

YER ALTI YAPILARI VE TÜNELCİLİK KONUSUNDA EĞİTİM

EDUCATION IN UNDERGROUND STRUCTURES AND TUNNELLING

Dr. Tülin SOLAK¹

ABSTRACT

Some examples about education programs on underground structures and tunnelling in university education (bachelor and master studies) and special programs in the world are given in this paper. Importance of this type of education in geotechnical and civil engineering is also emphasized. In civil engineering department, at bachelor level courses consist of soil mechanics, rock mechanics, engineering geology and tunnelling subjects. Fundamental and basic knowledge is covered during these courses. In master studies, education focuses on special subjects in design and construction. Practical education is given as internships at site and office. Firms in the sector organize educational programs for their personnel and contributes to the education with seminars and key lectures at universities.

Keywords: underground structures, tunnelling, education

ÖZET

Bildiride, dünyada yer altı yapıları ve tüneller ile ilgili lisans ve lisansüstü seviyelerdeki eğitim programlarının ve özel programların kapsamı ile ilgili bazı örnekler verilmiş olup yer altı yapıları ve tünelcilik konusundaki eğitimin geoteknik ve inşaat mühendisliği eğitimindeki yeri değerlendirilmiştir. İnşaat mühendisliği bölümünde lisans seviyesinde verilen eğitim, zemin mekaniği, kaya mekaniği, mühendislik jeolojisi ve tünelcilik konularını kapsarken, temel kavramlar ve bilgiler verilmektedir. Yüksek lisans seviyesindeki eğitimde ise, tasarım ve yapım ile ilgili daha özel konulara yoğunlaşmakta, şantiye-büro stajı, proje yapımı ile uygulamaya yönelik pratik eğitim verilmesi amaçlanmaktadır. İnşaat sektöründeki firmalar, personeline hizmet içi eğitim verirken üniversitelerin düzenlediği yüksek lisans programlarında ve seminerlerde kendi uzmanlık alanlarında eğitim vererek katkı sağlamaktadır.

