LABORATUVARDA ZEMİNLERİN KAYMA MUKAVEMETLERİNİN BELİRLENMESİNDE KULLANILAN DENEY YÖNTEMLERİ VE ARAZİ YÜKLEME KOŞULLARIYLA İLİŞKİLERİ

Prof. Dr. Hüseyin YILDIRIM
İMO İstanbul Şubesi Yönetim Kurulu Üyesi
yildirimh@itu.edu.tr

Özet

Zeminlerin kayma mukavemeti geoteknik mühendisliğinin temel parametrelerinden biridir. Temellerin taşıma gücü, şevlerin duraylılığı, istinat yapılarının tasarımı, kazı destek sistemleri ve dolgu yapılarının performansı büyük ölçüde zeminin kayma mukavemetine bağlıdır. Ancak zeminler, yükleme süresine, drenaj koşullarına, gerilme geçmişine ve gerilme yoluna bağlı olarak farklı davranışlar göstermektedir. Bu nedenle laboratuvar ortamında tek bir deney yöntemi kullanılarak tüm arazi koşullarını temsil etmek mümkün değildir. Bu çalışmada kayma mukavemeti kavramı, toplam gerilme ve efektif gerilme yaklaşımları birlikte ele alınmakta; kayma mukavemetinin belirlenmesinde kullanılan başlıca laboratuvar deney yöntemleri açıklanmakta ve her bir deney sisteminin arazide temsil ettiği yükleme koşulları değerlendirilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Kayma mukavemeti, efektif gerilme, toplam gerilme, üç eksenli basınç deneyi, direkt kesme deneyi, drenaj koşulları, geoteknik mühendisliği.

1. Giriş

Zeminler mühendislik yapılarının taşıyıcı ortamını oluşturmaktadır. Bir zeminin güvenli bir şekilde yük taşıyabilmesi, kayma gerilmelerine karşı göstereceği dirence bağlıdır. Bu direnç zemin mekaniğinde kayma mukavemeti olarak tanımlanmaktadır.
Kayma mukavemeti; temel tasarımı, şev stabilitesi, istinat yapıları, kazılar, tüneller, barajlar ve dolgu yapılarının analizlerinde kullanılan en önemli mühendislik parametrelerinden biridir.
Diğer mühendislik malzemelerinden farklı olarak zeminler;

- Çok fazlı bir yapıya sahiptir,
- Doygun veya kısmen doygun olabilir,
- Gerilme geçmişinden etkilenir,
- Drenaj koşullarına bağlı davranış gösterir,
- Zamana bağlı deformasyonlar geliştirebilir.

Bu nedenle zeminlerin mukavemet özelliklerinin belirlenmesinde farklı laboratuvar deney yöntemleri geliştirilmiştir.

2. Kayma Mukavemeti ve Efektif Gerilme Kavramı

Kayma mukavemeti, bir zeminin kayma gerilmeleri altında göçmeye karşı gösterebildiği en büyük direnç olarak tanımlanır.

2.1 Toplam Gerilme ve Efektif Gerilme

Doygun zeminlerde uygulanan toplam gerilmenin bir kısmı boşluk suyunca, diğer kısmı ise zemin iskeletince taşınır.
Terzaghi'nin Efektif Gerilme Prensibine göre:
$\sigma=\sigma'+u$
Burada;

- σ = Toplam gerilme
- σ' = Efektif gerilme
- u = Boşluk suyu basıncıdır.

Zemin daneleri arasındaki sürtünme ve kenetlenme yalnızca efektif gerilme tarafından kontrol edilmektedir. Bu nedenle uzun dönem davranışların açıklanmasında efektif gerilme yaklaşımı kullanılmaktadır.

2.2 Kayma Mukavemetinin Genel İfadesi

Mohr-Coulomb kırılma teorisine göre efektif gerilme cinsinden kayma mukavemeti:

$\tau_f=c'+\sigma'\tan\phi'$

Burada;

- τ_f = Göçme anındaki kayma mukavemeti
- c' = Efektif kohezyon
- ϕ' = Efektif içsel sürtünme açısı
- σ' = Efektif normal gerilmedir.

Ancak kısa süreli yüklemelerde ve drenajsız koşullarda toplam gerilme yaklaşımı kullanılmaktadır. Özellikle doygun killer için:
$\tau_f=cu$ şeklindeki toplam gerilme yaklaşımı yaygın olarak kullanılmaktadır.

Dolayısıyla geoteknik mühendisliğinde hem toplam gerilme hem de efektif gerilme parametrelerine ihtiyaç duyulmaktadır.

3. Neden Farklı Deney Yöntemleri Kullanılmaktadır?

Tek bir laboratuvar deneyi bütün arazi koşullarını temsil edemez. Bunun başlıca nedenleri aşağıda açıklanmıştır.

3.1 Drenaj Koşullarının Farklılığı

Arazide yükleme süresi değişkenlik göstermektedir.

