

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, yeraltısuyu durumu, karotların laboratuvarında değerlendirilmesi ve kuyu içi testler gibi veriler, tünellerin projelendirilmesine önemli katkı 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 karmaşıklık düzeyi, yüzey saha verilerinin kıtlığı, 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.

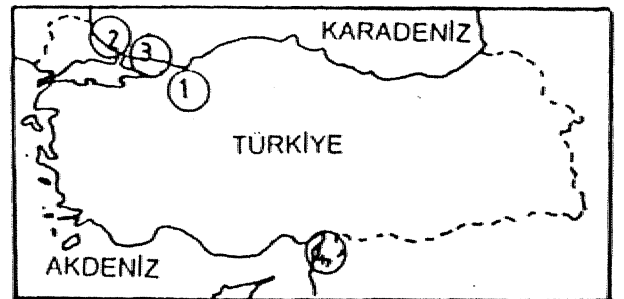
Bu amaçla ülkemizde inşaa edilen Bolu tünelinin bir kısmı, İstanbul metrosu Zincirlikuyu tüneli, Moda atıksu tüneli ve

Hatay Yayladağı barajı derivasyon tüneline ait hazırlanan tünel jeoloji kesitleri, araştırma sondajları ile tünel içi gözlenen verilerinden yararlanılarak karşılaştırılmıştır (Şekil 1)... Bu incelemeler¹ 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 tüneldir. 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 durumunda yatay açıldığı 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 tip için yaklaşık 3236 m ve sol tip için yaklaşık 3287 m olacaktır... Tünellerin Asarsuyu girişinden itibaren yaklaşık 950 m'si Elmalı girişinden itibaren ise 300 m'si kazılmış durumdadır.

İstanbul metrosu 1. aşama kazısı Taksimden başlayarak büyük bir bölümü Cumhuriyet-Halaskargazi ve Büyükdere caddesine koşut ve yer yer¹ 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 1991 Jeoloji Mühendisliği ve Sondaj Uygulaması Sempozyumunda bildiri olarak sunulmuştur.

ortalama 22 metre altodan, geçmektedir, istanbul metrosunun 1. aşama 7040 m/lik hat boyu ile Taksim-4. Levent arasında yapımı sinmektedir. Bu çalışmaya konu olan, Zincirlikuyu tüneli, ise Şişli-4 Levent arasında, yer almakta ve \$80 m uzunluktadır.

Moda, atıksu tüneli. İstanbul kanalizasyon projesinin bir parçası olarak, istanbul'un Kadıköy ilçesinde istanbul Su ve Kanalizasyon idaresi. (TSKt) adına, inşa 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 Kızılçölü deresinin, birleştiği alanda inşa edilmektedir. Yayladağı barajı kaya dolgu tipinde, temelden 47,40 m., talvegten 44,40 m., yükseklikte, kret uzunluğu 191 m., dolgu hacmi 36000 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 karouann yorumlanmasında, tünel güzergahı ve çevresinin jeolojik özellikleri önemli olmaktadır. Bu amaçla incelemeye konu olan tünellerin jeolojik özellikleri aşağıda tanıtılmıştır.

Bolu tünelinin jeolojisi

Bole. tünel gtaergahındaki en yaşlı, birim Asar' suyu girişinden itibaren, metamorfik kayalardan oluşan Yedigöller Formasyonudur. Bu formasyonun üstünde, tektonik dokanakla, Devonyen yaşlı metamorfik istiften oluşan İkizoluk formasyonu ile bu birimleri kesen intrüzyif granit ve Ost Kreta-seiden Üst Eosen'e kadar- çeşitli sedimanter kayalar bulunmaktadır. Tünel güzergahı paleotektonik dönemdeki bindirmelerin ve raotektonik dönemdeki Kuzey Anadolu. Fay zonu nun varlığından dolayı önemli ölçüde ezik zonlar içerisinden geçmektedir (Dalgıç* 1994 a).. Bu çalışmada ise tünelinin Yedigöller ile İkizoluk Formasyonu arasındaki tektonik dokanak zonu incelenmiştir.

