

TÜNELLERE TOPLU BİR BAKIŞ VE SAVUNMA TÜNELLERİNİN TÜRKİYE İÇİN ÖNEMİ

Hasan Tahsin ÖZTÜRK - Ahmet DURMUŞ

Karadeniz Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü

1. Giriş

Bir ulaşım yada taşın yolunun bir kısmının yeryüzünden geçirilmesinin teknik bakımdan mümkün olmadığı yada bunun ekonomik açıdan uygun bulunmadığı durumlarda bu yolların bir kısmının yeraltından geçirilmesine imkan tanıyan yeraltı yapılarına tünel adı verildiği bilinmektedir (Öztürk, 2007).

Bayındırlık yapılarının bir sınıfını teşkil eden tüneller; ulaşım, savunma, sığınma ve depolama gibi birçok amaçla inşa edilmektedir. Çağımızda şehirlerin büyümesi yol standartlarının iyileştirilmesi, savunma ve sığınak ihtiyaçlarının artması, arazinin engebeli ve/veya değerli oluşu gibi nedenlerle bu yapıların inşasına bugün çok daha fazla gereksinim duyulduğu da bir gerçektir.

Hızla artan nüfus karşısında, özellikle büyük şehirlerde, insanların yaşayabileceği yeni mekânların, depolama alanlarının bulunması ve bunların çevreye en az zarar verecek şekilde inşa edilebilmeleri gerekmektedir. Diğer taraftan çıkar çatışmalarının yaşandığı günümüzde askeri üslerin korunması ve bu suretle ülkenin daha kolay savunulması için de bu yapılara son derece ihtiyaç bulunmaktadır (Durmuş ve diğ., 2007). Bu husus tek başına bile tünellerin ulaşım amacı dışında da inşa edilmelerinin gerektiğini göstermektedir.

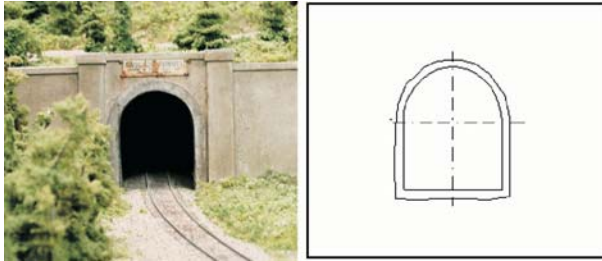
Bu makalenin temel amacı tüneller konusuna toplu bir bakış ortaya koymaktır. Bu bakışla tüneller; enkesit şekilleri, işlevleri ve yapım şekillerine göre üç başlık altında toplanmaktadır.

2. Enkesit Şekline Göre Tüneller

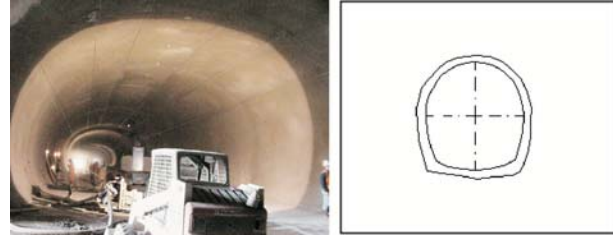
Tünelere ilişkin enkesit tipleri bunların üzerinde buldukları ulaşım yolunun cinsine ve bu yol zemininden gelecek etkilere göre değişmektedir. Bunlar kaya zeminlerde genellikle enkesitleri dairesel kemer ve iki düşey yan duvardan oluşacak şekilde inşa edilmektedir (**Şekil 1**).

Yumuşak zeminlerde açılan tünellerin ise yatay basınçları karşılayacak en kesitlere sahip olması gerekmektedir. Bu tür zeminlerde açılan tünel enkesitlerinin tam daire ya da nal şeklinde olması tercih edilmektedir (**Şekil 2 ve Şekil 3**).

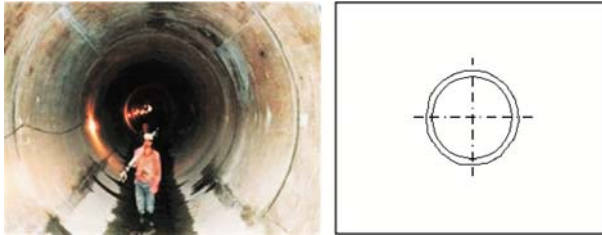
Dairesel enkesitli tüneller teorik olarak iç ve dış kuvvetleri en iyi karşılayan tünellerdir. Diğer taraftan bunlar en küçük çevreyle en büyük