Hızlı yüklemeler

- Deprem etkileri
- Ani dolgu yüklemeleri
- Kazı çalışmaları
- Patlatmalar

Bu durumlarda boşluk suyunun dışarı çıkması için yeterli zaman bulunmadığından drenajsız davranış meydana gelir.

Yavaş yüklemeler

- Bina yükleri
- Barajlar
- Uzun süreli dolgular
- Kalıcı yapılar

Bu durumlarda boşluk suyu zamanla dışarı çıkar ve drenaj gerçekleşir.

Bu nedenle hem drenajlı hem de drenajsız deneylere ihtiyaç duyulmaktadır.

3.2 Gerilme Yolunun Farklılığı

Arazi içerisindeki her zemin elemanı farklı gerilme değişimlerine maruz kalmaktadır.

Örneğin;

- Temel altında sıkışma,
- Şevlerde kayma,
- İstinat duvarlarında aktif ve pasif durumlar,
- Kazıklarda eksenel yükleme,

farklı gerilme yolları oluşturmaktadır.
Bu nedenle deney sistemleri arazi gerilme yollarını mümkün olduğunca temsil etmelidir.

3.3 Zemin Türlerinin Farklılığı

Kumlarda drenaj hızlı gerçekleşirken killerde boşluk suyu basıncı önemli hale gelir.

Bu nedenle:

- Kumlu zeminlerde drenajlı deneyler,
- Killi zeminlerde drenajsız veya kontrollü drenajlı deneyler daha uygun sonuçlar vermektedir.

4. Kayma Mukavemetinin Belirlenmesinde Kullanılan Deneyler

4.1 Direkt Kesme Deneyi

Deney Prensibi

Numune iki parçalı kesme kutusu içerisine yerleştirilir. Belirli bir normal yük altında yatay yönde kesilmeye zorlanır.

Avantajları

- Basit ve ekonomiktir.
- Kumlu zeminlerde uygulanması kolaydır.
- Deney süresi kısadır.

Dezavantajları

- Kırılma düzlemi önceden belirlenmiştir.
- Gerilme dağılımı tam homojen değildir.
- Boşluk suyu basıncı ölçülemez.

Arazi Karşılığı

Direkt kesme deneyinden elde edilen parametreler;

- Şev analizlerinde,
- Dolgu zeminlerinde,
- Geosentetik-zemin ara yüzlerinde,
- Kumlu zeminlerde

kullanılmaktadır.

4.2 Üç Eksenli Basınç Deneyi

Üç eksenli deney, laboratuvar ortamında arazi gerilme koşullarını en iyi temsil eden deneylerden biridir.

Numune çevresel basınç altında eksenel yüklemeye tabi tutulur.

4.2.1 UU Deneyi (Unconsolidated Undrained)

Özellikleri

- Konsolidasyon yapılmaz.
- Drenaja izin verilmez.
- Boşluk suyu basıncı ölçülmez.

Elde Edilen Parametre

Toplam gerilme esaslı drenajsız kayma mukavemeti: c_u

Arazi Karşılığı

- Ani yüklemeler
- Kısa dönem temel davranışı
- Yeni kazılar
- Hızlı dolgu yüklemeleri

4.2.2 CU Deneyi (Consolidated Undrained)

Özellikleri

- Numune önce konsolide edilir.
- Kesme sırasında drenaj engellenir.
- Boşluk suyu basıncı ölçülür.

Elde Edilen Parametreler
• Toplam gerilme parametreleri
• Efektif gerilme parametreleri
aynı deneyden elde edilebilir.

Arazi Karşılığı
• Yol dolguları
• Baraj dolguları
• Temeller
• Kademeli yüklemeler

Bu deney saha koşullarını en iyi temsil eden deneylerden biridir.

4.2.3 CD Deneyi (Consolidated Drained)

Özellikleri
• Konsolidasyon tamamlanır.
• Kesme sırasında drenaja izin verilir.
• Boşluk suyu basıncı oluşmaz.

Elde Edilen Parametreler
• c'
• ϕ'

Arazi Karşılığı
• Uzun süreli temel davranışı
• Kalıcı yapılar
• Uzun dönem şev stabilitesi
• Kumlu zeminler

4.3 Serbest Basınç Deneyi
Bu deney yalnızca kohezyonlu ve kendi kendine durabilen numunelere uygulanmaktadır. Kayma mukavemeti: $c_u=q_u/2$ bağıntısından hesaplanır.

Arazi Karşılığı
• Doygun killer
• Kısa dönem yükleme koşulları
• Hızlı stabilite analizleri

4.4 Vane Kesme Deneyi
Özellikle çok yumuşak killerde kullanılan bir yöntemdir.

Numune içerisine yerleştirilen kanatlı sistem döndürülerek kayma mukavemeti belirlenir.