İstanbul metrosu Zincirlikuyu tünelinin jeolojisi

istanbul metrosu 1. aşama kazısı Taksim-4. Levent arasında temel, kayayı Zincirlikuyu tüneline olduğu gibi Karbonifer'e ait Trakya formasyonu, oluşturur, Trakya, Formasyonu başlıca ardalanacı kumlası, siltaşı ve kütaşı düzeylerinden oluşur. Farklı litolojiler arasında, yatay ve dişey geçişler olağandır. Trakya formasyonunu kesen çok sayıda andezit,, diyabaz ve mikrogahro daykkui da talunm^aktadır... Daykıarm genişliği bkkaç metfe 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 istanbul Metrosunun 1. aşama kazısında olduğu, gibi. Karbonifer yaşlı Trakya formasyonuna ait ardalarını ab, değişik jeomekanik. özelliklere sahip kumlası» silttap ve 'kütaşı bulunmaktadır. Bu. litolojilerin ist.kesimlerinin ise yaygın, olarak suni dolgu y er almaktadır.

Yayladağı barajı derivasyon tünelinin jeolojisi

Yayladağı barajı derivasyon tüneli Kızıldağ ofiyolitine ait peridotit ve serpantin.it içerisinde projelendkümüşt. Tünel ekseninde, peridotit grubu kayalardan harzbarjiüer diğer kayalara göre daha fazla bulunmaktadır. HarzburjitJer ^rpantinleşmenin az olduğu, kesimlerde genellikle yeşilimsi siyah renklidir.. Ortopirokseolerm bastideştiği kesimlerde gttmiş parlaklığı gösteren açık sarımsı, açık yeşilimsi renklerde benekler içeren bir görünüm sunarlar. Baraj yerinden alman bazı örneklerde: harzburjitlerde olivin kristallerinin artmasıyla duniüere, İdinopükseolerm artmaya, başlamasıyla lerzolitlere geçişler de bulunmaktadır. Peridotitler içerisinde tektonik dokamakla yeralan serpantinitler, drenaj tünelineki diğer önemli litolojiyi oluşturmaktadır. SerpantinMer yeşilimsi gri, içerisinde peridotit çakılan ve blokları kapsamaktadır.

Tünellerde sondaj uygulamaları

Bole. tüneli, istanbul metrosu ZmcMikuyu tüneli, Moda atıksu tüneli ve Yayladağı barajı, derivasyon tüneline de sondaj çalışmaları yapılmıştır.

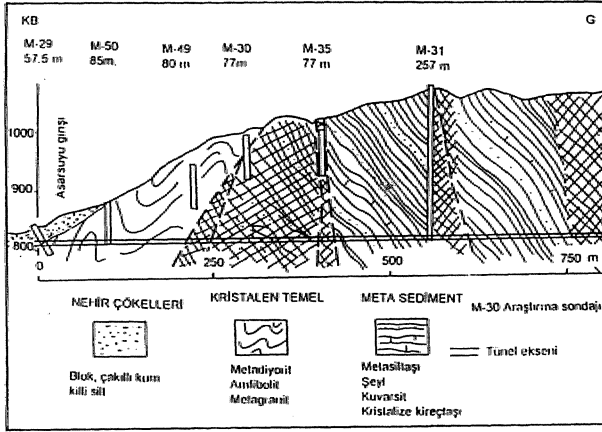
Bolu tüneline sondaj uygulamaları

Anadolu otoyolu Bolu tüneline de 33 sondaj çalışması yapılmıştır. Bu sondajların, fok kısmı tünel kotuna kadar inmiş fok kısmı, ise korelasyon amaçlı sıg derinlikte projelendmlrmşt. Bolu tüneline fon çalışmaya konu olan kesimi içerisinde ise 6 sondaj çalışması bulunmaktadır. Bu sondajların derinliği 57.5 ile 257' m arasında, değişmektedir., istanbul metrosu Zincirlikuyu tüneline sondaj uygulamaları