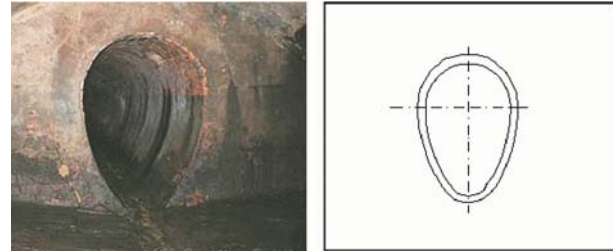
Şekil 1. Dairesel kemer ve iki düşey yan duvardan oluşan tünel enkesit örnekleri (URL-1, 2007)



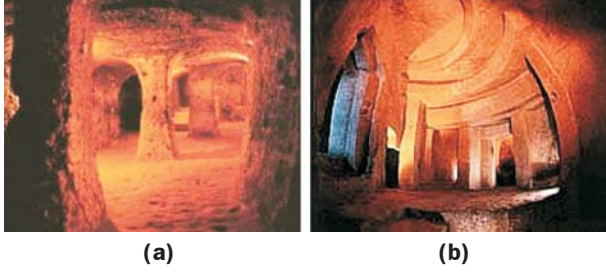
Şekil 2. Nal şeklinde tünel enkesit örnekleri (URL-2, 2007)



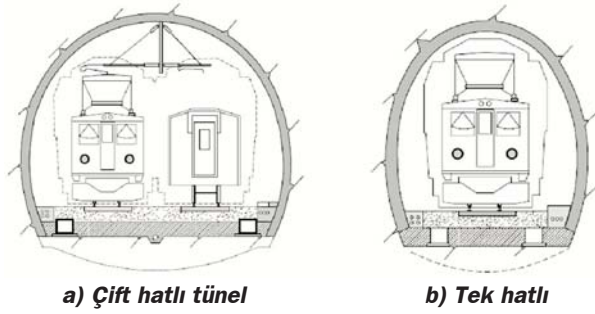
Şekil 3. Tam dairesel tünel enkesit örnekleri (URL-3, 2007)



Şekil 4. Yumurta şeklinde tünel enkesit örnekleri (URL-4, 2007)



Şekil 5. Bannak ve tapınak olarak kullanılan tünel örnekleri (URL-5,2007; URL-6,2007)



Şekil 7. Demiryolu tünellerine ilişkin tipik iki enkesit şekli (Kolymbas, 2005)

enkesite de sahip olmaktadır. Ancak bu üstünlükleri yanında bazı sakıncaları da mevcuttur. Bunlardan biri tabanlarının yuvarlak olması nedeniyle ulaşım yolu için fazlaca dolgu gerektirmeleri, diğeri ise beton kaplamanın yapım zorluğudur. (Öztürk, 2007)

Günümüzde kemerli ve dairesel enkesit şekilleri (bkz. Şekil 1 ve Şekil 3) arasında olduğundan tasarım mühendisleri ve yüklenici tarafından daha çok nal şeklindeki enkesitler tercih edilmektedir (bkz. Şekil 2). Böyle bir tünelin tabanı ulaşım yolu için yeteri kadar düz olduğu gibi eğrisel kenarları ve tabanı da kemer gibi çalıştığından dış kuvvetleri karşılamak için daha uygun olmaktadır.

Yumurta şeklindeki enkesitler şehir atık sularıyla taşkın debilerini geçiren birleşik kanalizasyon tünellerinde kullanılan enkesitlerdir (Şekil 4). Ancak tabanları dar olduğundan karayolu, demiryolu tünelleri için uygun olmamaktadırlar.

Burada dikdörtgen enkesitli tünellerin, aç-kapa yöntemiyle yapılanlar ve su altı tünelleri hariç, kaplamalarının zor olmasından dolayı pek tercih edilmediklerini belirtmek uygun olmaktadır.

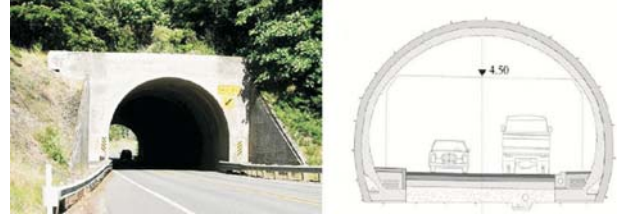
3. İşlevlerine Göre Tüneller

Aşağıda işlevlerine göre tünellerin sınıflandırılması yapılmaktadır.

a) Barınak ve tapınak tünelleri
Geçmişte barınak ve tapınak olarak kullanılmış tünellere ilişkin bazı örnekler Şekil 5'de verilmektedir.

b) Karayolu, demiryolu, metro ve suyolu gibi ulaşım tünelleri
Bunlardan karayolu ve demiryolu tüneline ilişkin enkesit örnekleri Şekil 6 ve 7'de, metro ve kanal tünellerine ilişkin olanlar ise Şekil 8'de görülmektedir.

