

Doğal Zeminlerin ve Yapay Dolguların Plaka Yükleme Deneyi ile İncelenmesi

Investigation of the Natural Soils and Artificial Fills Using Plate Load Test

Nihat DİPOVA, Bülent CANGİR

Akdeniz Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, ANTALYA

Geliş (received) : 11 Haziran (June) 2012
Düzeltilme (revised) : 14 Kasım (November) 2012
Kabul (accepted) : 21 Kasım (November) 2012

ÖZ

Doğal zeminlerin, zemin iyileştirmesi uygulanmış zeminlerin ve yapay dolguların taşıma gücü ve oturma değerlerinin yerinde doğrudan ölçülebildiği plaka yükleme deney düzeneği, zeminin üzerine oturan rijit bir plakadan, yükün alındığı bir ölü yükten ve bu yükü alttaki plakaya aktaran bir kriko ile oturma miktarını ölçen komparatörlerden oluşmaktadır. Günümüzde, doğal zeminlerden daha çok karayolu, baraj gövde dolguları ve havaalanlarında dolgu sıkıştırma kontrolü amacıyla tercih edilmektedir. Plaka yükleme deneyi kaya ortamlar üzerinde de uygulanmaktadır. Basit bir düzeneğe sahip olması ve hızlı sonuç vermesi gibi avantajlarının yanı sıra deneyin bazı sınırlı yönleri de vardır. Etki derinliği problemi bunlardan en önemlisidir. Deney sonuçları, zeminin doğal yoğunluk ve nem miktarına bağlı olarak değişmektedir. Yapılan örnek uygulamalarda, zayıf kayaların ve suya hassas zayıf çimentolu zeminlerin gerilme - deformasyon ilişkisinin de plaka yükleme deneyi ile belirlenebileceği görülmüştür. Bu çalışmada; özellikle dolgu zeminlerin taşıma gücünün belirlenmesinde avantajlara sahip olan plaka yükleme deneyinin ayrıntıları ve deney sonunda elde edilebilecek verilerin yorumlanabilmesi için dikkat edilmesi gereken hususlar belirtilmiş ve örnek uygulamalar sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Dolgu zemin, Oturma, Plaka yükleme deneyi, Taşıma gücü.

ABSTRACT

A plate load test apparatus, which can be used for direct measurement of bearing capacity and settlement of natural soils, improved soils and man-made fills, consists of rigid plates located on the ground, a dead load to apply pressure on the soil, a jack to transfer load and dial gauges to measure deflection. Nowadays, this test is preferred for artificial fill compaction control of motorways and airfields more than the natural soils. The plate load test can also be used on rocks. Besides having simple components

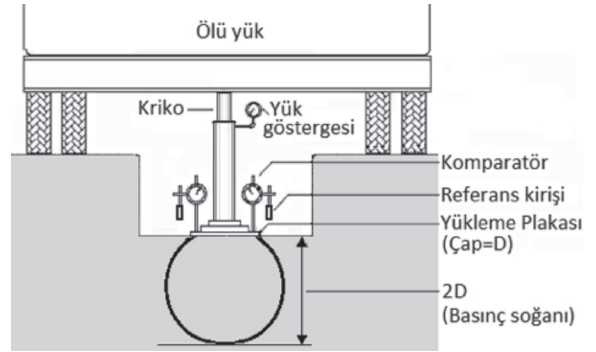
and giving results quickly, the test has some limitations. Shallow depth of influence is the most important limitation. Test results are affected by humidity and density of the natural soil. In this study; details of the plate load test procedure are given which have advantages especially in determination of bearing capacity and settlement of fill grounds, important aspects which should be attended to interpret test results are emphasized and some sample cases are presented.

Key Words: Fill ground, Settlement, Plate load test, Bearing capacity.