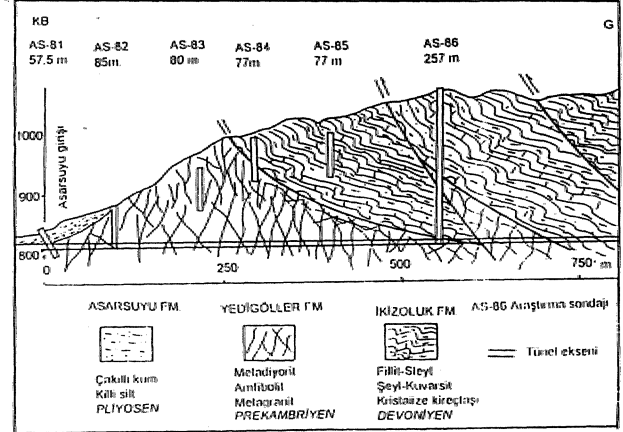
istanbul tüp tüneli ve metro güzergahındaki 60 tane genel güzergah araştırma sondajı gerçekleştirilmiştir. Sondajların denetimi bu makalenin yazarının da içinde bulunduğu İstanbul Demiryolu Tünel Konsorsiyumu (IRTC, 1988) mühendisleri tarafından yapılmıştır. Bu sondajlarda litoloji, yapısal unsurlar ve yeraltısuyu durumu, hakkında bilgiler elde edilmiştir.. Ayrıca, bu sondajlarda, metro güzergahındaki zemin ve kayaların jeoteknik özelliklerini öğrenmek amacıyla laboratuvar örnekleri için. örnek alımı ve koyu 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, istanbul metrosu. Zincirlikuyu tta.ellerin.de ise genel güzergah arastama sondajlarından 5' tanesi bulunmaktadır. Bu alandaki sondajların derinliği ise 24.75 ile 30.75 m- arasında değişmektedir.

Moda tüneline sondaj uygulamaları

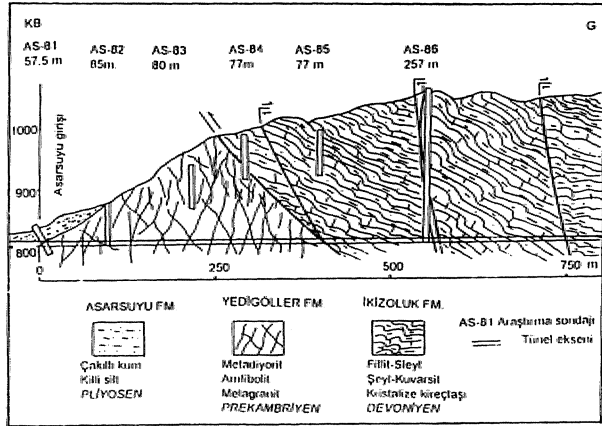
Moda atıksu tüneli güzergahı, ve dolayının dolgu ve yerleşim nedeniyle 'tamamen kapalı, obuası, mostralarmm ancak sınırlı sayıda küçük yaralarda veya inşaat çukurlarında görülebilmesi.» bölgenin mühendislik jeolojisinin araştırma sondajlarından elde edilen yeraltı verileriyle değerlendirilmesini gerektirmiştir.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



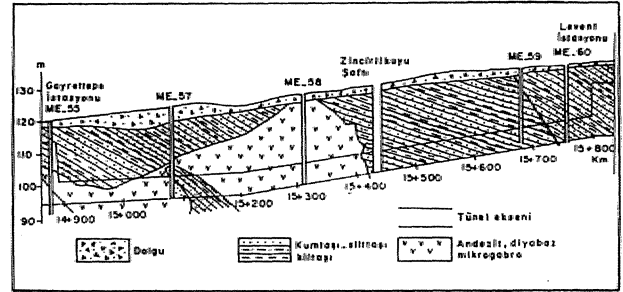
Şekil 2. Bolu tüneline tahmin edilen jeolojik kesit (Kleberger, 1992).