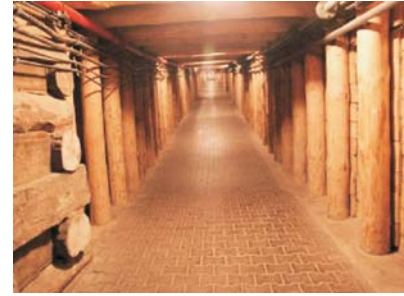
c) Maden galerileri
Bu galeriler yeraltındaki maden cevherini yeryüzüne çıkarmak ama-



Şekil 6. Karayolu tünellerine ilişkin örnek görünüm ve tipik bir enkesit şekli (URL-7,2007; Kolymbas, 2005)



Şekil 8. Metro ve kanal tünellerine ilişkin örnekler (URL-8, 2007; URL-9, 2007)



Şekil 9. Maden galerilerine ilişkin bir örnek (URL-10, 2007)

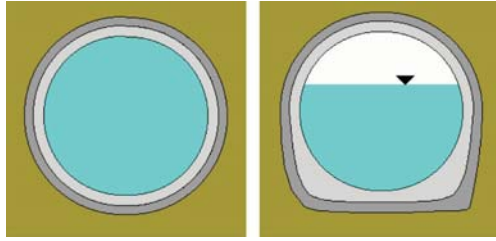
ciyla açılmaktadır. Aşağıdaki Şekil 9 bunlara bir örnek teşkil etmektedir.

d) Su iletim tünelleri

Bu tüneller herhangi bir kaynaktan alınan suyun büyük şehirlere ulaştırılması için inşa edilmiştir. Hidroelektrik santrallerdeki cebri borular ve derivasyon tünelleri de bu sınıfa girmektedir. Bu tip tünellerde sular basınçlı ya da basınçsız olarak iletilmektedir. Bu nedenle bu tür tünel kaplamalarının, etkiyen diğer yüklerle ilaveten, iç basınçları da karşılaması gerekmektedir (Şekil 10).

e) Kanalizasyon ve kamu hizmet tünelleri

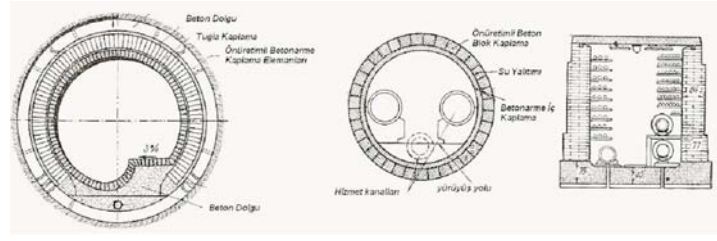
Kanalizasyon tünelleri su iletim tü-



a) basınçlı

b) basınçsız

Şekil 10. Su iletim tünellerine ilişkin enkesit örnekleri (Öztürk, 2007)



a) Kanalizasyon

b) Gaz

c) Elektrik

Şekil 11. Kanalizasyon ve bazı hizmet tünellerine ilişkin enkesit örnekleri (Szechy, 1970)

nellerine benzemekle birlikte bunlarda genellikle cazibeli akış söz konusudur. Kaplamalarının tasarımı buna göre yapılmakta ancak dayanıklılıkları için kanalizasyon sularının

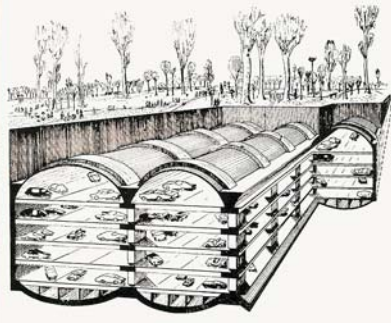
tahrip edici etkilerine karşı gereken önlemlerin alınması gerekmektedir.

Elektrik, gaz, telefon ve diğer iletim borularını barındıran, herhangi bir

arıza çıkması durumunda arızaya ulaşmayı kolaylaştırmak için inşa edilen tüneller hizmet tünelleri adıyla anılmaktadır. Bunların enkesitlerine ilişkin örnekler Şekil 11'de verilmektedir.



(a) Mühimmat için



(b) Taştlar için

Şekil 12. Mühimmat için (a), taştlar için (b) örnek stokaj tünelleri (URL-11, 2007; Szechy, 1970)



Şekil 13. Askeri üslerin korunmasında ve ülke savunmasında kullanılan tüneller için örnekler (URL-12, 2007)



Şekil 14. Bir yeraltı hidroelektrik santraline ve metro istasyonuna ilişkin görüntüler (URL-13, 2008; URL-14, 2008)

f) Stokaj tünelleri

Yeraltı yapıları çeşitli malzemelerin, atıkların, radyoaktif maddelerin stok edilmesi için de kullanılmaktadır. Burada en önemli konu stok maddesinin özelliklerine göre gerekli önlemlerin alınmasıdır. Şekil 12'de tünel tipi bir mühimmat deposu ve otopark görülmektedir.