Arazi Karşılığı
• Hassas killer
• Organik killer
• Yumuşak zeminler

4.5 Halka Kesme (Ring Shear) Deneyi
Bu deney çok büyük deformasyonların oluşturulmasına olanak vermektedir.

Arazi Karşılığı
• Heyelan analizleri
• Tekrarlayan kaymalar
• Artık mukavemet belirlenmesi

5. Deney Sonuçlarının Arazi Yükleme Koşullarıyla İlişkisi

Deney Türü	Drenaj Durumu	Elde Edilen Parametre	Arazi Koşulları
UU Triaxial	Drenajsız	c_u	Ani yükleme
CU Triaxial	Konsolide-Drenajsız	c_u, c', ϕ'	Dolgular, temeller
CD Triaxial	Drenajlı	c', ϕ'	Uzun dönem davranış
Direkt Kesme	Genellikle drenajlı	c', ϕ'	Şevler ve dolgular
Serbest Basınç	Drenajsız	c_u	Yumuşak killer
Vane Kesme	Drenajsız	c_u	Hassas killer
Ring Shear	Büyük deformasyon	Artık mukavemet	Heyelanlar

6. Mühendislik Tasarımında Deney Seçimi

Doğru deney seçimi yapılacak analizin türüne bağlıdır.

Temel Tasarımı
• Kısa dönem → UU veya CU
• Uzun dönem → CD

Şev Stabilitesi
• Kısa dönem → UU
• Uzun dönem → CD
• Eski heyelanlar → Ring Shear

Yol ve Baraj Dolguları
• CU deneyleri tercih edilir.

Kumlu Zeminler
• CD veya Direkt Kesme

Yumuşak Killer
• UU
• Serbest Basınç
• Vane Kesme

7. Sonuçlar

Zeminlerin kayma mukavemeti; drenaj koşulları, yükleme süresi, gerilme yolu ve zemin türüne bağlı olarak değişmektedir. Bu nedenle laboratuvar ortamında tek bir deney sistemi ile tüm arazi koşullarının temsil edilmesi mümkün değildir. Geoteknik mühendisliğinde kullanılan direkt kesme, üç eksenli basınç, serbest basınç, vane kesme ve halka kesme deneyleri farklı mühendislik problemlerine yönelik olarak geliştirilmiştir.

Kısa süreli yüklemelerde toplam gerilme parametreleri, uzun süreli yüklemelerde ise efektif gerilme parametreleri kullanılmalıdır. Özellikle üç eksenli deneylerin UU, CU ve CD türleri farklı drenaj koşullarını temsil ederek mühendislik tasarımında güvenilir veriler sağlamaktadır. Bu nedenle deney seçimi yapılırken yalnızca zemin türü değil, aynı zamanda arazide beklenen yükleme süresi ve drenaj koşulları da dikkate alınmalıdır.



Kaynaklar

- Terzaghi and Peck's Soil Mechanics in Engineering Practice
- Theoretical Soil Mechanics
- Principles of Geotechnical Engineering
- Soil Strength and Slope Stability
- ASTM International
- International Society for Soil Mechanics and Geotechnical Engineering

"ŞANTİYE ŞEFLİĞİ DURUM RAPORU 2025" YAYIMLANDI



TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası tarafından, yapı üretim sürecinin en önemli görevlerinden biri olan şantiye şefliğinin mevcut durumunu ortaya koymak amacıyla hazırlanan Şantiye Şefliği Durum Raporu 2025 yayımlandı. Türkiye genelinde 2025 yılına ait yeni yapı ruhsatı verilerinin analiz edildiği raporda; şantiye şefliğinin meslek disiplinlerine göre dağılımı, şantiye şeflerinin yaş ve deneyim profili, üstlenilen iş hacmi, Serbest İnşaat Mühendisliği (SİM) durumu ve bölgesel farklılıklar bütüncül bir çerçevede değerlendiriliyor. Şantiye Şefliği Durum Raporu 2025, yalnızca mevcut durumun tespit edilmesini değil, şantiye şefliği kurumunun güçlendirilmesine yönelik düzenlemeler ve politika üretimi için bilimsel bir tartışma zemini oluşturmayı amaçlıyor. Raporda şantiye şeflerinin mesleki eğitimi ve belgelendirilmesi ile şantiye şefliğinin gerçek anlamda tam zamanlı ve etkin biçimde yürütülmesini sağlayacak yasal ve idari düzenlemelerin hayata geçirilmesinin zorunlu olduğu vurgulanıyor. Toplumun güvenli, sağlıklı ve nitelikli yapılarda yaşama hakkının korunması açısından şantiye şefliği hizmetinin güçlendirilmesi gerektiğinin altı çizilen Rapor; kamuoyunun, meslektaşların, kamu kurumlarının, yerel yönetimlerin, akademinin ve ilgili tüm kişi ve kuruluşların değerlendirmesine sunuluyor. Rapora ulaşmak için karekotu okutunuz.

RESMİ GAZETEDEN

Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığından, Binaların Yıkılması Hakkında Yönetmelikte Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik ile Proje ve Kontrolluk İşlerinde Uygulanacak Fiyat Artış Oranları Hakkında Tebliğ 12 Ağustos 2026 tarihli, 33338 sayılı Resmî Gazete'de yayımlandı.