of , 1971.