

TÜNEL İNŞAATLARINDA KARŞILAŞILABİLEN BAZI SORUNLAR

Arş. Gör. İnş. Yük. Müh. Hasan Tahsin ÖZTÜRK

Arş. Gör. İnş. Yük. Müh. Ayşegül DURMUŞ - Prof. Dr. Ing. Ahmet DURMUŞ
KTÜ İnşaat Mühendisliği Bölümü

ÖZET

Bayındırlık yapılarının bir sınıfını teşkil eden tüneller başta ulaşım olmak üzere, savunma, sığınma, iletim ve depolama gibi birçok amaçla inşa edilmektedir. Bu yapıların zeminle olan karmaşık etkileşimleri nedeniyle yerüstü yapılarında bulunmayan bazı önemli sorunlarla karşılaşmaktadır. Bu makalede tünellerin inşasında karşılaşılabilen; yapım esnasında su çıkması, kaplamalara tabakalı zeminlerden aşırı basınç gerilmelerinin, antiklinal ve senklinalerde ise farklı basınç gerilmelerinin etkimesi, yamaç tünellerinde stabilitenin bozulması, tünel güzergâhındaki zeminde kırıkların bulunması, inşaat esnasında kaya patlaması, derin tünellerde sıcaklık artışı, yeraltı gazlarının etkisi, asfalt yol kaplamasının yangınlardan etkilenmesi, aydınlatma ve patlatma gibi sorunlar üzerinde durulmakta ve konuyla ilgili bazı öneriler getirilmektedir.

1. Giriş

Şehirlerin büyümesi, nüfus artışı gibi nedenlerle günümüzde yeraltı yapılarının kullanılması giderek yaygınlaşmaktadır. Bu yapıların bir sınıfını oluşturan tüneller de başta ulaşım olmak üzere savunma, sığınma, iletim ve depolama gibi birçok amaçla inşa edilmektedir (Öztürk ve Durmuş, 2008). Özellikle dağlık bölgelerde planlanan çeşitli karayolu projelerinde, yüksek

standartlı yolların yapılması için, tünellerin sıkça başvurulan bayındırlık yapıları olduğu da bir gerçektir. Günümüz koşulları bundan böyle özellikle Türkiye’de yaygın olarak inşa edilen ulaşım tünelleri yanında savunma amaçlı tünellerin yapımına da daha çok önem verilmesi gerektiğini düşündürmektedir.

Gerekli durumlarda başvurulan bu yapıların tasarımları, yapısı çok karmaşık olan zeminle özel etkileşimlerinden dolayı diğer yapılara göre daha fazla disiplin mensubu teknik elemanların, teknik literatürde mevcut tasarım yöntemlerinden ülke ekonomisiyle bağdaşan bir emniyeti sağlama yönünden en uygun olanını seçerek birlikte çalışmalarını gerektirmektedir. Zira tünel inşasında karşılaşılabilecek sorunlara ancak bu şekilde uygun çözümler bulunabileceği açıktır.

Bu makalenin temel amacı; tünellerin inşasında karşılaşılabilen bazı sorunları olabildiğince toplu halde sunmak ve bu konuda bazı öneriler getirmektir.

2. Tünel İnşaatlarına İlişkin Bazı Sorunlar

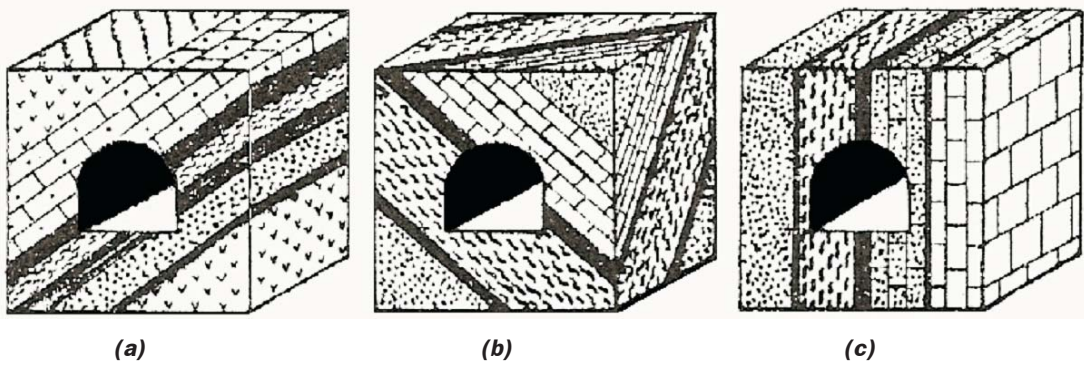
2.1. Su Çıkması

Tünel açımı ile yeraltı suları; duvar ve tavandan sızıntı şeklinde, bazen sürekli bir akıntı, bazen de yüksek basınç altında fışkırarak tünel içine