GİRİŞ

Yüzeysel temellerin taşıma gücünün belirlenmesine yönelik birçok yöntem bulunmaktadır. Laboratuvar deneyleri yardımıyla zemin cinsine göre kesme kutusu, üç eksenli basınç, serbest basınç, Kaliforniya taşıma oranı (CBR) ve konsolidasyon deneyleri ile zemin parametreleri elde edilerek analizler yapılmaktadır. Taşıma gücü değerlerinin belirlenebildiği arazi deneyleri arasında koni penetrasyon, standart penetrasyon, presiyometre ve plaka yükleme deneyleri yer almaktadır. Başarılı örselenmemiş örnek alınmasının veya penetrasyonun çok zor olduğu iri taneli zeminler, zayıf veya ayrışmış kayalar ve yapay dolgularda plaka yükleme deneyi tüm diğer deneylere göre avantajlı duruma geçmektedir. Taşıma gücü ve oturmanın yerinde doğrudan ölçülebildiği plaka yükleme deney düzeneği, zeminin üzerine oturan rijit bir plakadan, üstte yükün uygulandığı bir ölü yükten ve bu yükü alt plakaya aktaran bir kriko ile oturma (veya çökme) miktarını ölçen komparatörlerden oluşmaktadır (Şekil 1). Deney sırasında plakaya uygulanan yük ile plakanın yapacağı oturma komparatörler ile belirlenir. Elde edilen veriler ile yük-oturma ilişkisinden zeminin güvenle taşıyabileceği yük bulunur. Plaka yükleme deneyi, doğal zeminlerin taşıma gücünün belirlenmesinin yanı sıra günümüzde

daha çok karayolu ve havaalanlarında dolgu sıkıştırma kontrolü amacıyla kullanılmaktadır.



Şekil 1. Plaka yükleme deney düzeneği.

Figure 1. Plate load test set-up.

Plaka yükleme deneyi, üzerine çok büyük yapıların inşa edileceği zeminler için çok güvenilir sonuçlar vermese de özellikle dolgu yapılan zeminlerin kalitesi ve taşıma gücünün belirlenmesinde oldukça başarılı bir deneydir. Plaka yükleme deneyi, ilgili standartlarda DIN 18134, 1999; BS 5930, 1999; ASTM D1196, 1997; TS 5744, 1988 tanımlanmıştır. Genel olarak zeminin yapı genişliğinin 2 - 3 katı derinliğe kadar homojen olduğu, örselenmemiş zemin örneği alınmadığı veya çok güç alınabildiği durumlarda plaka yükleme deneyine

başvurulmaktadır. Plaka yükleme deneyi, kaya ortamlar üzerinde de uygulanmaktadır (Coates ve Gyenge, 1966; Gökay, 1988; Hobbs, 1975).

Deneyin bazı dezavantajları da vardır. Bunlardan en önemlisi, etki derinliği problemi. Plaka yükleme deneyinde etki derinliği, plaka çapının 2 katıyken, temellerin yük etki alanları çok büyük olduğundan homojen olmayan zeminlerde sonuçlar yanıltıcı olabilmektedir. Deney sonuçları, zeminin doğal yoğunluk ve rutubet miktarına bağlı olarak değişmektedir. Kumlu zeminlerde taşıma gücü temel boyutlarına göre değişiklik gösterdiğinden, yapılan plaka yükleme deneyi sonuçları, plaka boyutları ve temel boyutları arasındaki ölçek farkından dolayı yanıltıcı olabilir. Killi zeminlerde ise taşıma gücü temel boyutlarından bağımsız olduğu için, plaka yükleme deneyi gerçek temel için kullanılabilir fakat kısa süreli bir deney olduğu için, suya doygun kil zeminlerde oturmaya bağlı taşıma gücü hesabı yapılması uygun değildir. Bu çalışmada; plaka yükleme deneyi tanıtılacak, uygulamada karşılaşılan zorluklar vurgulandıktan sonra örnek uygulamalar verilerek kullanım alanları açıklanacaktır.

DENEY EKİPMANLARI

Deney ekipmanı deneyle ilgili standartlar olan DIN 18134, 1999; BS 5930, 1999; ASTM D1196, 1997 standartlarında tanımlanmıştır. Aşağıda bu ekipmanlar tanıtılacak ve uygulama ile ilgili önemli ayrıntılar vurgulanacaktır.