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



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



Şekil 5. İstanbul metrosu Zincirlikuyu tüneline tahmin edilen jeolojik kesit (IRTÇmS).

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

Tahmin edilen ile saptanan jeolojik koşullar

Araştırma sondajı verilerine göre tahmin edilen ile: saptanan kaya koşulları .incelemeye kona olan tünellerde aşağıda sunulmuştur.

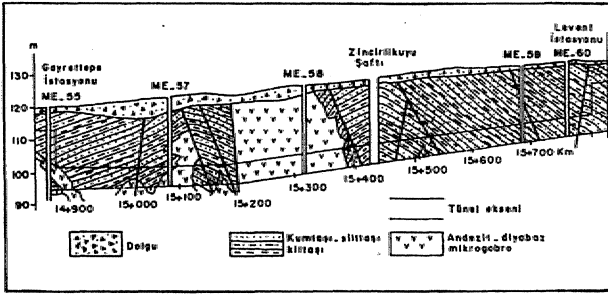
Bole tüneli

Bolu tünelinin bir- kısmına, 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 tünelinin bir kısmı için hazırlanan. Şekil 2'n.in diğer iki kesitten oldukça, farklı ha-

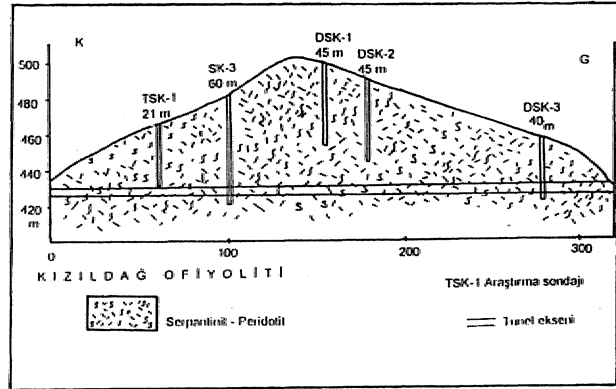
zırlanma» ise bölgenin tektoniğimin değerlendirilmesi ile ilgili olmuştur¹. Nitekim* Şekil 2'ye göre hazırlanan proje de bindirme faylarının karşılaşılması ile proje değişikliğine gidilmesine gerek duyulmuştur. Bu olay Bole tünelinin yaklaşık bir yıl gecikmesine neden olmuş ve olay beklenilmeyen jeolojik 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

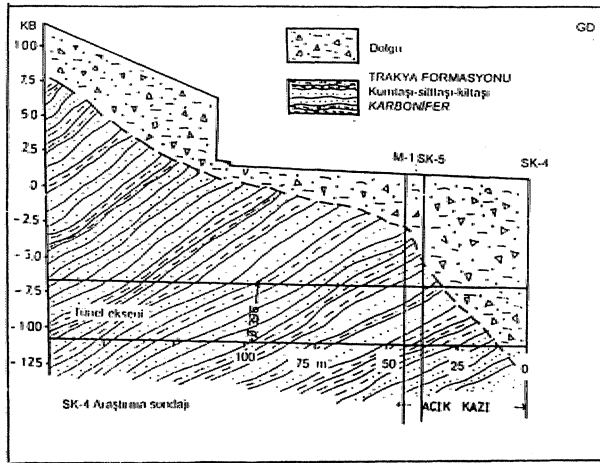
İstanbul metrosu Ziocirlikuyu tüneline bir dayk kütlesinin varlığı yapılan .araştırma sondaj verilerine göre ortaya çıkartılmıştır (IRTÇ, 1988), (Şekil 5). Tünel içinde tarafımızdan yapılan gözlem, ve Koksall vd., (1996) verilerinden, yararlanarak hazırlanan jeolojik kesit (Şekil. 6)'da sunulmuştur. 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 dayklann farklı geometrielerde ana kaya içerisine yerleştikleri düşünülürse sondaj verilerine göre hazırlanan jeoloji kesitinin başarılı olduğu anlaşılmaktadır. Bu iki jeolojik kesitin birbirine- benzer özellikler göstermesinde ise sondaj sayısı, derinliği, sondaj loğu ve jeoloji kesitini hazırlayan kişilerin deneyimi önemli etken olmuştur...