Anahtar kelimeler: yer altı yapıları, tünelcilik, eğitim

¹ Dr. Tülin Solak, Genel Müdürlüğü, tulinsolak@gmail.com

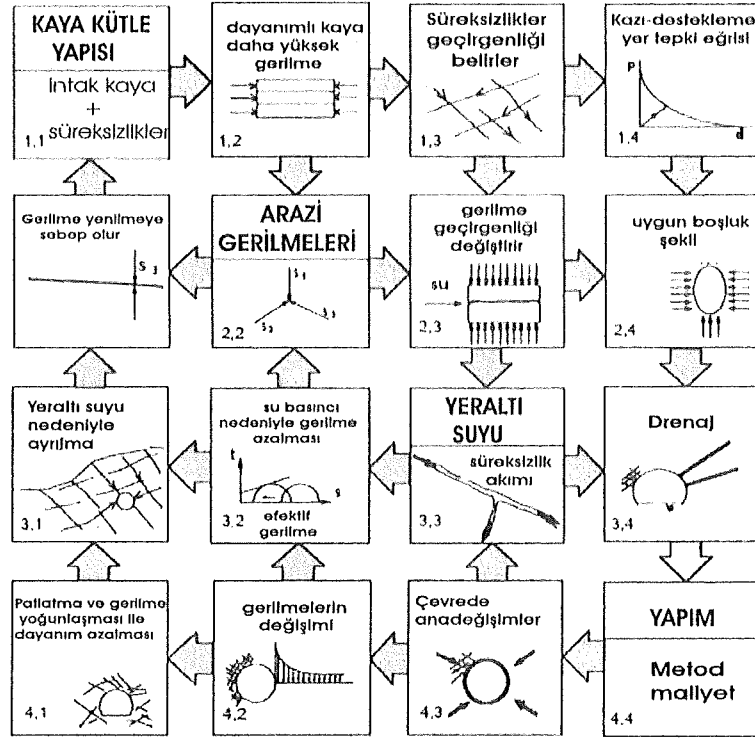
1. GİRİŞ

Son yıllarda tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de ekonomik, sosyal ve çevresel nedenlerle yer altı yapılarına olan gereksinim ulaşım ve enerji sektörü başta olmak üzere her alanda artmıştır. Bu durum yer altı yapıları ve tünelcilik konusunda eğitim görmüş deneyimli inşaat mühendisi ihtiyacını beraberinde getirmektedir. Yer altı yapıları ve tüneller farklı disiplinlerin (mühendislik jeolojisi, kaya mekaniği, zemin mekaniği v.b.) ortak çalışma alanıdır. İnşaat mühendislerinin hem farklı disiplinlerdeki teknik elemanlar ile ortak dili konuşması ve çalışmalarını yorumlaması hem de kendi çalışması için gerekli verileri talep edebilmesi için uzmanlık alanı dışındaki konularda da (mühendislik jeolojisi v.b.) bilgi sahibi olması gereklidir. Ayrıca tünelciliğin arazi çalışmalarından başlayarak tasarım, yapım, kontratlar, işletim v.b konular inşaat mühendisliğinin asli sorumluluğu altındadır. Yer altı yapıları ve tünellerin inşaat mühendisliği içinde özel yapılar olduğu da dikkate alındığında genel inşaat mühendisliği eğitiminin yanısıra özel olarak ders içeriklerinin hazırlanması ihtiyacı doğmaktadır. Bu bildiride, dünyada yer altı yapıları ve tüneller ile ilgili lisans ve lisansüstü seviyelerdeki eğitim programlarının ve özel programların kapsamı ile ilgili örnekler verilmiş olup, yer altı yapıları ve tünelcilik konusundaki eğitimin geoteknik ve inşaat mühendisliği eğitimindeki yeri değerlendirilmiştir.

2. LİSANS EĞİTİMİ

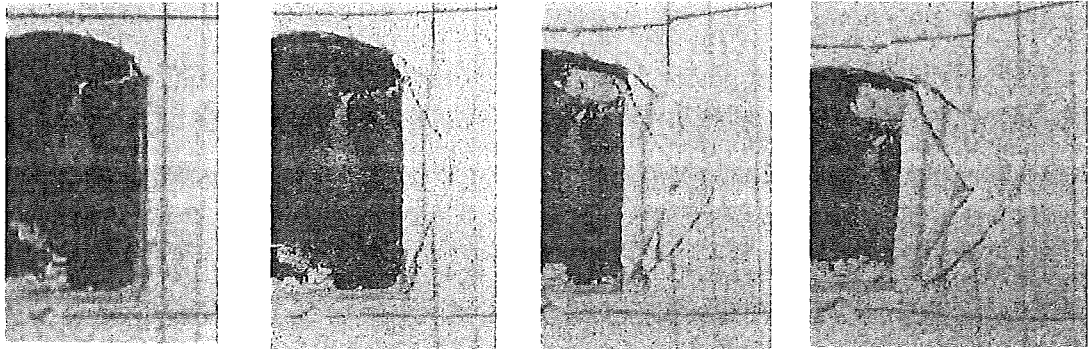
Uluslararası Tünelcilik Birliğinin (ITA) 2 nolu Çalışma Grubunun “Tünelcilikte Üniversite Eğitimi” konulu araştırması sonucunda, Peila (2000) tarafından hazırlanan rapordaki 45 üye ülkenin 14’ünün sağladığı verilere göre, yer altı yapıları ve tünelcilik konusundaki eğitimin ağırlıklı olarak İnşaat Mühendisliği bölümünde Kaya Mekaniği ve Ulaşım Altyapısı derslerinde verildiği ifade edilmektedir. Ders saati 3 yıllık eğitimde 15-120 saat arasında değişirken, 5 yıllık eğitimde ortalama 55 saat mertebesindedir. Tünelcilik derslerinin içeriği büyük ölçüde destek elemanlarının tasarımını kapsamakta olup sınırlı bir bölümünde ise mekanize kazı konusu işlenmektedir.

