

Süleyman DALGIÇ

İstanbul Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 34850 İstanbul

Tünellerde tahmin edilen ile gerçekleşen jeolojik koşulların karşılaştırılması^(*)

Tünel güzergahı incelemelerinde sondaj uygulamaları vazgeçilmez araştırma yöntemlerinden biridir. Araştırma sondajlarından sağlanan litoloji, yapısal unsurlar, yeraltı suyu durumu, karotların laboratuvarında değerlendirilmesi ve kuyu içi testler gibi veriler, tünellerin projelendirilmesine önemli katkılar sağlamaktadır. Ancak, tünel güzergahı araştırma sondaj verilerinin yanlış yönlendirilmesi ve hatalı yorumlanması tünel açılırken önemli proje değişikliklerine neden olmaktadır. Proje değişiklikleri ise tünellerin maliyetini arttırmakta ve zaman kaybına yol açmaktadır. Bu amaçla Bolu tüneli, İstanbul metrosu Zincirlikuyu tüneli, Moda atıksu tüneli ve Hatay Yayladağı barajı derivasyon tüneline ait değişik aşamalarda hazırlanan tünel jeoloji kesitleri incelenmiştir. Yapılan değerlendirmeler sonucu araştırma sondaj verilerine göre hazırlanan tünel jeoloji kesitlerinin doğruluk derecesi litolojik değişkenlik, tektonik yapının karmaşıklığı, yüzey saha verilerinin kutluğu, karotların hatalı yorumlanması ve tünel kesitini hazırlayan kişi veya kişilerin bilgi ve tecrübesine bağlı olarak değiştiği saptanmıştır.

Giriş

Tünel açılmadan önce saha gözlemleri ve araştırma sondaj çalışmalarından sağlanan bilgilere göre tünel jeoloji kesitleri hazırlanmaktadır. Bu jeoloji kesitlerinde sunulan bilgilerin doğruluk derecesi tünellerin dizaynını, maliyetini ve zamanında bitirilmesini etkilemektedir. Bu nedenle tünellerde araştırma sondajlarına göre tahmin edilen ile tünel kazısı sırasında gerçekleşen kaya koşullarının birbirine yakın olması gerekmektedir.

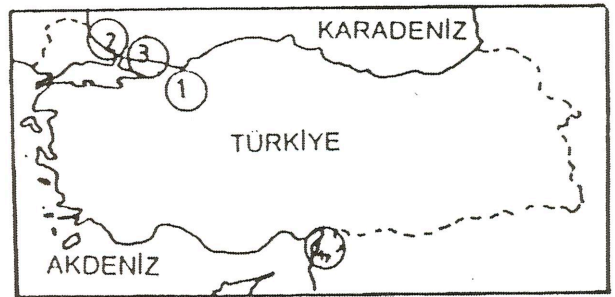
Bu amaçla ülkemizde inşaa edilen Bolu tünelinin bir kısmı, İstanbul metrosu Zincirlikuyu tüneli, Moda atıksu tüneli ve

Hatay Yayladağı barajı derivasyon tüneline ait hazırlanan tünel jeoloji kesitleri, araştırma sondajları ile tünel içi gözlem verilerinden yararlanılarak incelenmiştir (Şekil 1). Bu incelemeler sonucunda söz konusu tünellerde tahmin edilen ile gerçekleşen kaya koşullarının farklı olmasına veya benzer olmasına etki eden parametreler araştırılmıştır.

Tünellerin proje özellikleri

Bolu tüneli İstanbul-Ankara arasındaki bağlantıyı sağlayacak en önemli otoyol tünelidir. Tünel güzergahı deniz seviyesinden yaklaşık 800 m. yükselti de, örtü kalınlığı maksimum 250 m, ortalama 50-100 m arasındadır. Tünelin ilk kazısı 16 m genişliğinde ve 11.5 m yüksekliğindedir. Tünellerin bitmiş durumda yatay açıklığı 14.0 m ve yüksekliği 8.6 m'dir. İki tünel arasında yaklaşık 30 m ile 60 m arasında değişen aralık bulunmaktadır. Tünel uzunlukları sağ tüp için yaklaşık 3236 m ve sol tüp için yaklaşık 3287 m olacaktır. Tünellerin Asarsuyu girişinden itibaren yaklaşık 950 m'si Elmalık girişinden itibaren ise 300 m.'si kazılmış durumdadır.

