

## ZEMİNLERİN PERMEABİLİTE KATSAYISI VE KONSOLİDASYON ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE BİR ÇALIŞMA: ELAZIĞ ÖRNEĞİ

Müge Elif ORAKOĞLU\*, Cevdet Emin EKİNCİ

### Özet

Bu çalışmada, fiziksel özellikleri belirlenen zeminler üzerinde permeabilite katsayısı ve konsolidasyon özelliklerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Proktor cihazıyla deney numuneleri elde edilmiştir. Proktor kabında sıkıştırılmış deney numunelerinden alınan örnekler üzerinde permeabilite ve konsolidasyon deneyleri yapılmıştır. Elde edilen bulgular dikkate alınarak, zeminlerin permeabilite ve konsolidasyon değerlerine göre rasyonel çözüm önerilerinde bulunulmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Zemin Özellikleri, Konsolidasyon, Permeabilite, Proktor Deneyi

## A STUDY ON THE PERMEABILITY COEFFICIENTS AND CONSOLIDATION PROPERTIES OF SOILS: ELAZIG EXAMPLE

### Abstract

In this study, aimed to determine consolidation characteristics and the permeability coefficient on soils which determined the physical properties. Experiment samples was obtained by proctor test specimens. Taken from test samples on samples compacted by proctor container consolidation and permeability tests were performed. The results obtained by considering the rational based on the values of soil permeability and consolidation solution advises.

**Keywords:** Soil Properties, Consolidation, Permeability, Proctor Test

### 1. Giriş

Bir dolguda, dolgunun sağlıklı çalışabilmesi için mühendislik özelliklerinin yanında, dolguda kullanılan malzemenin özelliklerinin de önemi oldukça büyüktür. Bir yapıya temel olan, arkasında su tutan veya asfalt altındaki bir dolgu malzemesi içerisindeki zemin nasıl bir davranış göstereceği tartışma konusu olmuştur. Bu konuda USBR'nin değişik toprak yapıları üzerindeki kazanımları mevcuttur (Holtz ve Kovacs, 1981). U.S Navy (1986)'ya göre organik olmayan ve çözünme özelliği bulunmayan zeminler modern kompaksiyon gereçleri kullanılarak dolgu malzemesi olarak kullanılabilir. Bununla beraber, aşağıda belirtilen zeminlerin dolgu malzemesi olarak seçimi ekonomik yönden ekstra masraf oluşturabilir:

---

\* Fırat Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi, Yapı Eğitimi Bölümü, Elazığ  
E-posta: [morakoglu@firat.edu.tr](mailto:morakoglu@firat.edu.tr)

- İyi boylanmış zeminler yetersiz kesme gerilmesine ve aşırı sıkışabilme özelliğine sahiptir.
- Düşük kompaksiyon enerjisi ve/veya düşük su içerisinde sıkıştırma sonucunda orta – yüksek plastisiteli killerin şişme potansiyeli yüksektir.
- Yüksek doğal su içeriğine sahip plastik zeminlerin kompaksiyon için doğru su içeriğine getirilmesi oldukça zordur.
- Tabakalanmış zeminlerin oldukça yoğun bir şekilde karıştırılması gerekebilir.

Zeminlerin permeabilite katsayısı ve konsolidasyon özellikleri en çok farklılık gösteren ve diğer faktörlerden en çok etkilenen değerlerdir. Özellikle yeni imara açılmış bölgelerde bu değerlerin doğru olarak tespiti büyük önem taşımaktadır. Yeni imara açılan ya da açılacak bölgelerin iyi bir projelendirme aşamasından sonra zemin-yapı etkileşiminin, dolayısıyla da zeminin geoteknik özelliklerinin bilinmesi gerekmektedir. Bu nedenle bu çalışmada, Elazığ il merkezindeki yeni imara açılan bir bölgenin fiziksel zemin özellikleri, permeabilite katsayısı ve konsolidasyon özellikleri deneysel olarak belirlenmeye çalışılmıştır.

Çalışma alanı olarak Elazığ'da yapılaşmanın yoğun olarak devam ettiği Hilalkent-Malatya Yolu'na ait tarafı incelenmiştir.

