

YER ARAŞTIRMALARINDA MADEN MÜHENDİSLERİNİN YERİ

Prof. Dr. Erkin NASUF/İ.T.Ü Maden Fakültesi

Toprak veya kaya herhangi bir zemin üzerinde bir yapı tasarımı yapılacaksa, ortaya çıkacak mühendislik problemlerinin çözümü adım adım yapılacak karar verme ve yorum yapma işlemlerinden oluşur. Bu işlemlere yer araştırmaları adı verilmektedir. Yer araştırmaları genellikle bir ekip çalışması olup, karar verme ve yorumlama işlemlerinden önce veriler toplanmalı, kabuller yapılmalı ve her türlü konuda uzlaşılmalıdır. Zemin şartları ve bu şartlara uygun en emniyetli, verimli ve ekonomik bir üst yapı tasarımı yapabilmek için, birbirleri ile çok iyi koordine olan, Jeoteknik ve Yapı Mühendisliği konularında uzman bir İnşaat Mühendisi, Mühendislik Jeolojisi dalında uzman Jeoloji Mühendisi, Jeofizik Mühendisi ve Kaya Mekaniği ve Kazı Mekaniği uzmanı bir maden mühendisinden oluşan bir ekip gereklidir. Son yıllarda, bazı meslek gruplarınınca, yer araştırmalarının sadece kendileri tarafından yapılabileceği iddia edilmektedir. Bu iddia tamamen yanlış olup, bütün dünyada konuyla ilgili ortak disiplinler beraberce çalışmaktadır. Yer araştırmaları, uzmanlık ve ekip çalışması gerektirdiği için dört meslek disiplininin (İnşaat, Maden, Jeoloji ve Jeofizik) özellikle Kaya ve Zemin Mekaniği konularında uzmanlaşmış mühendisleri tarafından yürütülmesi ve bu dört disiplini içinde barındıran mümkün olduğu kadar küçük ve çabuk hareket edebilen şirket veya kuruluşlarca yapılması daha doğru yaklaşım olacaktır. Gerçekte, İnşaat Mühendislerinin Geoteknik, Jeoloji Mühendislerinin Mühendislik Jeolojisi ve Maden Mühendislerinin Kaya Mekaniği konularını kapsayan Jeoteknik konusu, bu çalışmaların esasını oluşturmaktadır.

Maden Mühendisliği eğitiminde, oldukça detaylı bir şekilde Kaya Mekaniği dersi okutulmaktadır. Eğer bir kaya zemin söz konusu ise, bu tür zeminlerde yapılacak temelin tanımlanması ve tasarım çalışmalarında en uygun Kaya Mekaniği prensipleri kullanılmalıdır. Bu konularda Maden Mühendisleri en az bir İnşaat, Jeoloji ve Jeofizik Mühendisleri kadar söz sahibi olmalıdırlar. Zira, Maden Mühendisleri her dört meslek grubunda okutulan ders saati kadar Kaya Mekaniği ya da Jeoteknik okumakta ve yeterli bilgi sahibi olmaktadır.

Baraj, tünel, otoyol ve kentsel yapıların üzerinde inşa edileceği zeminlerin (kaya veya toprak) yer mühendislik

özelliklerinin (Jeolojik, Jeofizik ve Jeoteknik) bu yapılar yapılmadan önce, yapıma aşamalarında ve sonrasında incelenip değerlendirilmesi ve söz konusu özelliklerin bu tür zeminlerde inşaatlar yapılırken göz önünde tutulması gereklidir.

Yer araştırması yapılacak alan seçilir seçilmez projeyi zemin koşullarına uyarlamak gerekir. Zemin koşulları proje alanları için nadiren benzer olduğundan belirli bir standartlaşma oluşturulamamaktadır. Bu nedenle, araştırmalar genellikle jeolojik yapının tespitine ve zemin üzerine uygulanan yük ve zemin kınılma şeklinin tespitine yönelmekte, kayacın sağlam veya kırık ve çatlaklı olmasına göre araştırmanın içeriği değişmektedir. Sağlam zeminlerde daha az çalışma yapılırken kırık zeminlerde daha detay çalışma yapmak gerekebilir.