İstanbul metrosu 1. aşama kazısı Taksimden başlayarak büyük bir bölümü Cumhuriyet-Halakargazi ve Büyükdere caddesine koşut ve yer yer yoğun yapılaşmanın olduğu bölgelerin



- | | |
|-----------------------|--------------------------------------|
| ① Bolu tüneli | ③ Moda atıksu tüneli |
| ② Zincirlikuyu tüneli | ④ Yayladağı barajı derivasyon tüneli |

Şekil 1. Tünellerin yer bulduru haritası.

* 17-19 Şubat 1997 Jeoloji Mühendisliği ve Sondaj Uygulaması Sempozyumunda bildirisi olarak sunulmuştur.

ortalama 22 metre altundan geçmektedir. İstanbul metrosunun 1. aşama 7040 m.'lik hat boyu ile Taksim-4. Levent arasında yapımı sürmektedir. Bu çalışmaya konu olan Zincirlikuyu tüneli ise Şişli-4 Levent arasında yer almakta ve 880 m uzunlukta-
dır.

Moda atıksu tüneli İstanbul kanalizasyon projesinin bir parçası olarak, İstanbul'un Kadıköy ilçesinde İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi (İSKİ) adına inşaa edilmiştir. Moda tüneli 1226 m uzunlukta ve 3.96 m çapında projelendirilmiş ve 1161 metresi tam kesit tünel açma makinesi (TBM) ile açılmıştır.

Yayladağı barajı Hatay'ın Yayladağı ilçesinin 8 km kuzeyindeki Gökpınar ve Kızılargölü deresinin birleştiği alanda inşaa edilmektedir. Yayladağı barajı kaya dolgu tipinde, temelden 47.40 m., talvegten 44.40 m., yükseklikte, kret uzunluğu 191 m., dolgu hacmi 360000 m³, göl hacmi 7.55 milyon m³, içme suyu ve sulama amaçlı projelendirilmiştir. Derivasyon tüneli sağ sahilde dairesel kesitli, 3 m çapında ve 310 m uzunluğundadır.

Tünellerin jeolojisi

Araştırma sondajlarından sağlanan karotların yorumlanmasında, tünel güzergahı ve çevresinin jeolojik özellikleri önemli olmaktadır. Bu amaçla incelemeye konu olan tünellerin jeolojik özellikleri aşağıda tanıtılmıştır.

Bolu tünelinin jeolojisi

Bolu tünel güzergahındaki en yaşlı birim Asar suyu girişinden itibaren, metamorfik kayalardan oluşan Yedigöller Formasyonudur. Bu formasyonun üstünde, tektonik dokanakla, Devoniyen yaşlı metamorfik istifden oluşan İkizoluk formasyonu ile bu birimleri kesen intrüzif granit ve Üst Kretase'den Üst Eosen'e kadar çeşitli sedimanter kayalar bulunmaktadır. Tünel güzergahı, paleotektonik dönemdeki bindirmelerin ve neotektonik dönemdeki Kuzey Anadolu Fay zonu-
nun varlığından dolayı önemli ölçüde ezik zonlar içerisinde geçmektedir (Dalgıç, 1994 a). Bu çalışmada ise tünelinin Yedigöller ile İkizoluk Formasyonu arasındaki tektonik dokanak zonu incelenmiştir.