## 1. Çalışma Alanının Jeolojisi

Çalışma alanı Elazığ magmatitleri tarafından yüzeylenmiş olup adını Hakkâri-Elbistan arasında geniş yüzeyleyen Yüksekova Karmaşığında almıştır. Yapılan çalışmalarda Elazığ Magmatitleri; magmatik kayalar ( $Ke_2$ ) ve Volcano-sedimanter kayalar ( $Ke_1$ ) olarak ikiye ayrılarak incelenmiştir. İnceleme alanında tabanı görülmeyen Elazığ Magmatitleri'nin üzerine Keban Metamorfiteği tektonik olarak, Harami Formasyonu uyumlu olarak, Kırkgeçit Formasyonu aşıl uyumsuz olarak, Karabakır Formasyonu da uyumsuz olarak gelir. Elazığ Magmatitleri litolojik olarak, tabanda gabro-diyoritlerden, bunların üzerinde bazaltik-andezitik volkanik kayalar ile volkanoklastiklerden ve bunların tümünü kesen granodiyorit-tonalitler ile dasit dayklarından oluşmaktadır.

Bölge alüvyonlar bakımından incelendiğinde; kum-çakıl oranı bölgelere göre değişmekte olup, yer yer kil de bulunmaktadır. Dane boyutu kuzeye doğru büyüme gösterdiğinden, taşınmanın kuzeyden güneye doğru olduğu anlaşılmaktadır.

Ayrıca Elazığ fayı adı verilen fay Hilalkent üzerinden geçerek Elazığ-Malatya Karayolu'nun yakın kuzeyinde yola yaklaşık paralel uzanmaktadır (Palutoğlu ve Tanyolu, 2006).

## 2. Yöntem

Çalışma alanı olarak seçilen Hilalkent'te açılan büyük kazı alanına dolgu zemini olarak kullanılacak zeminlerin üzerinde ilk olarak, geoteknik özelliklerini belirlemek için elek analizi, kıvam limitleri, kompaksiyon deneyleri, malzemenin permeabilite katsayısının bulunması amacıyla düşen seviyeli permeabilite deneyi ve oturma miktarını belirleyebilmek amacıyla konsolidasyon deneyleri yapılmıştır.

Permeabilite zeminlerin en geniş aralıkta değişim gösteren özelliği olup laboratuvar ölçümleri sırasında güvenilirliği etkileyebilecek birçok faktör söz konusudur. Bunlardan bazıları; numune içinde hava kabarcıklarının hapsedilmesi ve buna bağlı olarak doygunluk derecesinin %100'den küçük olması veya numunenin farklı sıklıklarda olmasıdır (Benson and Daniel, 1990). Zemin dokusu ise yine deney sonuçlarında önemli etkiye sahiptir (Mitchell, 1993). Bu tip durumlarda deney sonuçlarında önemli derecede değişiklikler gözlemlenebilir.

### 3. Bulgular

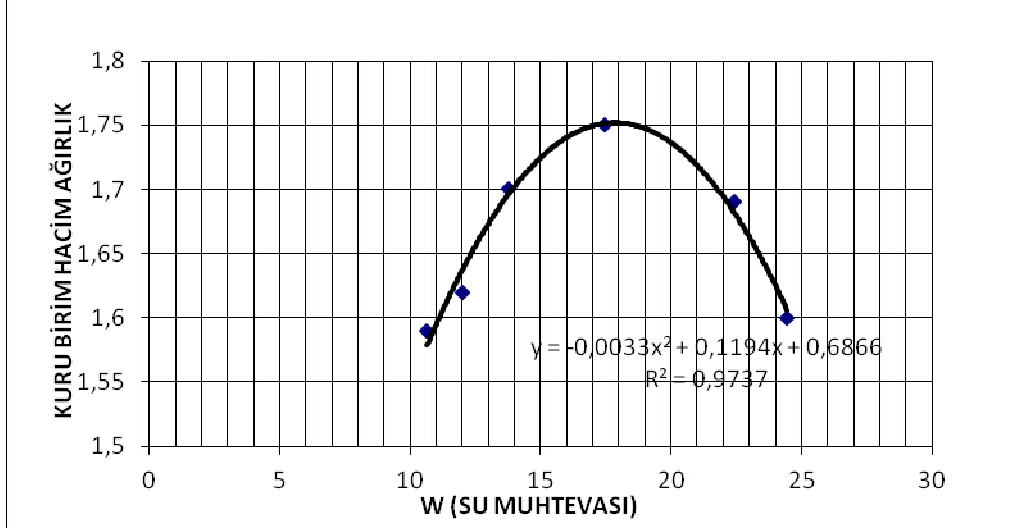
Deneyde kullanılan numunenin zemin sınıfının belirlenmesi amacıyla elek analizi ve kıvam limitleri deneyleri yapılmıştır. Bu deneyler sonucunda zemin likit limit değerinin %31,5 olduğu tespit edilmiştir. Elek analizi ve kıvam limitleri yardımıyla birleştirilmiş zemin sınıflandırma sistemine göre sınıflandırma yapılmış ve zemin sınıfı ML (silli ve killi ince kum) olarak bulunmuştur (Tablo 1).