Hidrolik kriko: Araziye yapılan plaka yükleme deneylerinde zemine normal yükün verildiği hidrolik kriko (10-20 ton kapasiteli), pompa bölümü ve piston bölümü (Şekil 2A) olmak üzere iki parçadan oluşmaktadır. Bu iki ünite

arası hidrolik hortum ile bağlanarak pistonu yağ basma sırasındaki hidrolik deney düzeneği sarsılması en düşük seviyeye indirilmiş olmakta, ölçülen düşey deformasyon verilerini pompa titreşiminin etkilemesi önlenmektedir. Pompa üzerine bağlı manometre ile uygulanan yük okunabilmektedir. Gelişmiş deney düzeneklerinde bu ölçüm elektronik yük sensörleri yardımı ile yapılmaktadır. Ölçümün doğruluğunu sağlamak için kriko düzeneği sık aralıklarla kalibre edilmelidir. Kriko için diğer bir önemli husus da sızdırmazlıktır. Hidrolik bağlantı elemanları ve sızdırmazlık keçeleri kullanıma bağlı olarak gevşeyip yağ sızdırabilmektedir. Bu durumda yükün sabit tutulması ve yüksek yük kademelerine ulaşılması zorlaşabilmektedir. Araziye çıkmadan önce bağlantı ve sızdırmazlık elemanları kontrol edilmeli, arazide anahtar takımı ve yedek yağ bulundurulmalıdır.

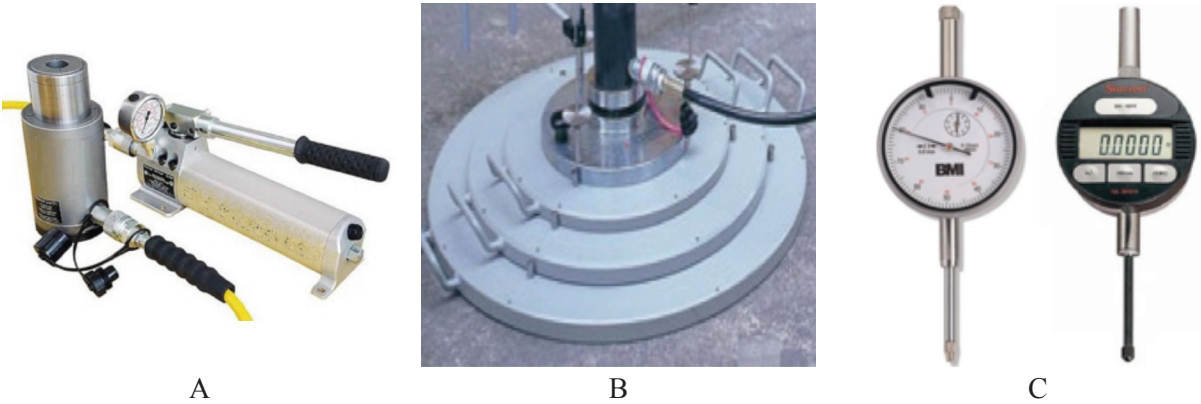
Plakalar: Zemine gerilme aktarmak için çelikten yapılmış çapı 16, 30, 45, 60, 75 cm olan rijit dairesel veya kare plakalar kullanılır (Şekil 2B). Uygulamada genelde 30 cm çaplı plakalar kullanılmakla birlikte ulaşılması istenilen gerilme ve kullanılan ölü yük ağırlıklarına bağlı olarak plaka çapları değişebilir. Deney boyunca plakanın rijit olarak davranması gerektiğinden plaka kalınlığının 25 mm den az olmaması gerekir. Büyük plakalar kullanılması gerektiğinde takımdaki küçük plakalar da üzerine konmalıdır. Üst üste yerleştirilen plakaların ve pistonun birbirini merkezlemesi gerekir. Bunu sağlamak için plakalarda merkezleme pimleri veya işaret çizgileri bulunmalıdır.