Yer altı yapıları konusunda önemli projelerin gerçekleştirildiği ve bilgi birikiminin bulunduğu bir ülke olan Avusturya’nın Graz Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği bölümünde 6 dönemlik 180 kredilik lisans eğitiminin son döneminde 10 kredilik ve 9 saatlik “Geoteknik” dersi zorunlu ders olarak verilmektedir. İnşaat Mühendisliği bölümünün 3 enstitüsünün (Kaya Mekaniği ve Tünelcilik, Zemin Mekaniği ve Temel Yapıları, Uygulamalı Jeoloji Enstitüleri) ortaklaşa verdiği derste, kayayı oluşturan minerallerin içerikleri ve özellikleri, mineralojik süreçler, kaya ve kaya kütlesi oluşumları, jeolojik süreçler, Alplerdeki kaya tiplerinin özellikleri, kaya ve zemin mekaniğinde temel bilgi, kaya kütlelerinin ve süreksizliklerin özellikleri hakkında temel bilgi verilmesi hedeflenmektedir. Kayada inşa edilen her yapının ortamın özellikleriyle (kaya kütle yapısı, arazi gerilmeleri ve yeraltı suyu ile) etkileşim içinde olduğu dikkate alınarak hem bu özelliklerin değişimi hem de birbiri ile etkileşimi incelenmektedir (Şekil 1). Laboratuvar deneyleri ve çözümlü problemler ile desteklenen ders sonucunda öğrencinin kaya kütlelerinde birincil ve ikincil gerilmelerin belirlenmesi, sınıflama sistemleri ve davranış tiplerinin uygulanması, zemin ve kayada inşa edilecek yapıların boyutlandırmasında yeterli konuma gelmesi sağlanmaktadır. Dersin içeriği Tablo 1’de verilmektedir. (<http://portal.tugraz.at> ve ders notları)



Şekil 1. Hudson'a göre Etkileşim Matrisi (Graz Teknik Üniversitesi Ders Notları)

5 kredilik proje dersinde ise seçilen proje çalışması (parametrik çalışma, model deneyleri v.b.) Kaya Mekaniği ve Tünelcilik Enstitüsünün gözetiminde yürütülmektedir. Proje çalışması, tünel ve yer altı yapıları çevresinde gerilme dağılımının analitik yöntemlerle araştırılması, sayısal analiz ile farklı ortamlarda kaya kütle davranışının değerlendirilmesi, yapım uygulamalarında geoteknik ölçümlerin değerlendirilmesi gibi ofis çalışmalarını içerebildiği gibi, laboratuvarında yer altı boşluğu çevresindeki davranışın gözlenmesi amacıyla yürütülen model deneyleri de kapsamaktadır. Model deneyler ile yürütülen çalışmalara bir örnek Şekil 2'de verilmektedir. (<http://portal.tugraz.at> ve ders notları)



Şekil 2. Tünel Çevresinde Yenilme Mekanizmasını inceleyen Model Deney-Proje Çalışması (Graz Teknik Üniversitesi Ders Notları)

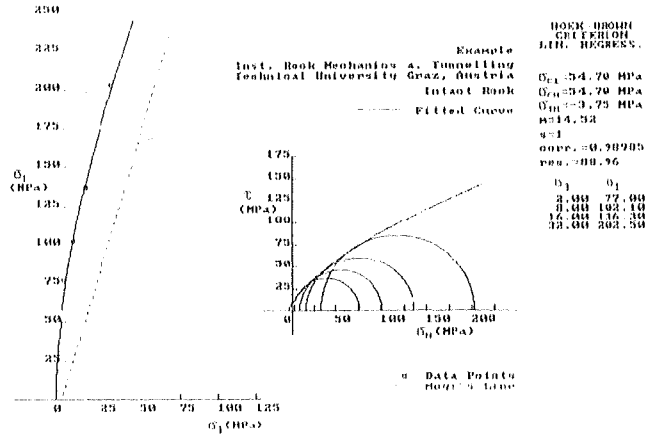
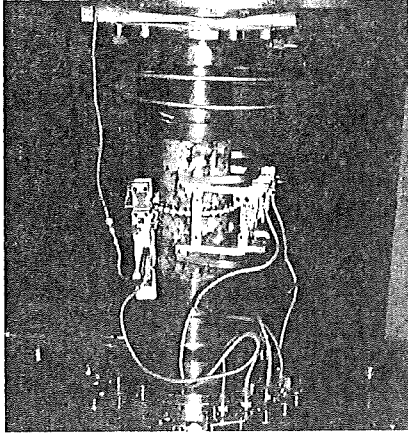
Tablo 1. Graz Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği bölümünde verilen Geoteknik dersinin içeriği