g) Korunma ve savunma amaçlı tüneller

Korunma amaçlı tüneller, savaş tehlikesine karşı sivil halkı korumak için yapılan sığınaklar olarak kullanılmakla birlikte bu tip tünellerden önemli askeri üslerin korunması için de yararlanılmaktadır (Şekil 13). Günümüz koşullarında ülkemizi daha iyi savunabilmek için bu tür tünellerin yeterli sayıda açılmasını belirtmekte katıyetle duraksamaya gerek bulunmamaktadır.

h) Özel tüneller

Bu makede yukarıda belirtilen amaçlar dışında yeraltı fabrikaları, istasyonları, santralleri gibi yapılar olarak inşa edilen tüneller özel tüneller adıyla anılmaktadır. Şekil 14'de bunlardan santral ve istasyon amacıyla inşa edilenlere iki örnek verilmektedir.

4. Yapım Şekline Göre Tüneller

Yapım şekline göre tüneller de; kayaç zeminlerde açılan, yumuşak zeminlerde açılan ve su altında yapılanlar şeklinde sınıflandırılabilir. Kaya zeminlerde inşa edilen tünellerde genellikle delme-patlatma yöntemi ya da değişik tipteki delgi aygıtları kullanılmaktadır. Kaya zeminlerin kendini taşıyabilir özellikte olması nedeniyle bu tip zeminlerde inşa edilen tünellerde genellikle stabilite sorunlarıyla karşılaşmamaktadır. Yumuşak zeminlerde inşa edilecek olan tünellerde ise koşulların kayaç zeminlere göre çok daha zor olduğu açıktır. Bu nedenle bu tür zeminler iyileştirme yöntemlerinden biriyle iyileştirilse bile bunlar tünel kazısının daha dikkatlice yapılmasını gerektirmektedir. Durum böyle olunca bu tünellerin inşasında kalkan, boru sürme, şemsiyeleme ve aç-kapa gibi yöntemlerin kullanılması gerekmektedir. Diğer taraftan yumuşak zeminlerde inşa edilecek tünel enkesit şekillerinin olabildiğince finiküler forma yakın seçilmesi kaplamalara gelecek çekme gerilmelerini asgari düzeye inmesini sağlamaktadır (Öztürk, 2007).

Su altı tünelleri ise şantiyede üretilen tünel elemanlarının suya batırılıp tabana oturtulduktan sonra üzerleri örtülmek suretiyle ya da suda tabana oturtulmadan yüzer şekilde inşa edilmektedirler.



Şekil 15. Jumbo aygıtıyla patlayıcıların yerleştirileceği lağım deliklerinin açılış anında bir görünüm

4.1. Kayaç Zeminlerde Açılan Tüneller

Kaya zeminlerde inşa edilen tünellerde genellikle delme-patlatma yöntemi ya da değişik tipteki delgi aygıtları kullanılmaktadır. Kaya zeminlerin kendini taşıyabilir özellikte olması nedeniyle bu tip zeminlerde inşa edilen tünellerde, yukarıda da belirtilmeye çalışıldığı gibi, genellikle stabilite sorunlarıyla karşılaşmamaktadır. Kayaç zeminlerde tünel inşası kazının şekline göre delme-patlatma ya da özel delgi aygıtlarıyla inşa olmak üzere iki şekilde yapılmaktadır.

4.1.1. Delme-Patlatmayla Açılanlar

Klasik yöntem adıyla anılmakta olan delme-patlatmayla tünel inşası yüz yılı aşkın süredir önemli bir değişiklik yapılmadan hemen her türlü kayaç koşullarında kullanılmaktadır. Bu yöntemle tünel inşasında aşağıdaki sıra izlenmektedir;

1. Kararlaştırılmış bir plana göre önceden aynada patlayıcıların yerleştirileceği lağım delikleri açılmaktadır. Eğer jumbo adlı delgi aygıtı lağım deliklerinin açımında kullanılacaksa aynaya yaklaştırılmakta ve kazı için hazırlanmaktadır (**Şekil 15**).
2. Açılan deliklere daha önceden hesaplanmış miktarda patlayıcılar yerleştirilmektedir.
3. Deliklerde bulunan patlayıcılar ateşlenmekte ve patlatmadan meydana gelen gazların giderilmesi için havalandırma yapılmaktadır.
4. Düşme ihtimali olan kayaç parçaları düşürülmekte, gerekli durumlarda yeni açılan kısma iksa yapıldıktan sonra çıkan kazı malzemesi taşınmaktadır.