Toprak zeminlerde yapılan yer araştırmaları ile ilgili çalışmaların İnşaat Mühendislerinin daha çok işlediği, ancak kaya zeminlerde ise Maden ve Jeoloji Mühendislerinin daha çok deneyimli oldukları bir gerçektir. Bu raporda, esasında toprak zeminler için de geçerli olabilecek kaya zeminlerde yer araştırma esasları çok özet bir şekilde anlatılacaktır. Daha detaylı bilgi için "Nasuf, E., Avşar, S., Öztürk, A., Yer Araştırmalarında ve Yamaç (Şev) Duraylılık Analizlerinde Kaya Mekaniği Deneyleri ve Taşıma Gücü Hesapları, Yerel Yönetimlerde Jeotermal Enerji ve Jeoteknik Uygulamaları, İller Bankası Genel Müdürlüğü, 20-22 Kasım 2000, Ankara" kaynağının okunmasında yarar vardır.

Kaya zeminlerin tasarımı; zemin taşıma gücü hesabı, zeminin oturma analizi ve kayma yüzeylerinin duraylılık analizi çalışmalarını içerir. Zeminin taşıma gücü ve oturma analizi zeminin kırılmadan ve aşın oturma olmadan maruz kaldıkları yükü taşıma kabiliyetini araştırır. Kayma yüzeylerinin duraylılığı analizi ise, kaya zeminin veya yamacın kesilme veya kayma olmadan uygulanan yüke dayanmasını araştırır. Tam bir tasarım için tüm bu analizlerin koordine olması gereklidir. Tasarım aşamasında gerekli temel veriler fay ve kesilme kırıklarının eğim, doğrultu kalınlık ve süreklilikleri; örtü tabakasının derinliği, yeraltı su durumu, zeminin aşınma derinliği, çatlakların yönelimleri ve sürekliliği, litoloji, kaya kütlelerinin mühendislik özellikleri, ve yükleme koşul-

RAPOR

landır. Kırılma şekli ve mekanizmasının da bilinmesi tasarıma yardımcı olur. Ayrıca temelin yapıya ve yapının temele yük transferi mekanizması anlaşılmalıdır. Su altındaki yapılarda ise sızıntı analizi yapılmalıdır.

Zeminler için yapılan yer araştırmalarında izlenecek aşamalar ve söz konusu aşamalarda Maden Mühendislerinin yeri aşağıda verilmektedir:

- A) Ön Etüdler
- B) Arazi Deneyleri
- C) Laboratuvar Deneyleri
- D) Zemin Kayacının Tanımlanması
 - Zeminin Jeolojik Tanımlanması
 - Zeminin Sınıflandırılması
 - Zeminin Kesilme Dayanımı Parametreleri
- E) Zeminin Taşıma Gücü Parametreleri
- F) Zeminin Deformasyon ve Oturma Parametreleri

A) ÖNETÜDLER

Detaylı bir yer araştırması programı uygulanmadan önce ön etüdlere yapılabilecek verilerin yeterli olup olmadığı, ek verilere gerek olup olmadığı, uzun vadeli çalışmaların (sismik çalışmalar, hidrojeolojik etüt vb.) yapılabileceği tespit edilir. Yapılacak ön etüdlere bölgesel ve yerel baz olarak incelenebiliriz.