İstanbul metrosu Zincirlikuyu tünelinin jeolojisi

İstanbul metrosu 1. aşama kazısı Taksim-4. Levent arasında temel kayayı Zincirlikuyu tüneline olduğu gibi Karbonifer'e ait Trakya formasyonu oluşturur. Trakya Formasyonu başlıca ardalan kumtaşı, silttaşı ve kilitaşı düzeylerinden oluşur. Farklı litolojiler arasında yatay ve düşey geçişler olağandır. Trakya formasyonunu kesen çok sayıda andezit, diyabaz ve mikrogabro daykları da bulunmaktadır. Daykların genişliği birkaç metre ile 100 m arasında değişmekte (Biberoğlu ve Dalgıç, 1996) ve çoğu katmanları dike yakın açılarla kesmektedirler. Trakya Formasyonunu kesen kuvars veya kalsit damarları da vardır. Bu damarlar en çok 20-30 cm kalınlıktadır.

Moda atıksu tünelinin jeolojisi

Moda atıksu tüneline İstanbul Metrosunun 1. aşama kazısında olduğu gibi Karbonifer yaşlı Trakya formasyonuna ait ardalanmalı, değişik jeomekanik özelliklere sahip kumtaşı, silttaşı ve kilitaşı bulunmaktadır. Bu litolojilerin üst kesimlerinde ise yaygın olarak suni dolgu yer almaktadır.

Yayladağı barajı derivasyon tünelinin jeolojisi

Yayladağı barajı derivasyon tüneli Kızıldağ ofiyolitine ait peridotit ve serpantinit içerisinde projelendirilmiştir. Tünel ek-
seninde de, peridotit grubu kayalardan harzburjitler diğer kayalara göre daha fazla bulunmaktadır. Harzburjitler serpantinleşmenin az olduğu kesimlerde genellikle yeşilimsi siyah renklidir. Ortopiroksenlerin bastırıldığı kesimlerde gümüş parlaklığı gösteren açık sarımsı, açık yeşilimsi renklerde benekler içeren bir görünüm sunarlar. Baraj yerinden alınan bazı örneklerde harzburjitlerde olivin kristallerinin artmasıyla dunitlere, klinopiroksenlerin artmaya başlamasıyla lertzolitlere geçişler de bulunmaktadır. Peridotitler içerisinde tektonik dokanakla yeralan serpantinitler, drenaj tünelineki diğer önemli litolojiyi oluşturmaktadır. Serpantinitler yeşilimsi gri, içerisinde peridotit çakılları ve blokları kapsamaktadır.

Tünellerde sondaj uygulamaları

Bolu tüneli, İstanbul metrosu Zincirlikuyu tüneli, Moda atıksu tüneli ve Yayladağı barajı derivasyon tüneline de sondaj çalışmaları yapılmıştır.

Bolu tüneline sondaj uygulamaları

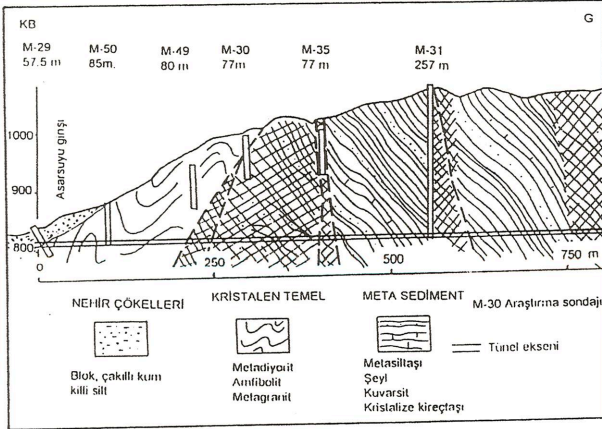
Anadolu otoyolu Bolu tüneline de 33 sondaj çalışması yapılmıştır. Bu sondajların bir kısmı tünel kotuna kadar inmiş bir kısmı ise korelasyon amaçlı sığ derinlikte projelendirilmiştir. Bolu tüneline bu çalışmaya konu olan kesimi içerisinde ise 6 sondaj çalışması bulunmaktadır. Bu sondajların derinliği 57.5 ile 257 m arasında değişmektedir.