Burada emniyetli ve verimli ilerlemenin sağlanması için patlayıcı maddenin cinsinin ve miktarının, lağım deliklerinin düzen ve derinliklerinin önemli olduğu belirtilme-

lidir. Diğer taraftan ilk malzeme ve teçhizatın ucuzluğu, her türlü kayaç koşullarında kullanılabilirliği gibi üstünlükleri yanında ilerlemenin yavaş olması, aşırı sökülmenin önüne geçilememesi dolayısıyla da tünel enkesitinin aynen açılmasının mümkün olmaması, çevredeki kayaçları yumuşatması gibi sakıncaların bulunduğu ve bu konuda ayrıntılı bilginin kaynaklarda bulunabileceğini belirtmek de uygun olmaktadır (Öztürk, 2007; Kaya, 1983).

4.1.2. Özel Delgi Aygıtlarıyla Açılanlar

Bundan yaklaşık 50 yıl önce tünel açma aygıtlarının geliştirilmesiyle tünel açımında yeni bir devir başlamış, bu aygıtlar sayesinde kazı hızı geleneksel yöntemlere göre artmıştır. Bu özel delgi aygıtlarıyla tünel açımını tam kesitte ve yarım kesitte açım olmak üzere iki kısımda incelemek uygun olmaktadır.

Bu aygıtlardan en önemlisi tam kesitte tünel açma aygıtıdır. Bu aygıt ön yüzüne çeşitli cins ve sayıda kesiciler yerleştirilmiş dönen bir kafa ile içinde gerekli parçaların ve kumanda bölümünün bulunduğu silindirik bir gövdeden ibarettir (**Şekil 16a**).

Bu tam kesitte tünel açma aygıtı 2-12 m arasındaki çaplarda kazı yapabilmekte ve uzunlukları 12-25 m arasında değişmektedir. Bu araç yukarıda da belirtilmeye çalışıldığı gibi kuyruk, gövde ve yüz kısmı olmak üzere başlıca üç esas bölüme oluşmaktadır. Kuyruk bölümü, kaplama, otomatik taşıyıcı band için gerekli kaldırma kollarını içermektedir. Gövde bölümü; operatör kabini, hidrolik ve elektrikli sistemleri, motorları, jeneratörleri, çalışma platformu gibi üniteleri içermektedir. Yüz kısmında ise aygıtın dönen ve kesici elemanlar, gerekli durumlarda ise kalkan bulunmaktadır.



Şekil 16. Tam kesitte tünel açma aygıtından ve kollu tünel açma makinesinden bir görünüm

Dönen kafanın yüzünde bulunan kesiciler zemin türüne göre seçilmekte, yumuşak zeminlerde kesici uçlar ve dişler, kayaç zeminlerde ise disk şeklinde kesiciler kullanılmaktadır. Aygıt dönen kafadaki kesiciler sayesinde kayacı öğütmekte ve kazdığı malzemeyi içine alarak bunu sahip olduğu dönen bantlar sayesinde arkaya doğru iletmektedir. Gerekli durumlarda aygıtın dışı da bulunan kalkan sistemi kayaç düşmesine karşı aygıtı korumakta ve iksa esnasında gerekli güvenliği sağlamaktadır. Çatlak ve kırıklı kayaçlarda kazı yapıldığı durumlarda iksa bu kalkanın hemen arkasına kadar yaklaştırılmaktadır (Öztürk, 2007; Çakan, 2000).

Diğer bir tünel açma aygıtı da kollu tünel açma aygıtıdır. Bu aygıt kayacı, bir kol üzerinde dönen küçük bir kafaya yerleştirilmiş kesiciler yardımıyla yontmaktadır. Tam kesitte tünel açma aygıtına göre daha az enerjiye ihtiyaç duymakta ve maliyetleri de daha düşük olmaktadır. Tam kesitte tünel açma aygıtından farklı olarak bu aygıt dairesel olmayan kesitlerde de kullanılmaktadır (Şekil 16b).

Burada bu aygıtlara benzer daha başka tünel açma aygıtlarının da mevcut olduğunu ve bunlara ilişkin ayrıntılı bilgilerin teknik literatürde bulunabileceğini belirlemek uygun olmaktadır (Öztürk, 2007; Kırbuş, 1995).

4.2. Yumuşak Zeminlerde Açılan Tüneler

Alt geçitler, gömme depolar, yeraltı otoparkları, içme suyu ve kanalizasyon tünelleri gibi yer altı yapıları genellikle sığ derinliklerde ve yumuşak zeminlerde açılmaktadırlar. Bu zeminler düşük taşıma güçlü ve genellikle suya doymuş zeminlerdir. Bu nedenle bu tür zeminlerde tünel açımı için özel tekniklerin geliştirilmesini ve genellikle zeminlerin iyileştirilmesini gerektirmektedir. Bazı durumlarda ise karşılaşılan zemin özellikleri ve yeraltı suyunun durumu tünel aynasında ve çevresinde stabiliteyi etkilemektedir. Durum böyle olunca yukarıda da belirtilmeye çalışıldığı gibi zemin iyileştirme yöntemleriyle tünel çevresi stabilitesinin sağlanması ve yeraltı su seviyesinin düşürülmesi gerekmektedir. Stabiliteyi sağlamak ve suyu önlemek için enjeksiyon, zemini dondurma, denetimli drenajla zemin suyu seviyesinin düşürülmesi ve basınçlı hava yardımıyla suyun denetim altına alınması gibi işlemler yapılmaktadır (West ve O'Reilly, 1978). Aşağıda yumuşak zeminlerde tünel açma yöntemlerinden bazıları üzerinde durulmaktadır.