Bölgesel bazdaki ön etüdlere:

Yerleşim bölgelerinin belirlenmesinde ve mevcut yerleşim bölgelerinin imara açılacak alanlarının seçimi amacıyla yerel bazda zemin yer araştırma çalışmaları yapmak gereklidir. Bu amaçla yapılacak ön etüdlere aşağıdaki aşamaları içerir.

a- Harita Çalışmaları

- Topografik haritalar (morfoloji)
- Sismolojik haritalar (jeoloji)
- Sismotektonik haritalar (tektonik)
- Yer altı suyu haritaları (yer altı suyu)

b- Diğer Veri Kaynakları

İncelenen sahanın jeoteknik ve dinamik özelliklerinin çevredeki kuruluşlardan (endüstri, üniversiteler, sondaj firmaları vb. toplanması)

c- Doğal Afetlere İlişkin Değerlendirme

Aktif heyelan alanları, taşkın potansiyeli olan alanlar, gevşek zeminlerin sıvılaşma potansiyeli

Bütün bu ön etüdlere sonra tüm haritalar ve alanlar karşılaştırılarak yerleşim bölgelerinin tespiti (zemin haritaları) hazırlanır.

Yerel bazdaki ön etüdlere:

a- Jeolojik haritalama

- 1- Faylar, çatlaklar, makaslama zonları, stratigrafi, aktif faylara uzaklık
- 2- Yer altı su seviyesi, kaynak sular, yeryüzü suları
- 3- Karstik formasyon, modern veya tünelden dolayı oluşan boşluklar
- 4- Kayacın potansiyel bozulma derecesi (erozyon, büzülme, yayılma vb)
- 5- Yamaç duraylılığı problemi [Maden Mühendislerinin Uzmanlık Alanı]
- 6- Gaz, su ve kanalizasyon hatlarının tespiti
- 7- Kaya zemini ve üst kısmını oluşturan formasyonların jeolojik özelliklerinin detaylı tanımı. Temel atılmadan hemen önce temel jeolojisi ve haritalanması ve fotoğrafların çekilmesi.

b- Jeofizik etüdlere

Jeofizik etütlere yeryüzünden ve sondajlardan gerekli bilgiyi toplayabilmek için yapılan dolaylı ölçümlerdir. Bu etütlere stratigrafi, litoloji, süreksizlik, yeraltı su durumu, kayacın dinamik elastik modülü ve kayaç yoğunlukları tayin edilir. Maliyeti son- daja göre daha azdır.

c- Sondaj etüdlere

Sondajlar belki de zeminin yer mühendislik özelliklerini en iyi açıklayan verilerdir. Sondajlardan elde edilecek karotlar yardımıyla laboratuvar deneyleri yapılmaktadır. NW, NQ ve NX boyutları genellikle uygun olabilmektedir. Sondajlar yapılırken aynı zamanda sondaj logları da çıkartılmaktadır.

d- Gözlem çukurları

Daha büyük boyutlardaki yer araştırmaları için kullanılır.

B) ARAZİ (IN-SITU) DENEYLERİ [Maden Mühendislerinin Uzmanlık Alanı]

Arazi deneyleri zemin kayacının mühendislik özelliklerini belirlemek için yapılan çalışmaların belki de en iyisidir. Tablo 1 'de yer araştırmalarında yapılan arazi deneyleri ve amaçları sunulmuştur. Bu deneyler sayesinde kırıklı ve çatlaklı zeminin yerinde gerilme deformasyon modülü, makaslama dayanımı, zeminde zayıf tabakalanmalar, artık gerilmeler, civatalama kapasitesi ve zeminin geçirgenliği hakkında bilgi sahibi olmak mümkündür. Arazi deneyleri pahalı oldukları için büyük ölçekli yer araştırmaları için tercih edilmelidir.

Tablo 1. Kaya zeminlerin mühendislik özellikleri için yerinde yapıdan testlerin amaç ve test yöntemleri