İstanbul metrosu Zincirlikuyu tüneline sondaj uygulamaları

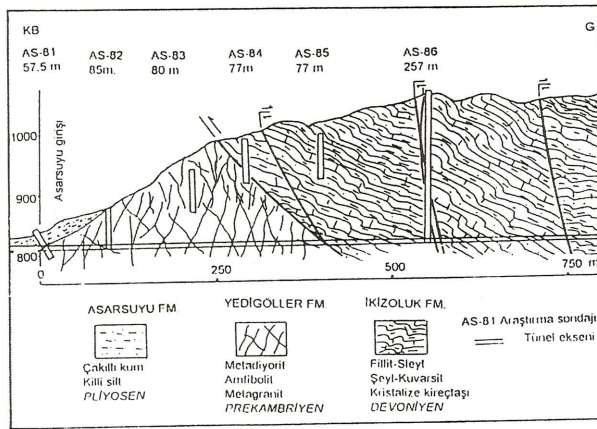
İstanbul tüp tünel ve metro güzergahındaki 60 tane genel güzergah araştırma sondajı gerçekleştirilmiştir. Sondajların denetimi bu makalenin yazarının da içinde bulunduğu İstanbul Demiryolu Tünel Konsorsiyumu (IRTC, 1988) mühendisleri tarafından yapılmıştır. Bu sondajlarda litoloji, yapısal unsurlar ve yeraltı suyu durumu hakkında bilgiler elde edilmiştir. Ayrıca, bu sondajlarda metro güzergahındaki zemin ve kayaların jeoteknik özelliklerini öğrenmek amacıyla laboratuvar örnekleri için örnek alımı ve kuyu testleri yapılmıştır. Metro güzergahında metro inşaatı sırasında ilave araştırma sondaj çalışmaları yapılmıştır. Bu sondajların bir kısmı detay araştırmaya yönelik olarak bir kısmı ise yerinde yapılan ölçümler için gerçekleştirilmiştir. İstanbul metrosu Zincirlikuyu tünellerinde ise genel güzergah araştırma sondajlarından 5 tanesi bulunmaktadır. Bu alandaki sondajların derinliği ise 24.75 ile 30.75 m arasında değişmektedir.

Moda tüneline sondaj uygulamaları

Moda atıksu tüneli güzergahı ve dolayının dolgu ve yerleşim nedeniyle tamamen kapalı olması, mostralarının ancak sınırlı sayıdaki küçük yarlarda veya inşaat çukurlarında görülebilmesi, bölgenin mühendislik jeolojisinin araştırma sondajlarından elde edilen yeraltı verileriyle değerlendirilmesini gerektirmiştir. Güzergah boyunca toplam derinlikleri 649 m'yi bulan 35 adet sondaj yapılmıştır. Elde edilen karot numuneleri incelenerek farklı litolojideki kayalar ayrılmış, toplam karot



Şekil 2. Bolu tüneline tahmin edilen jeolojik kesit (Kleberger, 1992).



Şekil 3. Bolu tüneline tahmin edilen jeolojik kesit (Dalgıç, 1994).

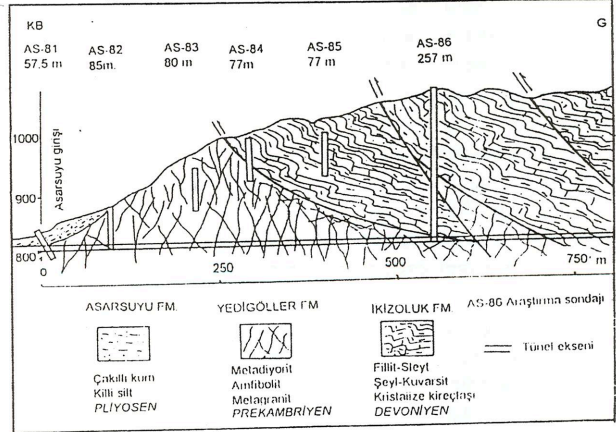
yüzdesi, sağlam karot yüzdesi, kaya kalitesi özelliği ile süreksizliklerin konum ve yoğunluğuna bağlı parametreler, dolgu kalınlıkları, ayrışma derecesi ve derinlikle değişimi belirlenmiştir. Ayrıca, araştırma sondaj kuyularında basınçlı su deneyleri yapılmıştır (Dığış, 1990).