**Tablo 1.**Elek Analizi ve Kıvam Limitleri Deneylerinden Elde Edilen Sonuçlar

Likit Limit(%)	31,5
Plastik Limit(%)	22,9
Plastisite İndisi	8,6
Kum Yüzdesi(%)	61,23
Çakıl Yüzdesi(%)	12,84
Silt Yüzdesi(%)	15,27
Kil Yüzdesi(%)	10,66
Birleştirilmiş Zemin Sınıfı	ML
Özgül Ağırlık	2,55

İnceleme alanındaki dolgu zemini kohezyonlu bir zemindir. Zemindeki ince kum ve silt varlığı, kuru birim ağırlıklarının kohezyonlu zeminlerdeki kuru birim ağırlıklarına oranla daha yüksek çıkmasına sebep olmuştur (Önalp, 2007; Ekinci, 2008; Uzuner, 2005). Böyle kohezyonlu zeminlerde; sıkıştırmalarında, permeabilite katsayılarının oldukça düşük olmasına bağlı içlerindeki boşluk suyunun dışarı çıkarılmasında ve zamanla oluşacak büyük oturmalar gibi bir takım zorluklarla karşılaşmaktadır. Su içeriklerinin artması durumunda ise zeminde kabarmalar görülebilir (Orakoğlu ve Ekinci, 2010; TS1900-1, 2006; Orhan vd., 2004).

Permeabilite deneyi öncesi numunenin optimum su muhtevasında olması amacıyla numuneye standart kompaksiyon deneyi yapılmıştır. Bu deney sonucunda numunenin maksimum kuru birim hacim ağırlığı  $1,75 \text{ gr/cm}^3$ , optimum su muhtevası % 16,5 olarak bulunmuştur. Şekil 1'de standart kompaksiyon deneyi grafik halinde verilmiştir (Das, 1992; Bowles, 1979).



**Şekil 1.**Standart Kompaksiyon Deney Sonucu

Düşen seviyeli permeabilite deneyi sırasında çeşitli zamanlarda okumalar alınmış ve permeabilite katsayıları hesaplanmıştır. Hesaplanan permeabilite katsayısının ortalaması alındığında ortalama permeabilite katsayısı  $1,728E-5$  cm/sn olarak belirlenmiştir. Deney boyunca alınan okumalar ve hesaplanan permeabilite katsayıları Tablo 2’de verilmiştir. Tablo 2’de gösterilen değerler numunenin doyurulma aşamasındaki değerleri içermemektedir.

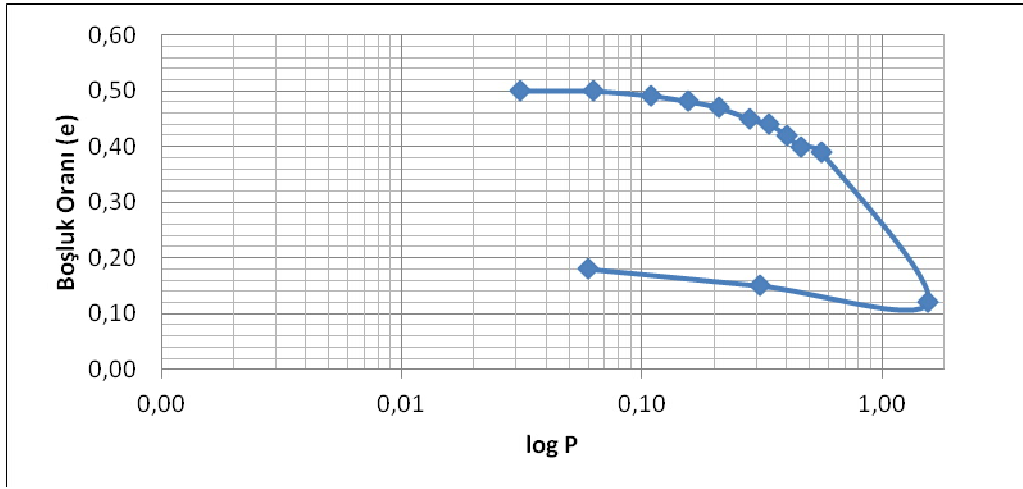
**Tablo 2.** Düşen Seviyeli Permeabilite Deneyi Verileri ve Hesaplanan Permeabilite Katsayıları