Bölüm	Konu Başlığı
1	Plaka tektoniği
2	Kayayı oluşturan mineraller
3	Kayaların sınıflanması
4	İlam mineraller ve organik bağlayıcılar
5	Yapısal jeoloji
6	Zeminin fiziksel özellikleri , zemin araştırmaları
7	Zemin mekaniği laboratuvar deneyleri
8	Zeminde su davranışı
9	Gerilme durumu, kaya davranışı, kaya mekaniği laboratuvar deneyleri
10	Zeminin gerilme-birim deformasyon davranışı
11	Eurocode 7
12	Zeminde toprak basıncı analizi
13	Süreksizliklerin yenilme mekanizması
14	Geoteknikte limit durumu
15	Blokların kinematiği ve kesme direnci
16	Kutup diyagramı
17	Sığ temeller
18	Deplasmanların analizi
19	Tünelde gerilme durumları
20	Kaya kütle sınıflamaları
21	Tünelde deplasman ölçümleri
22	Yer altı boşlukları yapım yöntemleri
23	Temel mühendisliği destekleme

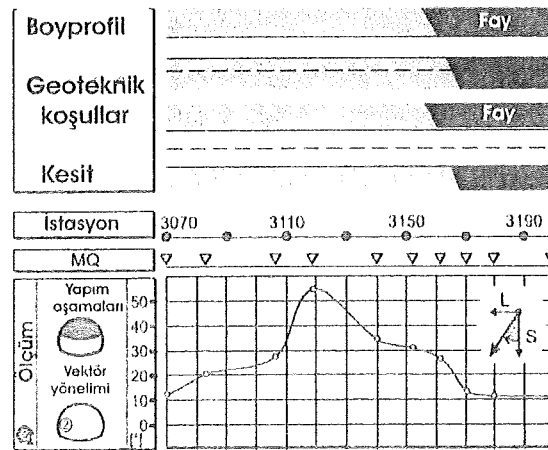
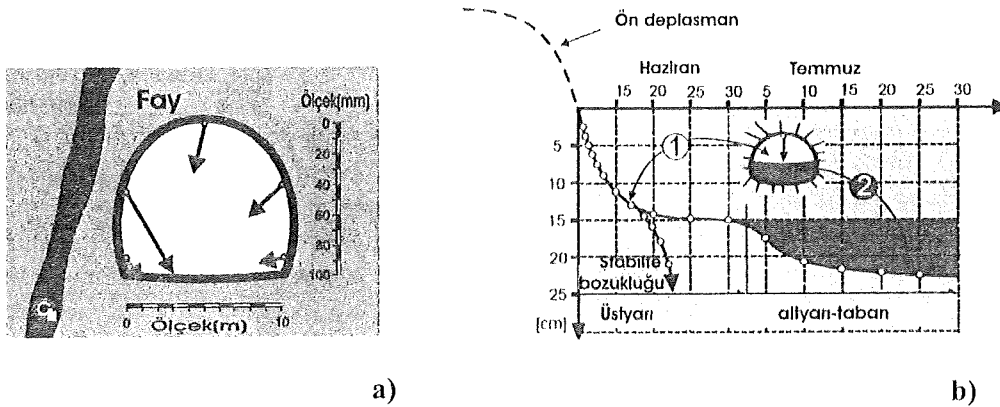
3. YÜKSEK LISANS EĞİTİMİ VE ÖZEL PROGRAMLAR