Komparatörler: Komparatör, yaylı bir pim ve buna bağlı kadrandan oluşan bir tür hassas cetveldir. Plaka yükleme deneyinde, plakanın düşey hareketini gösteren 3 adet, 0.01 mm

hassasiyetli (kalibreli) ve 30 mm (tercihen 50 mm) ölçme sığalı komparatör saati kullanılır. Aynı hassasiyete sahip elektronik komparatörler de kullanımı kolaylaştırmak açısından tercih edilebilir (Şekil 2C). Gelişmiş deney düzeneklerinde potansiyometrik veya LVDT deformasyon sensörleri kullanılarak ölçümler doğrudan bilgisayara aktarılmaktadır. Mekanik komparatörler ucuz ve kolay temin edilebilir olmakla birlikte kullanımı zordur. Her deneyin başlangıcında komparatörlerin bağlanması ve sıfırlama işlemi zaman almaktadır. Elektronik komparatör veya deformasyon sensörü kullanıldığında bu işlem daha da kolaylaşmakta fakat arazi koşullarında hasar görme durumunda yenilenmesi maliyetli ve zaman alıcı olmaktadır. Araziye çıkarken 1 takım yedek komparatör alınması yerinde bir tedbir olacaktır.

oluşturma aşırı maliyetli olabilir. Çok sayıda deney yapılmak istendiğinde yeri kolaylıkla değiştirilebilen, sabitlenince yerinden hareket etmeme özelliğine sahip iş makinelerinin kullanılması zaman ve para tasarrufu sağlar. Bu makineler en az 30 ton ağırlıklarında olmalı ve krikonun yaslanarak reaksiyon almasına izin vermelidir. Yüklemenin dengeli yapılabilmesi için kriko bu iş makinelerinin ağırlık merkezine yakın bir yere yerleştirilmelidir. İş makinasının hafif olması ve krikonun ağırlık merkezine yerleştirilmemesi, büyük yük kademelerinde makinenin yerinden oynamasına ve yüklemenin eksantrik hale gelmesine neden olabilecektir.

Referans kirişi: Plakanın ne kadar oturma yaptığı referans kirişi kullanılarak ölçülür. Referans kirişi deney boyunca sabit kalmalı ve



Şekil 2. A) Hidrolik kriko, B) Plakalar, C) Analog ve elektronik komparatörler
Figure 2. A) Hydraulic jack, B) Plates, C) Analog and electronic dial indicators.

Ölü yük: Krikoya yük aktarmak amacıyla arazide 2 noktadan zemine sabitlenmiş, ortasında deney yapılabilecek beton, çelik veya kum torbalarından oluşturulan ölü yükler kullanılır. Büyük yükler gerektiğinde bu şekilde ölü yük

plakanın deformasyonundan etkilenmemelidir. Kiriş, arası en az 5 - 6 m olan 2 ayakla zemine sabitlenir. Üzerinde, komparatörlerin sağlam bir şekilde sabitlenmesine izin verecek şekilde boru, kutu profil veya diğer profil kesitlerinden biri

olabilir. Profilin kesiti, rüzgardan etkilenmeyecek ve kendi ağırlığından sehim yapmayacak şekilde belirlenmelidir. Uzun sürecek deneylerde, sıcaklık farkları bile ölçüm hassasiyetini etkiler. Bu nedenle kirişin doğrudan güneş ışınlarına maruz kalmaması sağlanmalıdır. Çok sıcak iklimli bölgelerde çalışılıyorsa referans kirişinin metal yerine sert ahşaptan yapılması daha yararlı olacaktır.

Yardımcı ekipman: Yukarıdaki ana ekipmana ilave olarak bazı tamamlayıcı aletlerin de arazide bulundurulması gerekir. Kazma, kürek, mala benzeri aletler zeminin kazılması ve tefsiye edilmesi için gereklidir. Su terazisi ile plakanın yataylığı kontrol edilir. Bir kronometre ölçüm aralıklarının hassas belirlenmesini sağlar. Bir anahtar takımı arazide ortaya çıkacak küçük mekanik arızaların giderilmesine yardımcı olur.