Test No	Su düşüş seviyesi (cm)	Zaman (dk)	Permeabilite Katsayısı, (k) cm/s
1	13	120	1,669E-5
2	20	103	1,164E-5
3	23	23	2,358E-5
4	23,5	17	4,010E-6
5	35	90	1,189E-6
6	35,5	134	1,614E-6
7	36,5	1200	6,222E-5
<b>Ortalama</b>			1,728E-5

Casagrande (1932), zemin mekaniğinin konusu olan jeolojik birimlerin (zeminlerin) hafızasının olduğunu, bu birimlere uygulanan gerilmelerin, birimlerin dokularında hapsedildiklerini belirtmiştir. Bir jeolojik birim arazide daha önce etki altında kaldığında gerilmelerden daha yüksek bir gerilmeye maruz kalırsa, bu yeni gerilme etkisinde, dokuyu oluşturan taneler, gözenekler ve diğer bileşenlerin sıkışması ile değişime uğrayarak birimin dokusu daha sağlam hale gelir (Berilgen, 2004; Koca ve Yılmaz, 1999). Bu olaya jeolojide kompaksiyon, zemin mekaniğinde ise konsolidasyon denir. Zeminin veya birimin etkisi altında kaldığı en yüksek gerilmeye ise zemin mekaniğinde ön konsolidasyon basıncı denir. Zeminin gerilmeye uğraması; üzerine bir bina inşa edilmesi veya kıvrımlanma, faylanma ve sünme (krip) gibi jeolojik olaylar sonucunda herhangi bir yönde olabilir.

Optimum su muhtevasında hazırlanan numuneler üzerinde çelik konsolidasyon ringi ile yeni numuneler alınmış konsolidasyon deneyine tabi tutulmuştur. Numunenin ön

konsolidasyon basıncı Casagrande yöntemiyle  $0,48 \text{ kg/cm}^2$  olarak bulunmuştur. Deney sonucuna ait grafik Şekil 2'deki gibidir.



Şekil 2. Numuneye ait Konsolidasyon grafiği

#### 4. Sonuç ve Öneriler

İnceleme alanı Elazığ-Malatya yolu üzerinde kurulan, Elazığ magmatitleri tarafından yüzeylenip tabanda gabro–diyoritlerden, bunların üzerinde bazaltik–andezitik volkanik kayalar ile volkanoklastiklerden ve bunların tümünü kesen granodiyorit–tonalitler ile dasit dayklarından oluşmaktadır. Alüvyonlarında yüzeylendiği bu birimde; kum–çakıl oranı bölgelere göre değişmekte olup, yer yer kil de bulunmaktadır.

Hilalkent'te açılan kazı alanındaki dolgu malzemelerinden alınan numuneler üzerinde elek analizleri ve kıvam limitleri deneyleri sonucunda bölge zemini; kum ve silt oranları yüksek silli veya killi ince kum (ML) olarak belirlenmiştir. Likit limit değeri %31,5, Plastik limit sonucu da %22,9 olarak belirlenmiştir. Bu değerler sonucunda Tablo 3'de verilen TMMOB'ne bağlı inşaat Mühendisleri Odası tarafından zemin sınıflarına bağlı olarak kullanılabilir zemin emniyet gerilmeleri kullanılabilir (TMMOB, 1984).