doğru akmakta ve bu sular tünel açma işlemlerinin zorlaşmasına, zeminde ise şişme, kabarma gibi olaylara neden olmaktadır. Su gelişinin öngörülenden fazla olduğu ya da çok miktarda basınçlı su çıkışının beklendiği tünellerde en önemli sorun bu tünellerde eğim yönünde çalışmaktır. Bu durum özel ve pahalı pompalama çalışmalarını gerektirmektedir. Zira ayna önünde biriken su özellikle zayıf kesimde ve faylı bölgelerde tünel stabilitesini bozabilecek ölçüde temel zeminini yumuşatmaktadır. Bu gibi koşullarda su etkisi, zemin basıncıyla birleşince beklenmedik göçüklere de neden olabilmektedir. Diğer taraftan söz konusu sular tünelin beton kaplaması üzerinde kemirici etkileri olan, Kalsiyum Sülfat ($CaSO_4$), Sodyum Sülfat (Na_2SO_4), Magnezyum Sülfat ($MgSO_4$) gibi tuzları ya da Hidrojen Sülfür (H_2S) gibi asitleri de bünyelerinde taşıyabilmektedirler (Oymael ve Durmuş, 2006; Öztürk, 2007).

2.2. Tabakalı Zeminlerin Kaplamalardaki Basınç Gerilmelerini Artırması

Tünelin inşa edileceği zeminin tabakalanma şekli, tünel kaplamasına etkileyen basınç gerilmelerini arttırmaktadır. Gerçekten tünel güzergâh zeminindeki tabakalanma **Şekil 1a** ve **Şekil 1b**'deki gibi ise zemin basıncı tünelin yan duvarlarında **Şekil 1c**'deki gibi ise bu gerilmeler tünel tavanında yoğunlaşmaktadır.



Şekil 1. Zemin basıncının tünel yan duvarlarında (a,b) ve tünel tavanında (c) yoğunlaşmasına ilişkin zemin tabakalanma durumları

2.3. Kaplamalara Antiklinal ve Senklinallerde Farklı Basınç Gerilmelerinin Etkimesi

Kıvrımlı bir zeminde tünel açımı esnasında karşılaşılan antiklinal ya da senklinaler tünel kaplaması üzerine farklı basınçların gelmesine neden olmaktadır. **Şekil 2**'de antiklinal ve senklinal eksenlerini dik olarak kesen bir tünel görülmektedir. Böyle bir zeminde açılan tünelde tabaka eğimlerinin tünelin ilerleme yönünde olması emniyet bakımından en uygun durum olmakta, tabaka eğimlerinin tünelin giriş kısmına doğru olduğu kesimlerde patlatmayla ilerleme daha kolay olmakla birlikte buralarda tabaka düzlemleri boyunca tünel içine doğru blok kaymalarının meydana gelme ihtimali yükselmektedir.

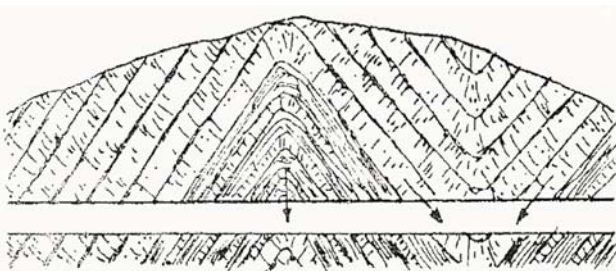
Tünelin antiklinal eksenini dik olarak kestiği yerde üzerine gelen düşey basınç daha az, buna karşılık tünel giriş ve çıkışlarında yatay basınç daha fazla olmaktadır. Diğer önemli bir sorun da, antiklinalin ekseninde tabakaların aşağıya doğru genişleyen yukarı doğru daralan kamalanmaları aşırı sökülmele ya da kaya bloklarının düşmesine neden olması ve böylece kazıyı engellemesidir. Bu tür kaya düşmelerinin kayada mevcut kırık yoğunluğuna bağlı olarak artacağı açıktır. Senklinal eksenini dik doğrultuda kesen bir tünel durumunda ise koşulların diğerinin tam tersi olacağını belirlemeye gerek yoktur (**Şekil 2**).