Tahmin edilen ile saptanan jeolojik koşullar

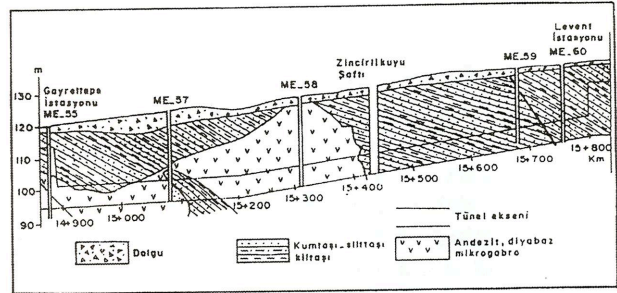
Araştırma sondaj verilerine göre tahmin edilen ile saptanan kaya koşulları incelemeye konu olan tünellerde aşağıda sunulmuştur.

Bolu tüneli

Bolu tüneline ait sondaj verilerine göre hazırlanan jeoloji boyuna kesitleri Şekil 2, Şekil 3 ve Şekil 4'de sunulmuştur. Şekil 2 tünel açılmadan önce araştırma sondajlarına göre Dalgıç (1994 a) tarafından hazırlanmıştır. Şekil 4'deki jeoloji kesiti ise tünel kazısı yapıldıktan (Dalgıç, 1996) sonra gerçek duruma göre düzenlenmiştir. Bolu tüneline bir kısmı için hazırlanan Şekil 2'nin diğer iki kesitten oldukça farklı ha-



Şekil 4. Bolu tüneline gerçekleşen jeolojik kesit (Dalgıç ve Gözübol, 1996).

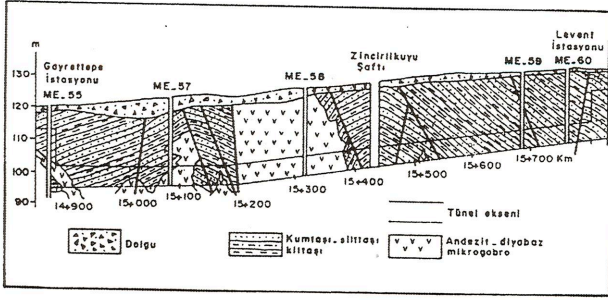


Şekil 5. İstanbul metrosu Zincirlikuyu tüneline tahmin edilen jeolojik kesit (IRTC, 1988).

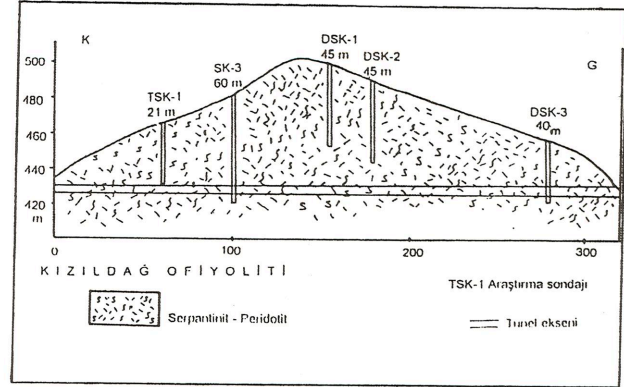
zırlanması ise bölgenin tektoniğinin değerlendirilmesi ile ilgili olmuştur. Nitekim, Şekil 2'ye göre hazırlanan proje de bindirme faylarının karşılaşılması ile proje değişikliğine gidilmesine gerek duyulmuştur. Bu olay Bolu tüneline yaklaşık bir yıl gecikmesine neden olmuş ve olay beklenilmeyen jeolojik koşullar olarak açıklanmıştır. Oysa, bindirme zonunda karşılaşılabilecek aşırı sıkışma ve şişme olayları tünel açılmadan önce (Dalgıç 1994 a, Dalgıç b ve Dalgıç ve Gözübol 1995) ortaya çıkartılmıştır.