Tablo 3. Zemin Sınıflarına Bağlı Zemin Emniyet Gerilmeleri

Zemin Sınıfı	Zemin Emniyet Gerilmeleri
Masif volkanik kayalar ve derinlik kayaları, ayrışmış sağlam metamorfik kayalar, çok sert çimentolu tortul kayalar, çok sıkı kum, çakıl ve çok sert kil	245,17 kN/m <sup>2</sup> den fazla
Tüf ve aglomera gibi gevsek magmatik kayalar, süreksizlik düzlemleri bulunan ayrışmış çimentolu tortul kayalar, sıkı kum, çakıl, sert kil	147,10-245,17 kN/m <sup>2</sup>
Yumuşak, süreksizlik düzlemleri bulunan çok ayrışmış metamorfik kayalar ve çimentolu tortul kayalar, orta sıklıkta kum, çakıl, katı kil, sert kil, siltli kil	98,07-147,10 kN/m <sup>2</sup>
Yer altı su seviyesinin yüksek olduğu yumuşak ve kalın alüvyon tabakaları, bataklık tipi ya da çamur tipi deniz doldurması ile oluşan zeminler ve dolgu tabakaları, gevsek kum, yumuşak kil, siltli kil	98,07 kN/m <sup>2</sup> den az

Temel boyutları ve derinliği dikkate alınmadan zemin sınıfına bağlı Tablo 3’de verilenler doğrultusunda zeminin emniyet gerilmesini 98,07-147,10 kN/m<sup>2</sup> aralığında seçmek uygun olacaktır.

Özgül ağırlık deneyinde zeminin özgül ağırlık değeri 2,55 gr/cm<sup>3</sup> olarak bulunmuştur. Bu değer diğer sonuçlara göre normal olduğu söylenebilir.

İncelenen zemin kohezyonlu bir zemin olup içlerinde önemli miktarlarda kum ve silt bulunmaktadır. Bu sebeple kuru birim hacim ağırlık normal killi zeminlerin kuru birim hacim ağırlıklarından daha yüksek değerdedir. Yapılan proktor deneyinde maksimum kuru birim hacim ağırlığı 1,75 gr/cm<sup>3</sup>, optimum su muhtevası % 16,5 olarak bulunmuştur. Siltli kum olarak belirlenen bu zemin sıkıştırıldığında ve doyduğunda kayma dayanımı orta-iyi, sıkışabilirlik karakteri düşüktür.

İnceleme zemininin permeabilite katsayısı zemin doygunluğa ulaştıktan sonra tekrarlanan 7 deneyin ortalaması alınarak 1,728E-5cm/sn olarak belirlenmiştir. Zeminlerin permeabilitelerinin birçok inşaat işlemlerinin güçlüğü ve maliyeti üzerinde önemli etkisi vardır. Permeabilite katsayısının küçük olduğu killerde konsolidasyon hızı permeabiliteye bağlıdır. Permeabilite katsayısının büyük olduğu geçirgen zeminlerden sızan sular bu zeminlere bir basınç uygularlar. Sızıntı basıncı olarak tanımlanan bu su basıncı çok büyük olabilir. Bu sızıntı basıncının zeminlerde bir oyuntu meydana getirmemesi için sızan bu sular kuyulara, kanallara veya temellerin altına yerleştirilen drenlere doğru sevk edilmelidir (Orhan ve Ulusu, 2001).

Şekil 2 incelendiğinde numunenin gerilmeye bağlı olarak boşluk oranında ciddi bir değişim olduğu görülmektedir. Boşluk oranındaki yüksek değişim miktarı, zeminin arazide standartlara uygun sıkıştırılmadığının bir göstergesidir. Ayrıca kumlu zeminlerin yüksek boşluk oranına sahip olduğu unutulmamalıdır.

Zemin numunesinin kuru birim hacim ağırlığı 1,75 gr/cm<sup>3</sup>, ön konsolidasyon basıncı 0,48 kg/cm<sup>2</sup> ve permeabilite katsayısı 1,728E-5cm/sn olarak belirlenmiştir. Bir zemin numunesinde bir noktaya kadar su içeriği yükseltilerek, daha düşük kompaksiyon enerjisinde daha yüksek bir kuru birim hacim ağırlık değeri sağlanabilir. Farklı sınıflardaki zeminler de farklı kompaksiyon özellikleri (maksimum kuru birim hacim ağırlık ve optimum su içeriği) sunabilmektedir. Aynı kompaksiyon enerjisi uygulansa dahi dolgunun farklı yerlerinde farklı sıkışma miktarları ve kuru birim hacim ağırlık değerleri görülecektir. Bu zeminlerin homojenlik durumlarıyla alakalıdır. Permeabilite bakımından incelendiğinde az geçirgen olarak nitelendirilebilir.