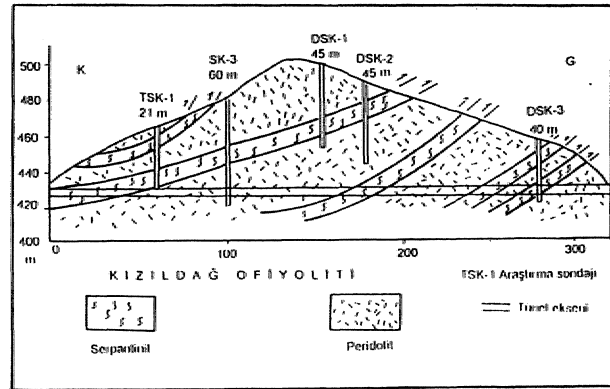
Şekil 6. İstanbul metrosu Zincirlikuyu tüneline gerçekleştirilen jeolojik kesit.



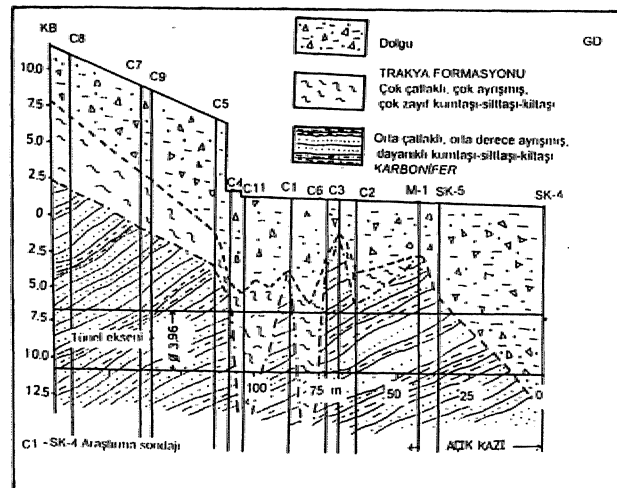
Şekil 9. Yayladağı barajı derivasyon tüneline tahmin edilen jeolojik kesit.



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



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



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

Moda atıksu tüneli

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

Göçük öncesi sondaj verileri, ve göçük sonrasında, yapılan ayrıntılı zemin etdiykarıştırdığımda, 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 kılınmış., bu iki inceleme de ana kayanın derece doğru tatlı bir eğimle indiğini ve derinliğinin tünel üst kotunun en az 2. m üzerinde olduğunu göstermiş ve dolayısıyla giriş şaftından

sonra tümel ilerledikçe kaya örtüsünün, kâhnlşacağı 'düşünülmüştür. Fakat karşılaşılan fay zonanda..., göçük olan yerden başlayarak yaklaşık. 60 m'lik kesimio.de -çok ayrılmış ve parçalanmış , ezik. kay a. parçalan, ile karşılaşılmıştır. Bu olaylar' ise. zaman kaybına yol açarak tünel açma yöntemini ve maliyetini et-Mlemıştk (Dığış, 1990)..

Yayladağı barajı, derivasyon timelf

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 Mr .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'dald jeolojik, kesit hazırlanmıştır. Bu şekil de serpanmleşmenin tektonik..hatlar boyunca oluştuğu ve tektonik hatların, kuzeyden güneye doğru olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, bu tektonik, model, araştırma sondajlarında kesilen serpaotinitleirin birleştirilmesi açıkça ortaya çıkmaktadır.