Özellikle son yıllarda, dünyada birçok üniversite, uluslararası katılımcılara da hitap eden yer altı yapıları ve tünelcilik konusunda yüksek lisans programları düzenlemektedir. Bu programlar mühendislik jeolojisi, zemin mekaniği, kaya mekaniği, tasarım, yapım, ölçüm ve gözlem, şantiye organizasyonu konulu derslerin yanısıra staj, arazi gezileri ve uygulamalarını da kapsamaktadır. Yapım firmalarının kendi personeline verdiği kapsamlı hizmetiçi eğitimlerin yanısıra üniversiteler ile ortak düzenlenen eğitim programları da mevcuttur. (<http://www.ita-aites.org>).

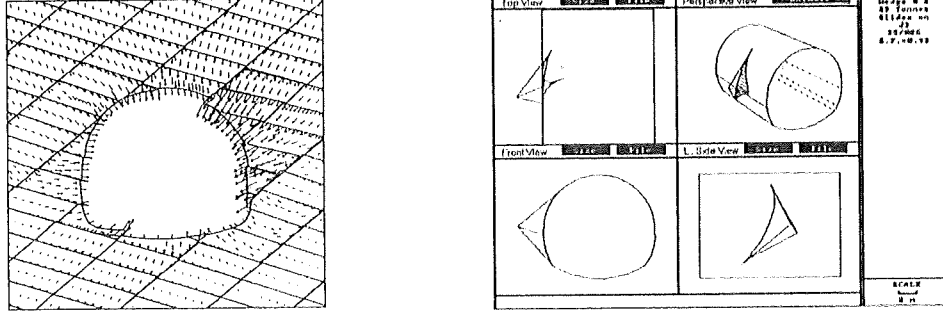
Graz Teknik Üniversitesinde 4 dönemlik Geoteknik Mühendisliği Yüksek Lisans Programındaki dersler, İnşaat Mühendisliği bölümünün 3 enstitüsünün (Kaya Mekaniği ve Tünelcilik, Zemin Mekaniği ve Temel Yapıları, Uygulamalı Jeoloji Enstitüleri) verdiği Kaya Kütle Tanımlaması, Kaya Mekaniği ve Tünelcilik, Kaya Mekaniği Laboratuvar Deneyleri (Şekil 3), Kaya Kütle Tanımlamasında Arazi Yöntemleri ve Geoteknik Ölçüm (Şekil 4) başlıklarını taşımaktadır. Bu derslerde tüneller ile ilgili şartnamelere, standartlara ve rehberlere yer verilmektedir (Şekil 5).



Şekil 3. Açık 3 eksenli hücresi içinde kaya numunesi ve çok aşamalı deneyin Hoek-Brown yenilme kriterine göre değerlendirilmesi (Graz Teknik Üniversitesi Ders Notları)



Şekil 4. Geoteknik Ölçüm dersinde kullanılan gösterimlerden bazıları a) enkesitte deformasyon vektörleri b)deformasyon-zaman grafiği c) boyuna yönde deformasyon/oturma değişim grafiği (Graz Teknik Üniversitesi Ders Notları)



Şekil 5. Tünel çevresinde süreksizlik kontrollü yenilme davranışının belirlenmesine yönelik analizler (Avusturya Geomekanik Birliği 2001)

Ayrıca tünel mühendisi yetiştirmek amaçlı 4 dönemlik sertifika programı “NATM (Yeni Avusturya Tünel Açma Yöntemi) Mühendisi” Leoben Üniversitesinin Madencilik Fakültesi ile ortak olarak düzenlenmektedir. Programın içeriği Tablo 2’de verilmektedir

Tablo 2. “NATM (Yeni Avusturya Tünel Açma Yöntemi) Mühendisi” Yüksek Lisans Programının İçeriği