Testlerin amacı	Test yöntemleri	Uygulamalar
Temel Özellik	Gama kuyu probu Nötron kuyu probu	Sürekli yoğunluk ölçümü Sürekli nem ölçümü
Dayanım	Field Vane Shear * Direk makaslama Presyo metre ³	Zayıflık düzlemleri boyunca dayanım Test kuyusunda E'nin ölçülmesi
Taşıma gücü	Plaka taşıma testi ¹ Standart Penetrasyon*	Tüneller ve ağır yapılar için E'nin ölçülmesi İçsel sürtünme . E'nin ölçülmesi
Gerilme ortamı	Hidrolik Çatlama Presyometre Yassıveren (Flat jack) testi	Test kuyusunda E'nin ölçülmesi Tüneller için E'nin ölçülmesi
Kütlesel statik ve dinamik deformasyon modülü	Sismik Kırınım * Sismik direkt yöntemler ² Presyometre Goodman Dilatometresi Plaka yükleme testi Yassıveren (Flat jack) testi	P dalgaları ile kayacın sökülebilirliği Dinamik elastik sabitler (E.G.K.V) Test kuyusunda E'nin ölçülmesi Yanal yönde Elastisite modülü .E Tüneller ve ağır yapılar için E'nin ölçülmesi Tüneller için E'nin ölçülmesi
Cıvatalama kapasitesi	Cıvata yükleme	Ankrajlama için gerekli cıvata yükleme değeri
Kaya kütlesi geçirgenliği	Sabit seviyeli test Yükselen veya düşen seviyeli test Pompaj testi Basınç enjeksiyonu testi	Çok eklemlili kayaçlarda sondajdaki geçirgenlik Eklemlili kayaçlarda k geçirgenlik katsayısının ölçümü Doygun. uniform kayaçlarda ortalama geçirgenlik Düşey kuyuda yatay geçirgenlik katsayısı

Notlar:
* Killi şeyi, ileri derecede ayrılmış, veya orta yumuşaklıktaki kayaçlar ve yumuşak tabakalı kayaçlarda uygulanır.
² Nadiren kullanılır
³ Dinamik deformasyon modülü.

C) LABORATUVAR DENEYLERİ [Maden Mühendislerinin Uzmanlık Alanı]

Laboratuvar deneyleri arazi deneylerine ek olarak daha sonra yapılır. Bu deneyler kaya mekaniği standartlarına uygun olarak yapılan zeminin tanımlanmasına ve korelasyonuna yarayan indeks özellik ve mühendislik özellik deneylerini içerir. Elde edilen değerler zemin analiz ve tasarımında ve ayrıca yamaç analizlerinde kullanılır.

Tablo 3'de Zemin araştırmalarında kullanılan laboratuvar deneyleri ve amaçları özet olarak sunulmuştur. Her bir deney için alınacak numune sayısı ve deney tipi zeminin koşullarına bağlıdır. Numuneler laboratuvar deneylerinden önce gözle incelenip loğları hazırlanmalı ve sınıflandırılmalıdır. Böylece ön etüdlerden elde edilen sonuçlarla beraber zeminin profil ve kesitler şeklinde jeolojik modeli hazırlanır. Jeolojik modeller daha sonra yapılacak çalışmalara ışık tutacaktır.

Tablo 3. Kaya zeminlerin mühendislik özellikleri için yapılan laboratuvar testlerin amaç ve test yöntemleri

Testlerin amacı	Test yöntemleri
Dayanım	Tek eksenli basınç Direk makaslama Üç eksenli basınç Direk çekme Dolaylı çekme (Brazilian) Nokta yükü ¹
Deformasyon modülü	Tek eksenli basınç Üç eksenli basınç Sünme (creep) Genişleme
Geçirgenlik	Gas geçirgenliği
Temel özellikler indeks özellikler	Nem içeriği Porozite Birim hacim ağırlığı Özgül ağırlık Adsorpsiyon Sonic hız Asınma

¹ Nokta yük deneyi bazen arazide de uygulanır

D) ZEMİN KAYACININ TANIMLANMASI [Maden Mühendislerinin Uzmanlık Alanı]

Kaya kütlelerinin (zeminin) tanımlanması, projeyi oluşturan yapının üstüne yapılacak kaya zeminin modelini hazırlamak için stabilizeyi kontrol eden tüm Jeolojik, Jeofizik ve Jeoteknik özelliklerle ilgili bilgilerin ve verilerin toplanması ve yorumlanmasıdır. Verilerin toplanması sürekli bir işlemdir. Bu işlem ön etüdier ile başlar laboratuvar ve arazi deneyleri, tasarım analizi

ve yapının inşaatı işlemleri ile devam eder. Kaya zeminin tanımlanması için gerekli bilgiler, jeolojik tanımlamalar, zeminin sınıflandırılması, makaslama dayanımı parametreleri ve taşıma gücü parametreleri ile deformasyon ve oturma parametrelerini içerir.