Sonuç ve öneriler -

Sondajlardan sağlanan verilerin doğru, olarak yorumlanması ve tünel kazısı yapılmadan soran, çıkartacak .alanların belirlenmesi tünel jpolojis.in.de. maliyet ve zaman açısından önemli, olmaktadır.. Bu .amaçla Bolu tünel., İstanbul metrosu Zincirlikuyu tüneli, Moda. atıksu tüneli ve Yayladağı barajına ait derivasyon tüneline tahmin, edilen ile gerçekleşen kaya koşullan değerlendirilmiştir.

Bolu tüneline bölgenin tektonik rejimi ve yeterli sayıda ve derinlikte- sondaj yapılmaması tahmin edilen ile gerçekleşen kaya koşullarının farklı olmasına neden olmuştur, istanbul metrosu ZincirHkuyu tüneline ise tahmin edilen ile gerçekleşen kaya koşulları benzer tespit edilmiştir.. Sondaj verilerine göre jeolojik, kesitin, doğruya yakın tespit edilmesi ise yeterli sayıda, ve. derinlikte, sondajı yapılması ve jeoloji kesitinin doğru, yorumlanması ile gerçekleştirilmiştir. Moda atıksu tüneli girişi çevresindeki sondajların iyi yönLendirilmemesi tahmin, edilen ili gerçekleşen kaya koşullarının farklı olmasına neden olmuştur. Yayladağı barajı derivasyon tüneline de serpanmleşmenin kökeni ve dolayısıyla bölgenin tektoniği değişik aşamalarda tahmin edilen jeolojik, kesitlerin» fatMı olmasını sağlamıştır.

Tünel, jeoloji kesiti hazırlarken, başlıca güzergah ve çevresini etkileyen tektonizmanuı mutlaka, değerlendirmeye alınması gerekmektedir. Ancak bu. durumlarda sondaj verilerine göre tahmin, edilen jeolojik kesiflerin 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. Tie. San.. Ltd. Şti, çalışanlarına teşekkürlerini sunar.

Değınilen Belgeler

- Biberoglu, S., Dalgıç, S., 1996, istanbul metrosu kazılarında karşılaşılan fay zonlarının kazı daraylılığına etkisi, Zemin Mekaniği ve: Temel Mühendisliği Altıncı Kongresi,, s. 316-324» Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.
- Dalgıç, S., 1994 a, Anadolu 'Otoyolu Bolu dağı gec.Isi.mii mühendislik jeolojisi; İÜ' Fen Bilimleri Enstitüsü; Doktora Tezi, 213 s. {yayınlanmamış}.
- Dalgıç S., 1994 b, Anadolu Otoyolu Bolu. dağı geçişinin 'mühendislik jeolojisi,, Tilkiye Jeoloji Kurultayı Bülteni, sayı 9, s. 393-397.
- Dalgıç» S., Gozu.bol., A., 1995., Bolu. 'Otoyol tüneline stabilite problemleri, Yerbilimleri GeosouicS., sayı 27, s, 73-80.
- Dalgıç, S., Gözüboi, A., M» 1996, Bolu Otoyol tüneline sıkışan kayalar» 3. Ulusal Kaya Mekaniği Sempozyumu Bil.dirilefKi.tabi., s. 25-33, Ankara
- Dığış., A., 1990, İstanbul Moda atıksu tüneline mühendislik jeolojisi, İÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek lisans Tezi, 54 s. (yayınlanmamış).
- İstanbul rail/tunnel consultant konsorsiyumu (IETC), 1988, Boğazdemiryolu tüneli 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 kisan 2 nihai proje jeolojik lapocu, No: 2034. Karayolları Genel Müdürlüğü.
- Koksall» D., Atik, !.. Şimşek» S., 1996, İstanbul metrosu Zincirlikuyu tünelleri üzerine bir değerlendirme, 3. Ulusal Kaya Mekaniği • Sempozyumla Bildiriler Kitabı, s. 15-24, Ankara.