4.2.1. Kalkanla Açılanlar

Kalkan (bukliye) esas olarak çelik bir silindir şeklindedir. Bu aygıt tünel boşluğunu çevreleyerek, zemine

destek sağlamak suretiyle kaplamanın yapımına iksa gerektirmeden izin vermektedir. Kalkan kesici uç, gövde ve kuyruk kısımlarından oluşmaktadır. Bu aygıt kesici ucu sayesinde zeminde ilerlemekte, gövde kısmında gerekli itici krikolar ve pompalar, kuyruk kısmında ise kaplama yapımını kolaylaştıracak elemanlar bulunmaktadır.

Tünel kazısında tam kesit halinde ilerlemeyi sağlayan bu aygıt, yapılmış olan son kaplama kenarından destek olarak ileri doğru solucan hareketine benzer bir hareketle ilerletilmekte ve keskin ucu sayesinde zemine gömülerek ayna kazısının yapılmasını sağlamaktadır.

Tasarlanmış çeşitli otomatik kalkanlar mevcut olmakla birlikte bunlardan dönen tamburlu otomatik kalkanlar yumuşak zeminlerde en yaygın kullanılanıdır. Bentonitli otomatik kalkan ise daha çok suya doymuş ayrık taneli zeminlerde kullanılmaktadır. Bu aygıtın özelliği önyüzünden basınçlı bentonit eriyiğini püskürterek bu eriyiği aynadaki zemine bunun nüfuz ettirip bu suretle stabiliteyi sağlamasıdır. Basınçlı hava kullanan kalkanlarda ise stabilite basınçlı hava ile sağlanmaktadır (Öztürk, 2007; Taşlıca, 1983).

4.2.2. Boru Sürmeyle Açılanlar

Boru sürmeyle dışarıda imal edilmiş borular, krikolar yardımıyla arka arkaya zemine sürülmektedir. Bu yöntem kanalizasyon ve su şebekelerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Yöntemde öncelikle boru döşenecek yerde giriş ve çıkışa iki adet kuyu açılmakta, giriş kuyusuna yan duvarlardan destek olacak şekilde yerleştirilen krikolar yardımıyla, kuyuya indirilen borular zemine itilmektedir. Kazı işi itme işleminden önce ya da sonra çeşitli araçlarla yapılabilmektedir (Şekil 17).

4.2.3. Kazıp-Kapamayla Açılanlar

Kazıp-kapama yöntemi genellikle örtü kalınlığı 10 m'den az olan kanalizasyon, içme suyu ve altgeçit tünellerinin inşasında kullanılmaktadır. Bu yöntemde zemin, büyük bir hendek şeklinde kazılmakta, tünelin kaplaması yapıldıktan sonra üzeri tekrar örtülmektedir (**Şekil 18**).

Bu yöntem, ekonomik ve kolay uygulanabilir olmasına karşılık, yüzeydeki trafiği etkileyebilmektedir. Bu nedenle yapım aşamasında trafiği en az etkileyecek önlemlerin alınmasını gerektirmektedir.

4.2.4. Şemsiyelemeyle (Boru kemer yöntemiyle) Açılanlar

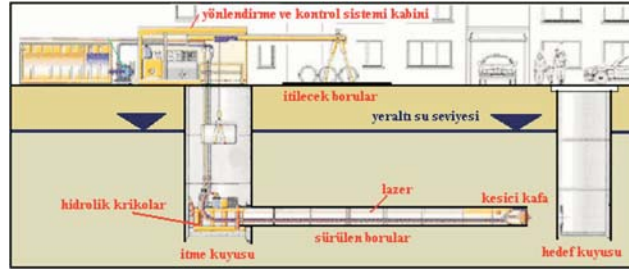
Bu yöntemde tünel aynasının stabilitesini sağlamak amacıyla zemin çivisi adıyla anılan destekleme elemanları, tünel aynasında önceden belirlenen çapta ve uzunlukta delikler delinerek zemine uygulanmaktadır (**Şekil 19**). Delinen deliklere uygun kalınlıkta ve uzunlukta çelik donatı ya da yeterli çekme dayanımına sahip fiberglaslar yerleştirilmekte ve etrafı uygun kıvamda çimento enjeksiyonuyla doldurulmaktadır. Bu sayede oluşturulan ön kemer altından kazı yapılarak tünel inşası gerçekleştirilmektedir.