Tünelin senklinal eksenini boyunca açılması durumunda blokların tabaka düzlemleri boyunca tünel

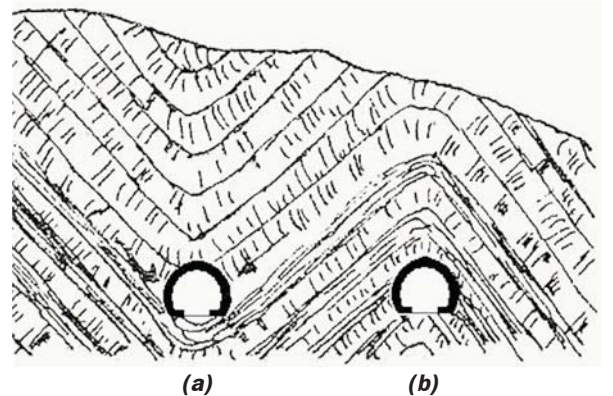
içine doğru kaymaları, yeraltı sularının ise tünel içine toplanma ihtimali artmaktadır (**Şekil 3a**). Tünelin antiklinal eksenine paralel olması durumunda (**Şekil 3b**) kemerleşmeden dolayı, hafif eğimli tabakalar kaya basıncını azaltmakla birlikte bu durumda kazının yapılması oldukça zorlaşmaktadır.

2.4. Yamaç Tünellerinde Stabilitenin Bozulması

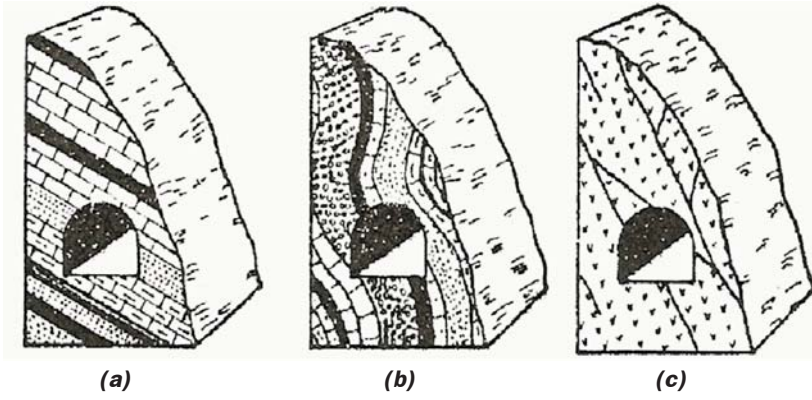
Tünelin yamaçlara yakın olarak açılması durumunda tabakanın yamaça doğru yönelimi stabilitenin bozulmasına neden olan en önemli etkidir. Gerçekten tabaka doğrultusunun, yamaç eğimiyle aynı olması durumunda (**Şekil 4a**) yamaç stabilitesinin tehlikeye düşme ihtimali yükselmektedir. Ancak tabakalarda kıvrımların



Şekil 2. Antiklinal ve senklinal eksenini dik olarak kesen bir tünel boy kesiti (Szechy, 1970)



Şekil 3. Senklinal (a) ve antiklinal (b) eksenini boyunca açılan tünel enkesiti örnekleri (Szechy, 1970)



Şekil 4. Yamaç eğiminin zemin tabakalanmasıyla aynı doğrultuda olduğu (a), kıvrımlı tabakalanma (b) ve çatlaklı zemin örtüsü (c) durumlarında yamaç stabilitesinin bozulmasına ilişkin örnekler.

bulunması durumunda (**Şekil 4b**) kayma dayanımının artması doğaldır. Yamaçtaki zemin örtüsünün çatlaklı ve kırıklı olması durumunda boşluk suyu basıncının üzerindeki örtüyü kaldırarak bu nedenle boşalmaya çalışması da tünel stabilitesinin bozulmasına önemli rol oynamaktadır (**Şekil 4c**).

2.5. Güzergâh Zemininde Kırıkların Bulunması

Yerkabuğundaki fayların kayaçların davranışını etkilediği açıktır. Bu nedenle tünel güzergâhındaki faylar önceden ayrıntılı olarak araştırılmalı, bunların aktif olup olmadığı, eğim ve doğrultuları, açılacak tünele etkileri, genişlikleri ve dolgu malzemesinin cinsi gibi özellikleri belirlenmelidir. Fay aktif olsun ya da olmasın, bu bölgedeki kayaçların örselenmiş olması davranışlarının kayaçtan daha çok yumuşak zemine benzemesine neden olmakta ve bunlar açım esnasında akararak tünel stabilitesini bozulabilmektedir. Diğer taraftan bu faylar bazen kil ile dolu da olabilmekte, bu durumda kil su alarak şişmekte ve daha yapım esnasında tünel iksasının yerdeğiştirmesine hatta göçmesine dahi neden olabilmektedir. Durum böyle olunca aktif fayları kesen

tünel güzergâhları değiştirilmeli, ya da mümkün olduğu takdirde güzergâhın bu kısmı açık yarma ile geçilmelidir (Arioğlu ve Yılmaz, 2006).