D.1) Zeminin Jeolojik Tanımlanması

Jeolojik tanımlama, zeminin tasarım amacıyla tanımlanması ve stratigrafik korelasyon için yapılır. Jeolojik tanımlamalar sondaj karotlarından elde edilen bilgiler yardımıyla yapılır ve daha detay için ek bazı tanımlamalar gerekebilir. Jeolojik Tanımlamalar için kullanılan bazı bilgiler aşağıda özetlenmektedir.

Litolojik özellikler:

Kayacın tipi, kayacın bozunma derecesi, kayacın sertliği, kayacın dokusu, kayacın yapısı, kaya kütlelerindeki süreksizliklerin durumu, kayacın rengi, kayacın ayrışma durumu.

Yukardaki bilgilerin yetersizliği durumunda ek olarak yapısal özellikler (süreksizlikler ve boşluklar) ile ilgili;

Süreksizliklerin eğim ve doğrultusu, süreksizlikler arası uzaklık ve çatlak sıklığı, süreksizlik yüzeyleri arasındaki açıklık, süreksizliklerin dolgusu, süreksizliklerin püüzlüğü, süreksizliklerin devamlılığı, boşlukların varlığı,

D.2) Zemin Kayacının Mühendislik Sınıflandırılması:

Zemin kayacının sınıflandırılması, kaya kütlelerini benzer davranış gösteren gruplara ayırmaya ve mühendislik tasarımında kaya kütlelerinin özelliklerini sayısal olarak

RAPOR

ifade etmeye yardımcı olur. Çok sayıda kaya sınıflandırma sistemi vardır bunlardan 6 tanesi kabul görmüştür Bunlar; Terzaghi, Laufer, Deere's RQD, Wickham ve arkadaşlarının RSR, Bieniawski'nin RMR ve Barton'un Q sistemleridir. Yer araştırmalarında en yaygın olarak RQD, RMR ve Q sistemleri kullanılmaktadır.

D.3) Zeminin Kesilme Dayanımı Parametreleri:

Herhangi bir kaya zemin veya kaya şevinde kayma kuvvetlerine karşı koymanın ölçüsü olan makaslama dayanımı tek eksenli basınç dayanımından daha ziyade kaya kütlelerini oluşturan süreksizlik düzlemleri ile kontrol edilir. Tasarımda kullanılan makaslama dayanımı değerleri ise genellikle laboratuvarda yapılan deneyler ve kayaçların yenilme şeklinin iyi analiz edilmesine bağlıdır. Bir zeminde veya şevde yenilme sağlam bir kaya kütlelerinde, bir süreksizlik boyunca veya süreksizlik düzlemleri arasında yeralan dolgu malzemesi boyunca oluşur. Yenilme şeklinin belirlenmesinden sonra süreksizlik düzlemleri boyunca yenilmeyi temsil edecek numuneler alınarak laboratuvarda veya arazide (in-situ) deneyler yardımıyla makaslama dayanımı değerleri hesaplanabilir. Yenilme veya kırılma kriterlerinin belirlenmesi ve kırılma zarflarının tespiti ile zeminlerin hangi gerilmeler veya yükler altında emniyette olabilecekleri belirlenebilir. Arazide ve laboratuvarda yapılan makaslama dayanım testleri Tablo 4' de özetlenmiştir.