İstanbul metrosu Zincirlikuyu tüneli

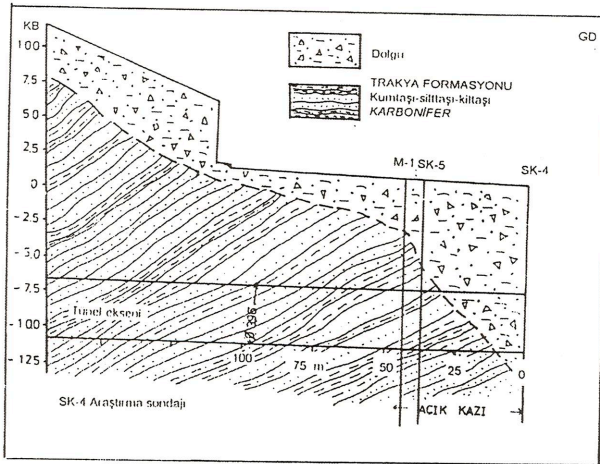
İstanbul metrosu Zincirlikuyu tüneline bir dayk kütlesinin varlığı yapılan araştırma sondaj verilerine göre ortaya çıkartılmıştır (IRTC, 1988), (Şekil 5). Tünel içinde tarafımızdan yapılan gözlem ve Köksal vd., (1996) verilerinden yararlanarak hazırlanan jeolojik kesit (Şekil 6)'da sunulmuştur. Tünel içi verilerde de sondajlarda belirlenen dayk kütlesi gözlenmiş ve hazırlanan her iki jeolojik kesit arasında belirgin bir farklılık bulunmamaktadır. Bu iki jeolojik kesit arasında sadece daykın geometrik konumunda bazı değişiklikler görülmektedir. Aslında daykların farklı geometrilerde ana kaya içerisine yerleştikleri düşünülürse sondaj verilerine göre hazırlanan jeolojik kesitin başarılı olduğu anlaşılmaktadır. Bu iki jeolojik kesitin birbirine benzer özellikler göstermesinde ise sondaj sayısı, derinliği, sondaj logu ve jeoloji kesitini hazırlayan kişilerin deneyimi önemli etken olmuştur.



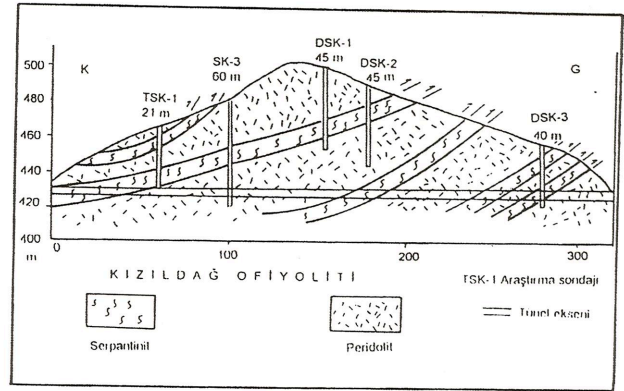
Şekil 6. İstanbul metrosu Zincirlikuyu tüneline gerçekleştirilen jeolojik kesit.



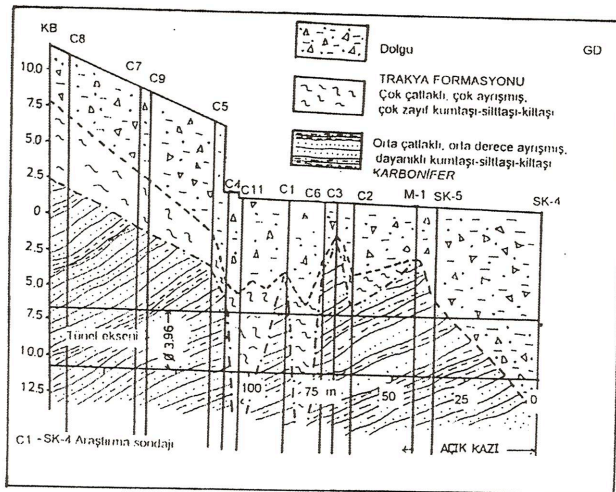
Şekil 9. Yayladağı barajı derivasyon tüneline tahmin edilen jeolojik kesit.