Konu Başlığı	İçerik
Yeni Avusturya Tünel Açma Yöntemine Giriş	Yöntemin gelişimi, ana bileşenleri, diğer yöntemlere göre avantajları ve dezavantajları, gözlemsel yöntem temelinde proje ve yapım yöntemi
Araştırma ve Mühendislik Jeolojisi Yöntemleri	Proje aşaması ve jeolojik koşullara göre araştırma programının planlanması, araştırma metotları, mühendislik jeolojisi haritalaması,
Kaya Mekaniği Laboratuvar Testleri	Deney yöntemleri, parametrelerin belirlenmesi ve yorumlanması
Kaya Kütle Sınıflaması ve Tanımlaması	Kaya ve kaya kütlelerinin sınıflanması ve tanımlanması, kaya kütle tiplerinin belirlenmesi, mekanik ve hidrolik kaya parametrelerinin belirlenmesi
Geoteknik Tasarım	Kapalı çözümler ve sayısal analiz kullanılarak kaya kütle davranışının analizi, sistem davranışının analizi, destek tasarımı, zayıf zemin tünelciliği özel çözümleri
Risk Analizi	Risk analiz yöntemleri, sınır koşullarının tanımlanması, olasılık ve risklerin belirlenmesi, koridor ve hat seçimi
Tünel Yerleşimi	Gabari, havalandırma sistemleri, güvenlik önlemleri, kazı yöntemleri
Sayısal Analiz	Simülasyon öğeleri, malzeme modelleri, yazılımların (UDEC, FLAC, Plaxis, Abaqus) ana hatları
Yapım kontratı	İlgili standartlar, şartnameler, farklı kontrat modelleri ve uygulamaları, yapım kontratlarının yapısı, uygulaması
Şantiye organizasyonu ve yönetimi	Hazırlık, ekipman ve personel yönetimi
Güvenlik	Güvenlik önlemleri, sorumluluklar
Ölçüm, veri değerlendirilmesi ve yorumlanması	Ölçüm programı hazırlanması, değerlendirme ve yorumlama
Ölçüm Ekipmanı	Ölçüm ekipmanları, ölçüm noktalarının tesisi, ölçüm alımı

Düzenlenen yüksek lisans programlarına bir örnek de Lozan Politeknik üniversitesinde düzenlenen “Tünelcilik” yüksek lisans programıdır. Lisans eğitimi almış birkaç senelik tünelcilik konusunda tecrübesi olan inşaat ve tünel mühendislerine yönelik hazırlanan programın süresi 9 aydır. Ağırlıklı olarak uygulamacı uzmanların (derslerin ¾’ü) ve üniversite mensuplarının görev aldığı program 16 haftası ders, 14 haftası proje (dersler ile eş zamanlı), 8 haftadan fazla uygulama ve yüksek lisans tezini içermektedir. Programın aşamaları ve içerikleri Tablo 3’te verilmektedir.

Tablo 3. Lozan Politeknik Üniversitesi tarafından verilen Tünelcilik Yüksek Lisans Programı İçeriği

Aşama	İçerik
Ders	Jeolojik araştırma ve kaya kütle tanımlamaları Kaya ve zemin mekaniği, tünel tasarım parametreleri Konvansiyonel kazı yöntemleri, TBM teknolojileri, iyileştirme yöntemleri Destek tasarımı Sayısal analiz, FEM, DEM Ölçüm, yapım yönetimi, sözleşme Güvenlik, havalandırma, sigorta Vaka analizleri, Gothard ve Löttschberg Tünelleri
Proje	Tünel planlama, tasarım ve risk konularında proje çalışması
Uygulama	Planlama, tasarım ve yapım konusunda tünel firması/şantiyesinde eğitim
Yüksek Lisans Tezi	Araştırma konusu veya vaka analizi

Uluslararası Tünelcilik Birliği (ITA), yer altı yapıları ve tünelcilik konusunda eğitim ile ilgili çalışmalarını desteklemek amacı ile bir komite oluşturmuştur. 2005 yılında Türkiye’de düzenlenen Dünya Tünel kongresinde ilki gerçekleştirilen seminerler periyodik olarak düzenlenmektedir. Ayrıca, Birlik farklı ülkelerde gerçekleştirilen yüksek lisans programlarını da desteklemektedir. Bunlar 2003 yılından beri Torino Politeknik Üniversitesinde düzenlenen yüksek lisans programı ile Madrid ve Lozan üniversitesi tarafından düzenlenen yüksek lisans programlarıdır.