4.3. Sualtında Yapılan Tüneller

Tüp tünel ya da batırılmış tünel adıyla anılan bu tüneller bir su yolu engelini aşmak için köprü ve de-



Şekil 20. Bir su yolunu geçmek için çeşitli seçenekler



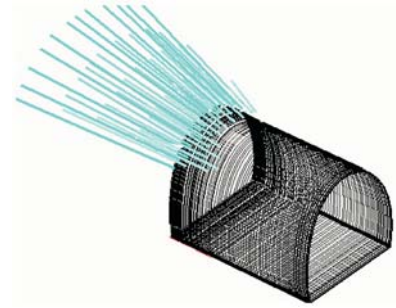
Şekil 17. Boru sürme yöntemiyle açılan bir tünel örneği (Yavuz ve Ersoy, 2005)



Şekil 18. Kaz-kapa yöntemiyle inşa edilen bir metro tüneli

rinden geçen geleneksel tünellere bir seçenek olmakla birlikte karakteristik olarak kanalların ve kanal tarzındaki doğal engelleri alttan geçmede en kısa yol olarak gözükmektedir (**Şekil 20**).

Batırılmış tünellerin yeni bir yapım tekniği olmayıp kullanımları yaklaşık 100 yıldan beri devam etmektedir. Dünya çapında tanınan 150'nin üstünde batırılmış tünel mevcut olup bunların yaklaşık 100 adedi karayolu ve demiryolu geçişi için tasarlanmıştır. Geri kalanlar ise su temini ve elektrik hattı tünelleri olarak kullanılmaktadır. Bunlara ilişkin dünya çapında kullanılmış bazı kesit

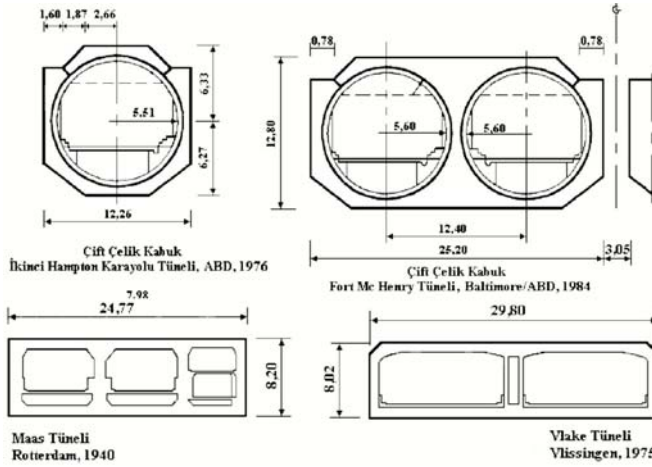


Şekil 19. Şemsiyeleme yönteminde kullanılan zemin çivilerine ilişkin örnek

örnekleri **Şekil 21**'de verilmektedir (Saveur ve Grantz, 1997).

Deniz altı geçişinde kullanılan diğer bir tip de daldırılmış yüzen tünellerdir. Suyun kaldırma kuvvetinden faydalanılarak yapı uygun bir derinlikte desteklenmektedir. Tüpe benzer yapı çelik ya da betonarme olarak üretilmekte ve üretilen parçalar kolonlar, halatlar ya da dubalar sayesinde belirli seviyede yüzer halde tutulmaktadır.

Yıllardır uygulanan batırılmış tünellerin kullanımı, elde edilecek tecrübeler ve tünel teknolojilerindeki gelişmelere paralel olarak, gelecekte de artarak devam edeceği savunulmaktadır. Yeni bir sistem olan daldırılmış yüzen tünellerin kullanımı ise, şu an çok yaygın olmamasına rağmen gerekli güzergah eğimlerinin elde edilemediği durumlarda, batırılmış tünellerin uygulanamadığı özellikle aşırı derin ve dar yerlerde kullanımlarının yaygınlaşacağı düşünülmektedir (URL-16, 2007).