Şekil 7. Moda atıksu tüneline tahmin edilen jeolojik kesit (Dığış, 1990).



Şekil 10. Yayladağı barajı derivasyon tüneline yeniden düzenlenen jeolojik kesit.



Şekil 8. Moda atıksu tüneline gerçekleştirilen jeolojik kesit (Dığış, 1990).

Moda atıksu tüneli

Moda atıksu tüneline giriş şaftından indirilip kazıya başlanmasından 68 m sonra aynanın üst kısmında zayıf zemin koşullarıyla karşılaşmış ve taç kısmından akan malzeme TBM makinesini çalışamaz hale getirmiştir (Şekil 7). Makinenin birkaç metre geri çekilmesi sonucunda ise altından geçilmekte olan alanda bir göçük meydana gelmiş ve akan malzeme TBM'nin önünü tıkamıştır. İlave araştırmalar ile zemin profilinde önceleri bilinenden belirgin farklılıklar görülmüş ve beklenmedik koşullarla karşılaşmıştır.

Göçük öncesi sondaj verileri ve göçük sonrasında yapılan ayrıntılı zemin etüdü karşılaştırıldığında, tünel güzergahı çökmenin olduğu kesiminde bir fay zonunun kesilmekte olduğu anlaşılmıştır (Şekil 8). Tünelin bu kesiminde sağlam kaya kotunun dalgalanma göstermekte olması, durumun daha geniş aralıklarla yapılmış olan ihale sondajları veya sonradan yapımcı firma tarafından yapılan sondajlarla belirlenmesini imkansız kılmış, bu iki inceleme de ana kayanın derine doğru tatlı bir eğimle indiğini ve derinliğinin tünel üst kotunun en az 2 m üzerinde olduğunu göstermiş ve dolayısıyla giriş şaftından

sonra tüneller ilerledikçe kaya örtüsünün kalınlılaşacağı düşünülmüştür. Fakat karşılaşılan fay zonunda, göçtük olan yerden başlayarak yaklaşık 60 m'lik kesiminde çok ayrılmış ve parçalanmış, ezik kaya parçaları ile karşılaşmıştır. Bu olaylar ise zaman kaybına yol açarak tüneller açma yöntemini ve maliyetini etkilemiştir (Dığış, 1990).

Yayladağı barajı derivasyon tüneli

Yayladağı barajı derivasyon tüneline ait hazırlanan farklı iki jeolojik boyuna kesit Şekil 9 ve 10'da sunulmuştur. Proje aşamasında araştırma sondaj verilerine göre hazırlanan Şekil 9'daki kesitte serpantin ve peridotitler bir arada gösterilmiştir. Bu litolojiler ise kaya kütlesi özellikleri bakımından aslında farklılıklar göstermektedir. Dolayısıyla, araştırma sondaj verilerinin yanı sıra saha gözlemleri ve bölgenin genel tektoniği esas alınarak tarafımızdan Şekil 10'daki jeolojik kesit hazırlanmıştır. Bu şekil de serpantinleşmenin tektonik hatlar boyunca oluştuğu ve tektonik hatların kuzeyden güneye doğru olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, bu tektonik model araştırma sondajlarında kesilen serpantinlerin birleştirilmesi açıkça ortaya çıkmaktadır.

Sonuç ve öneriler

Sondajlardan sağlanan verilerin doğru olarak yorumlanması ve tüneller kazısı yapılmadan sorun çıkartacak alanların belirlenmesi tünellerin jeolojisinde maliyet ve zaman açısından önemli olmaktadır. Bu amaçla Bolu tüneli, İstanbul metrosu Zincirlikuyu tüneli, Moda atıksu tüneli ve Yayladağı barajına ait derivasyon tünellerinde tahmin edilen ile gerçekleşen kaya koşulları değerlendirilmiştir.