2.6. Yapım Esnasında Kaya Patlaması

Doğada özellikle derinde bulunan kayaçların bünyesinde, öz ağırlıkları ve üzerindeki kütle ağırlığından dolayı önemli doğal gerilmeler oluşmaktadır. Bu gerilmeler, genellikle kayaçların yer ve şekildeğiştirmelerine neden olabilmektedir. Hareketi sınırlanmış kayaçlarda sözkonusu gerilmeler daha çok artmakta ve böylece basınç dayanımı yüksek gevrek kayaçlarda açılan tünellerin tavan ve duvarlarında patlamayla ani kırılmalar meydana gelebilmektedir (Bickel ve diğ., 1996).

2.7. Derinlikle Artan Sıcaklık Etkisi

Tünellerin kazısı sırasında karşılaşılan önemli sorunlardan birisi sıcaklık artışıdır. Bu artış özellikle 200m'den daha derinde açılan tünellerde önemli bir sorun olabilmektedir. Zira yeryüzünden derinlere inildikçe her 33m'de bir sıcaklığın yaklaşık 1°C arttığı ve bu artışın volkanik bölgelerde 13m'de

1°C'ye kadar yükseldiği bilinmektedir. (Öztürk, 2007)

2.8. Yeraltı Gazlarının Etkisi

Tünel açımı esnasında çalışanların hayatını tehlikeye sokabilecek gazlarla da karşılaşabilmektedir. Volkanik alanlar, sıcak kaynak ve petrol bölgeleri civarındaki tünel yapımlarında genellikle patlayıcı özelliği olan metan (CH_4), çok zehirli olan karbonmonoksit (CO) ve betona etki eden hidrojen sülfür (H_2S) ile kükürtdioksit (SO_2) gibi gazlara rastlanmaktadır (Öztürk, 2007; Genç, 1983).

Bunlardan zarar görmemek için düzenli akan gaz girişlerini betonla kapatmak bir önlem olabilmektedir. Bu önlemin yeterli olmaması durumunda gazların ve kazı sırasında oluşan tozun dışarı atılması için, yeterli bir havalandırma sistemi oluşturulması ve böylece tünel içinde gaz ve toz yoğunluğunun çalışanların sağlığına zarar vermeyecek düzeye indirilmesi kaçınılmaz olmaktadır (Öztürk, 2007; Kolymbas, 2005).

2.9. Asfalt Yol Kaplamasının Muhtemel Yangınlardan Etkilenmesi

Uzunluğundan bağımsız olarak birçok tünelde asfalt yol kaplaması kullanıldığı bilinmektedir. Bu kaplamalar tünellerde meydana gelen kazalardan dolayı çıkan yangınlardan önemli derecede etkilenmektedir. Zira yangın sonucu tünel içinde oluşan sıcaklığın 500 °C'ye ulaşmasıyla asfalt kaplama kolaylıkla alev alabilmektedir. Yanan kaplama sonucu tünel içindeki sıcaklık çok daha fazla artmakta ve buna meydana gelen duman da eklenince büyük facialar oluşabilmektedir. Örneğin teknik literatürden Fransa - İtalya arasındaki Mont-Blanc karayolu tüneline meydana gelen kaza

sonucu çıkan yangında 39 kişinin hayatını kaybettiği bilinmektedir (Karakule, 2006).

Burada bu tür faciaların önlenmesi için tünel içindeki asfalt yol kaplaması yerine daha güvenli olan beton kaplamaları kullanılmasının uygun olacağı, aksi halde çıkabilecek yangınların tünel kaplamalarının dayanımını da önemli derecede düşüreceği de belirtilmelidir (Burnaz ve Durmuş, 2006).

2.10. Aydınlatma Sorunları

Türkiye’de ne yazık ki aydınlatması yetersiz ve aydınlatması hiç olmayan karanlık tünellere de rastlanmaktadır. Örneğin Trabzon-Gümüşhane arasındaki bir kısım tünelde yeterli aydınlatmanın bulunmadığı süreler içinde özellikle kış aylarında sürücülerin karanlık ortamda oluşmuş buzlanmayı fark edememeleri nedeniyle birçok kazanın meydana geldiği basınımda sıkça gündeme getirilen bir gerçektir. (Demokrat Gümüşhane, 2007).