Şekil 21. Batırılmış çelik ve betonarme tünel kesitlerine ilişkin örnekler (Saveur ve Grantz, 1997)



Şekil 22. Batırılmış yüzen tünellere ilişkin çeşitli bağlantılar (URL-16, 2007)

5. Sonuçlar

Bu makalenin amacı önemli bayındırlık yapılarından biri olan tünelleri; enkesit şekline, işlevlerine ve yapım şekline göre sınıflandırma suretiyle bu yapılara toplu bir bakış sağlamaktır. Makale metninde böyle bir bakış sağlanmış bulunmaktadır. Bu çalışma Türkiye'nin coğrafi yapısı ve stratejik önemi bakımından mevcutlarına ilaveten bu yapıların yenilerinin yapımının da gerekli olduğunu göstermektedir. Gerçekten günümüz koşullarında, özellikle Trabzon gibi stratejik önemi fazla olan illerimizin kolayca savunulabilmeleri için de yeterli sayıda savunma ve korunma tünelinin yapılmasının çok rasyonel olacağına inanılmaktadır. Ancak aktif deprem kuşağında bulunan ülkemizde tünellere Türkiye ekonomisiyle bağdaşan bir emniyeti kazandırabilmek için bu yapıların tasarımlarının optimizasyon tekniklerinden en uygun olanın kullanılmasıyla gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Bu hu-

sus çalışmalarımızın devamını sağlayacaktır.

6. Kaynaklar

- Çakan, A.G., 2000.** *Analysis Of Tunnel Advance In Soft Ground Using Finite Element Method*, Yüksek Lisans Tezi, ODTÜ., Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Durmuş, A., Öztürk, H. T., Arslan, M. E., 2007.** *Tünel Kaplamalarının Tasarımına İlişkin Bir Yaklaşım, International Symposium on Advances in Earthquake & Structural Engineering*, Bildiriler Kitabı, s: 617-629, 24-26 Ekim 2007, Isparta-Antalya, Türkiye.
- Kaya, H., 1983.** *Patlayıcı Maddelerin Tanımlanması Ve Tünellerde Patlayıcı Maddelerin Optimumda Kullanılması*, Tünelcilik Semineri, Ankara, Bildiriler Kitabı, 85-142.
- Kırbaş, T., 1995.** *Tünel Açma İşlemleri, Karşılaşılan Sorunlar Ve Uygulanan Çözüm Yolları*, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ., Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Kolymbas, D., 2005.** *Tunnelling and Tunnel Mechanics*, Springer, Germany, 437 p.
- Öztürk, 2007.** *Tüneller ve Tasarım İlkeleri*, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Trabzon.
- Saveur, J. ve Grantz, W., 1997.** *Structural Design of Immersed Tunnels, Tunnelling and Underground Space Technology*, 12,

2, 93-109.

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

Taşlıca, A.H., 1983. *Tünel Açma Yöntemleri, Tünelcilik Semineri, Ankara, Bildiriler Kitabı, 266-311.*

URL-1, <http://www.railroadforums.com/photos/showphoto.php?photo=28592>, 01.12.2007

URL-2, http://www.metwashairports.com/_/Gallery%20Image/_/wb-07_tunnel_walls_11-2001.jpg, 01.12.2007

URL-3, <http://www.eser.com.tr/referans.asp?k=7&r=4>, 01.12.2007

URL-4, http://images.google.com.tr/imgres?imgurl=http://atlantikwall.net/pictures/oostvoorne_stpxxivlm_tunnel_1.jpg&imgrefurl=http://atlantikwall.net/today_nl_oost-voorne.htm&h=397&w=267&sz=16&hl=tr&start=32&btnid=cU6217LqYQgVOM:&btnh=124&btnw=83&prev=,15.02.2008

URL-5, <http://www.karagoz.net/kapadokya.htm>, 06.12.2007

URL-6, <http://www.corinthiahotels.com/hotelattractions.asp?h=10&e=2,05.12.2007>

URL-7, http://www.iinet.com/~englishriver/LewisClarkColumbiaRiver/Images/washington_hwy-14_tunnel_no4_2005.jpg, 20.11.2007

URL-8, <http://www.urbanrail.net/eu/kob/metro-tunnel1.jpg>, 10.02.2007

URL-9, <http://en.structurae.de/structures/data/indexcfm?ID=S0010963,24.04.2007>

URL-10, <http://www.custard.org>, 24.07.2007

URL-11, <http://www.28dayslater.co.uk/forums/showthread.php?t=7625,06.12.2007>

URL-12, <http://www.aeroflight.co.uk/waf/albania/albaf-bases.htm>, 04.10.2007

URL-13, http://dna.typepad.com/photos/nz/manapouri_power_station.html,03.01.2008

URL-14, blog.artofthestate.co.uk/blog/_archives/2005/4,03.01.2008

URL-15, <http://www.marmaray.com.tr/,20.01.2007>

URL-16, www.nsfst.no/the_floating_tunnel.html, 20.03.2007

Yavuz., E. ve Ersoy, N., 2005. *Pipe Jacking Yöntemi İle Açılan Mikro Tünel Projelerinde Jeodezik Çalışmalar*, Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, Mühendislik Ölçmeleri STB Komisyonu 2. Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu, İstanbul, Bildiriler Kitabı, 133-140.

West. G. ve O'Reilly, P., 1978. *Methods of treating the ground, Tunnels and Tunneling*, 10,7,25-29.