Özel sektörün kendi personeline verdiği eğitim paketleri de mevcut olup Almanya’da Hochtief firmasının tünelcilik ile ilgili verdiği hizmet içi eğitim programı 3 aşamalı olarak tanımlanmaktadır. İlk aşamada tasarım metotları, yapısal analiz, yapım yöntemleri, ihale hazırlığı, uygulama projesi hazırlanması ile ilgili konularda 18-24 aylık; 2. aşamada planlama, iş hazırlığı, lojistik, tedarik ve geoteknik danışmanlık konularında 1-3 aylık eğitim verilirken, 3. aşamada yapım şantiyesinde 3-6 aylık süre ile şantiye mühendisi olarak görevlendirme yapıldığı ifade edilmektedir. Ayrıca firma şantiye gezileri, üniversite seminerleri, üniversite ile ortak araştırma çalışmaları da gerçekleştirilmektedir (<http://www.ita-aites.org>).

4. SONUÇLAR

Tasarım ve yapım yöntemlerindeki gelişmeler ile yer altı yapıları ve tüneller, sadece zemin/kaya yükünü taşıyan yapılar olarak değil, gerektiğinde ön destekleme yöntemleri ile güçlendirilen, ana destekleme ile kemerlenme sağlayarak kayayı kendi kendine taşıyan yapılar olarak değerlendirilmektedir. Bu nedenle, yer altı yapıları ve tüneller Geoteknik Mühendisliği içinde önemli yer tutmaktadır. Yer altı yapıları ve tünellerin tasarımından yapımına tüm süreçlerde bilgi ve teknik donanım ihtiyacı, bu konudaki eğitimin önemini artırmaktadır. Dünyada, İnşaat Mühendisliği Bölümlerinde lisans ve yüksek lisans seviyesinde yer altı yapıları ve tüneller konusunda eğitim verilmekte, üniversiteler ve çeşitli organizasyonlar (Uluslararası Tünelcilik Birliği, özel firmalar v.b.) bu alanda görev yapan mühendislere yönelik seminerler düzenlenmektedir. Eğitimlerin içeriği ihtiyaç duyulan konulara göre gelişmekte olup uygulamaya verilen önem artmaktadır.

Bildiride, dünyada bu alanda düzenlenen eğitim programlarının belli başlı örnekleri verilmiştir. Buna göre inşaat mühendisliği bölümünde lisans seviyesinde verilen eğitim,

zemin mekaniği, kaya mekaniği, mühendislik jeolojisi ve tünelcilik konularını kapsarken, temel kavramlar ve bilgiler verilmektedir. Yüksek lisans seviyesindeki eğitimde ise, tasarım ve yapım ile ilgili daha özel konulara yoğunlaşmakta, şantiye-büro stajı, proje yapımı ile uygulamaya yönelik pratik eğitim verilmesi amaçlanmaktadır. İnşaat sektöründeki firmalar personeline hizmet içi eğitim verirken üniversitelerin düzenlediği yüksek lisans programlarında ve seminerlerde kendi uzmanlık alanlarında eğitim vererek katkı sağlamaktadır.

KAYNAKLAR

- Peila, D.(2000), "University Education in Tunneling", ITA çalışma grubu raporu
<http://portal.tugraz.at>, Graz Teknik Üniversitesi resmi web sayfası
Ders notları, Graz Teknik Üniversitesi
<http://www.ita-aites.org>, Uluslararası Tünelcilik Birliği resmi web sayfası
Avusturya Geomekanik Birliği, 2001, "Konvansiyonel Kazıyla Yeraltı Yapıları
Geomekanik Dizayn Rehberi"