Burada tünellerin aydınlatmasıyla ilgili daha ayrıntılı bilgi için (Bickel ve diğ., 1996; İzbek, 2006; Akbulut, 2006) kaynaklarına başvurulabileceği belirtilmelidir.

2.11. Patlatma Sorunları

Patlatma ile açılan tünellerde karşılaşılan en önemli sorun gereğinden fazla sökülmedir. Bu durum; kayacın cinsine, ayrışma derecesine, süreksizliklerine, tabakalanma durumlarına, tünel çapına, kullanılan patlayıcıya, iksa şekline, iksa ile patlayıcı arasındaki mesafe gibi etkenlere bağlı olduğu bilinmektedir (Öztürk, 2007). Fazla sökülmeyi engelleyebilmek amacıyla 1m³ kayacı sökmek için gerekli olan patlayıcı madde

miktarının doğru olarak belirlenmesi zorunlu olmaktadır. Bu miktarın ise; patlayıcı madde cinsini, galeri kesitini, zemin özelliklerini dikkate almak suretiyle hesaplanması gerekmektedir. Bu konuda daha fazla bilgi Natm (1997) ve Kaya (1983) kaynaklarında mevcuttur.

3. Sonuç

Bu makalede tünel inşaatlarında rastlanabilen bazı sorunlar üzerinde durulmuş, çözümleri için birtakım öneriler yapılmış, bu sorunlarla karşılaşmamak ve karşılaşılanların da çözümü için yapımdan önce tasarım aşamasında tünel güzergâhında gerekli tüm incelemelerin özenle yapılması gerektiği vurgulanmıştır.

4. Kaynaklar

Akbulut A., 2006. Tünel Aydınlatması, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul

Arioğlu E. ve Yılmaz A.O., 2006, Tünel/Galerilerin Sismik Analizi, Maden Mühendisleri Odası Yayını No: 111, İstanbul, 312 s.

Bickel J.O., Kuesel T.R. ve Elwyn H.K., 1996, Tunnel Engineering Handbook, Chapman & Hall Inc., Newyork, 544 s.

Burnaz O. ve Durmuş A., 2006. Betonarme Yapı Elemanlarının kavlamayı Dikkate alan Yangın Tasarımı, Yedinci Uluslararası İnşaat Mühendisliğinde Gelişmeler Kongresi, 11-13 Ekim 2006, İstanbul.

Demokrat Gümüşhane, 2007. Çarşamba günleri çıkar tarafsız gazete, sayı 4019, yıl 55, 14 Şubat 2007.

Genç D., 1983. Tünel Açımı

Esnasında Karşılaşılan Jeolojik Sorunlar, Tünelcilik Semineri, Ankara, Bildiriler Kitabı, 143-163

İzbek K.K., 2006, Tünel Aydınlatma Tekniği, Ege Üniversitesi Basımevi, İzmir, 273 s.

Kaya H., 1983. Patlayıcı Maddelerin Tanımlanması Ve Tünellerde Patlayıcı Maddelerin Optimumda Kullanılması, Tünelcilik Semineri, Ankara, Bildiriler Kitabı, 85-142

Karakule F., 2006. Tünellerde Beton Yol kaplaması Tercih edilmeli, Dünya inşaat dergisi, Mayıs, 30

Kolymbas D., 2005. Tunneling and Tunnel Mechanics, Springer, Germany, 437 p.

Natm, 1995. New Austrian Tunneling Method Summer Course, University of Technology, Vienne, 90 p.

Oymael S. ve Durmuş A., Effect of Sulphates on Elastic Modulus of Concrete Samples Made From Blends of Cements With Oil Shale Ash, Oil Shale, Estonian Academy Publishers, 2006, Vol 23, No 2, pp. 125-134.

Öztürk H.T., Tüneller ve Tasarım İlkeleri, Yöneten: Prof. Dr. Ing. Ahmet DURMUŞ, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2007

Öztürk H.T., Durmuş A., “Tünellere Toplu Bir Bakış ve Savunma Tünellerinin Türkiye İçin Önemi”, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi Aylık Yayın Organı, 96, s. 11-17, Mayıs-Haziran 2008

Szechy K., 1970. The Art Of Tunneling, Akademiai Kiado, Budapest, 891 p.