Tablo 4. Zeminlerde ve Şevlerde kullanılan Makaslama Dayanım testleri

Testlerin amacı	Test yöntemleri	Uygulamalar
Makaslama Dayanımı	Labaratuvar direk kesme	Zayıflık düzlemleri (tabakalanma), süreksizlikler, Kaya-beton temas yüzeyleri, sağlam kayaçlar için önerilmez.
	Labaratuvar üçeksenli	Eğimli zayıflık düzlemlerinin dayanım ve deformasyon özellikleri ile sağlam kayacın dayanımı ve birim deformasyonu
	Yerinde makaslama (Makaslama kutusu)	Pahalı olup çok zayıf malzeme ile dolgu süreksizlikler için uygulanabilecek bir yöntem
	Yerinde tek eksenli sıkışma	Pahalı olup zayıf karakterli sağlam kayaçların sıkışmasını test etmek için kullanılır.

E) KAYA ZEMİNLERİN TAŞIMA GÜCÜ

Kaya zemin üzerine yapılacak yapıların taşıma gücü hesaplarını dört ana başlıkta özetleyebiliriz. Taşıma gücü kırılma şekilleri ve örnekleri, taşıma gücü hesaplama yöntemleri, izin verilebilir taşıma gücü, taşıma gücünü arttıran yöntemler. Aşağıdaki taşıma gücü hesapları, zemin genişliğinin dört katından daha az derinlikte olan sığ temeller için geçerlidir. Derin kazık yapıları bu konunun dışındadır.

F) ZEMİNİN DEFORMASYON VE OTURMA PARAMETRELERİ [Maden Mühendislerinin Uzmanlık Alanı]

Kısaca özetlersek zeminlerle ilgili iki türlü deformasyon mevcuttur. Bunlar; bağlı deformasyonlar (Creep, swelling ve toprak zeminler için konsolidasyon) ve zamana bağlı olmayan deformasyonlardır. Özellikle zamana bağlı olmayan deformasyonların analizi için analitik yöntemler ve nümerik yöntemlerden (Sonlu elemanlar, sınır elemanlar v.b.) yararlanılır.

SONUÇ

Sonuç olarak yukarıda belirtilen yer araştırma çalışmalarının birçok aşamasında özellikle de kaya zeminlerde detaylı kaya mekaniği prensipleri kullanılmaktadır. Maden Mühendisleri de bu konularda eğitim görmektedirler. Bu nedenle Maden Mühendisleri;

- *LABORATUAR VE ARAZİ DENEYLERİ (ÖZELİKLE KAYA ZEMİNLERDE)*
- *HER TÜRLÜ ZEMİNDE OLUŞTURULAN ŞEV/YAMAÇ STABİLİTE ÇALIŞMALARI*
- *ZEMİNLERİN MÜHENDİSLİK TANIMLANMASI*
- *NÜMERİK MODELLEME* alanlarında görev alabilirler.

Ancak unutulmamalıdır ki yer araştırmaları uzmanlık gerektirir. Bu, yukarıda sunulan yer araştırmaları ile ilgili aşamalardan da açıkça görülebilir. Her İnşaat, Maden,

Jeoloji ve Jeofizik Mühendisliği yer araştırması çalışmalarında yer alamaz. Bu nedenle;

a) Daha önceden zemin etüdlerinde çalışmış İnşaat, Maden, Jeoloji ve Jeofizik Mühendisleri,

b) Kaya ve zemin mekaniği konularında doktora veya yüksek lisans çalışması yapan İnşaat, Maden, Jeoloji ve Jeofizik Mühendisleri,

c) Meslek Odaları veya Üniversiteler tarafından Kaya ve Zemin Mekaniği ya da Jeoteknik konularında açılmış bir kurstan mezun olan İnşaat, Maden, Jeoloji ve Jeofizik Mühendisleri yer araştırmalarında görev almalıdır. Bu dört disiplinin beraberce hızlı hareket eden ufak ekipler halinde çalışması en uygun çözümdür. Depremde tüm hayatını kaybeden insanların anısına saygılanımla.