Bolu tünellerinde bölgenin tektonik rejimi ve yeterli sayıda ve derinlikte sondaj yapılmaması tahmin edilen ile gerçekleşen kaya koşullarının farklı olmasına neden olmuştur. İstanbul metrosu Zincirlikuyu tünellerinde ise tahmin edilen ile gerçekleşen kaya koşulları benzer tespit edilmiştir. Sondaj verilerine göre jeolojik kesitin doğruya yakın tespit edilmesi ise yeterli sayıda ve derinlikte sondaj yapılması ve jeoloji kesitinin doğru yorumlanması ile gerçekleştirilmiştir. Moda atıksu tünelleri girişi çevresindeki sondajların iyi yönlendirilmemesi tahmin edilen ile gerçekleşen kaya koşullarının farklı olmasına neden olmuştur. Yayladağı barajı derivasyon tünellerinde de serpantinleşmenin kökeni ve dolayısıyla bölgenin tektoniği değişik aşamalarda tahmin edilen jeolojik kesitlerin, farklı olmasını sağlamıştır.

Tünellerin jeolojik kesiti hazırlarken, başlıca güzergah ve çevresini etkileyen tektonizmanın mutlaka değerlendirilmeye alınması gerekmektedir. Ancak bu durumlarda sondaj verilerine göre tahmin edilen jeolojik kesitlerin doğruluk derecesi artmaktadır.

Katkı Belirtme

Yazar, bu çalışmaya veri sağlayan Anadolu Otoyolu Gümüşova-Gerede yapımçı firması Astaldi SPA ve Kontrol Yüksel Rendel'e, İstanbul metrosunda kontrol firması Yüksel Proje'ye ve yapımçı Tekfen Metro İnşaat Grubuna, DSİ 63. Şube Müdürlüğü ve Yayladağı barajı inşaatını gerçekleştiren Uğur İnş. Tic. San. Ltd. Şti. çalışanlarına teşekkürlerini sunar.

Değerilen Belgeler

- Biberoğlu, S., Dalgıç, S., 1996, İstanbul metrosu kazılarında karşılaşılan fay zonlarının kazı duraylılığına etkisi, Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Altıncı Kongresi, s. 316-324, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.
- Dalgıç, S., 1994 a, Anadolu Otoyolu Bolu dağı geçişinin mühendislik jeolojisi; İÜ Fen Bilimleri Enstitüsü; Doktora Tezi, 213 s. (yayınlanmamış).
- Dalgıç, S., 1994 b, Anadolu Otoyolu Bolu dağı geçişinin mühendislik jeolojisi, Türkiye Jeoloji Kurultayı Bülteni, sayı 9, s. 393-397.
- Dalgıç, S., Gözübol, A., 1995, Bolu Otoyol tünellerinde stabilize problemleri, Yerbilimleri Geosound, sayı 27, s. 73-80.
- Dalgıç, S., Gözübol, A., M., 1996, Bolu Otoyol tünellerinde sıkışan kayalar, 3. Ulusal Kaya Mekaniği Sempozyumu Bildiriler Kitabı, s. 25-33, Ankara.
- Dığış, A., 1990, İstanbul Moda atıksu tünellerinin mühendislik jeolojisi, İÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 54 s. (yayınlanmamış).
- İstanbul rail/tunnel consultants konsorsiyumu (IRTC), 1988, Boğaz demiryolu tünelleri geçişi ve İstanbul metrosu fizibilite etütleri ve avan projeleri, Türkiye Cumhuriyeti Ulaştırma Bakanlığı Demiryolları, Limanlar ve Hava Meydanları İnşaatı Genel Müdürlüğü.
- Kleberger, J., 1992, Anadolu Otoyolu Gümüşova-Gerede kısım 2 nihai proje jeolojik raporu, No: 2034. Karayolları Genel Müdürlüğü.
- Köksal, D., Atik, İ., Şimşek, S., 1996, İstanbul metrosu Zincirlikuyu tünelleri üzerine bir değerlendirme, 3. Ulusal Kaya Mekaniği Sempozyumu Bildiriler Kitabı, s. 15-24, Ankara.