Numunenin oturmaya elverişliliğinin ve ön konsolidasyon basıncının, ilerleyen zamanlarda farklı oturmaya sebep olabileceği düşünülmektedir. Ön konsolidasyon basıncına bağlı olan permeabilite katsayısı incelendiğinde tane boyu-borulanma ilişkisinde numunenin borulanmaya elverişli olduğu söylenebilir.

Aynı deneylerin arazide yapılarak, arazi ile laboratuvar deney sonuçlarının karşılaştırılması, laboratuvardan alınan sonuçların temel hesaplarında kullanılmasının ne derece güvenilir olduğunun tespit edilmesi bakımından faydalı olacaktır.

## 5. Kaynaklar

- Benson, C.H., Daniel, D.E. (1990). Influence of Clods on Hydraulic Conductivity of Compacted Clay. Journal of Geotechnical Engineering, A.S.C.E, Vol.116, No.8, pp. 1231-1248.
- Berilgen S. A.(2004). Determination of Consolidation Behaviour of Haliç Dredged Material by Using a Seepage Induced Consolidation Testing System. Sigma Dergisi (3), 60-72.
- Bowles, J.E.(1979). Physical and Geotechnical Properties of Soils. McGraw-Hill Book Company.

- Das, B.M. (1992). Soil Mechanics Laboratory Manual. Engineering Press, Texas.
- Ekinci, C. E.(2008). Bordo Kitap: Yapı ve Tasarımcının İnşaat El Kitabı. Data Yayınları, Ankara.
- Ekinci C.E. ve Orakoğlu M. E. (2012). Zeminlerin Mühendislik Özelliklerinin Belirlenmesi Üzerine Bir Çalışma. İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi, 1 (1), 1-6.
- Holtz, R. D., Kovacs, W.D. (1981). An Introduction to Geotechnical Engineering. Prentice-Hall, Londra.
- Koca M. Y. ve Yılmaz H. R. (1999). Gümrük-Üçkuyular (İzmir) Arası Sahil Yolu Temel Taban Zemini Parametrelerinin İstatistiksel Olarak Değerlendirilmesi ve Deniz Tabanında Mevcut Zemin Profili. DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, 1 (3), 29-46.
- Mitchell J., K. (1993). Fundamentals of Soil Behavior. University of California, Berkeley, USA.
- Orakoğlu, M.E. ve Ekinci, C.E. (2010). Elazığ Kent Merkezindeki Kohezyonlu Zeminlerin Kütle Özelliklerinin İncelenmesi. International Science and Technology Conference (ISTEC), Famagusta-Kıbrıs, 263-269.
- Orhan, M., Özer, M. ve Işık, N. (2004). Zemin Mekaniği Laboratuvar Deneyleri. Cilt 1, Ankara.
- Orhan M. ve Ulusu H. (2001). Erzincan Şehir Merkezi Kuzey-Batı Bölümü Zeminlerinin Bazı Özelliklerinin Deneysel Olarak Belirlenmesi. Niğde Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 5(1), 21-34.
- Önalp, A. (2007). Geoteknik Bilgisi 1”, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- Palutoğlu, M., Tanyolu E. (2006). Elazığ İl Merkezi Yerleşim Alanının Depremselliği. Fırat Üniversitesi Fen ve Müh. Bil. Dergisi, 18 (4), 577-588.
- TMMOB (1984). Türkiye Mühendislik Haberleri, İnşaat Mühendisleri Odası Yayını, 3, s 10, Ankara.
- TS 1900-1 (2006). İnşaat Mühendisliğinde Zemin Laboratuvar Deneyleri - Bölüm 1: Fiziksel Özelliklerin Tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Uzunler, B. A.,(2005). Temel Zemin Mekaniği, Teknik Yayınevi. Ankara.