DENEYİN UYGULANMASI

Deney zemin yüzeyinde veya istenen zemin derinliğine kadar kazılmış yüzeylerde yapılır. Zemin üstündeki bitkisel toprak kaldırılır, plaka pürüzsüz bir yüzeye yerleştirilir ve teraziye alınır. Plakanın altına, farkına varılmayan iri bir blok veya taş denk gelmişse, bu, deney sırasında plakanın olması gerekenden az veya dengesiz oturmasına sebep olacaktır. Fark edildiği anda deney sonlandırılmalı ve farklı bir yerde deney yapılmalıdır. Eğer zemin pürüzlüyse ve plaka ile teması tam sağlanamıyorsa zemin yüzeyine kum tabakası serilerek tesviye edilir. Plaka üzerine yükleme krikosu yerleştirilir ve krikonun diğer

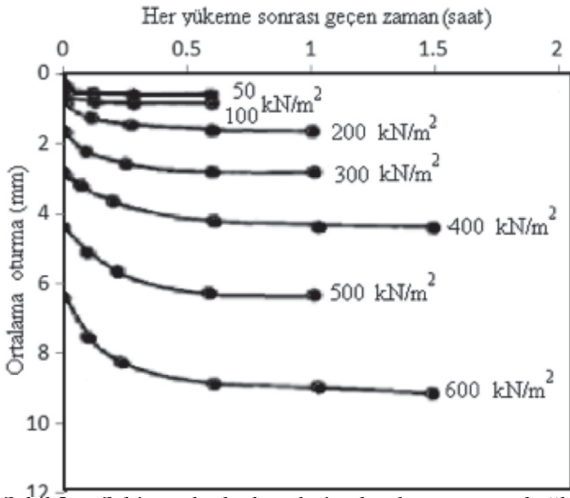
ucu ölü yük altına yaslanır. Plakanın zemine iyi yerleşmesini sağlamak amacıyla DIN 18134 (1999) standardında 30 sn süre ile 0.01 MPa gerilmeye karşılı gelecek bir önyüklemeye öngörülmektedir. Deney için çukur açılacaksa, bu çukurun genişliği, plâka genişliğinin en az 4 katı kadar olmalıdır. Plâka yükleme deneyinde ayrıca, aşağıdaki ilişkinin sağlanması istenilir.

$$\frac{D_t}{B_t} = \frac{D_p}{B_p} \quad (1)$$

Burada; D_t : temel derinliği, B_t temel genişliği, D_p : plâka derinliği, B_p : plâka genişliği.

Yükleme genellikle yük-deformasyon eğrisinde en az altı nokta elde edecek şekilde veya tahmini taşıma gücünün 1/8'ini oluşturacak yük kademelerinde yapılır. Deney esnasında uygulanan yükün sabit kaldığı manometreden kontrol edilmelidir. Her yükleme kademesinde oturmanın sona erdiğinden emin oluncaya kadar beklenir. Bu süre, yük kademesine ve zemin türüne göre değişir. Kil oranı arttıkça bu süre artar. Küçük yük kademelerinde oturmanın sabit hale gelmesi 10-15 dakikada sağlanırken, büyük yük kademelerinde bu süre 1 saatin üzerine çıkabilmektedir (Şekil 3). Toprak zeminde yapılan plaka yükleme deneyi 25 mm'lik düşey deformasyon elde edilinceye kadar sürdürülür. Craig (1992), yüklemenin, tahmini izin verilen taşıma gücünün 1.5 katına kadar sürdürülmesini öngörmektedir. Ancak zemin çok sağlam ise hidrolik pompanın azami kapasitesine ulaşıldığında yüklemeye son verilebilir.

Dipova ve Cangir



Şekil 3. Sabit yük kademeleri altında zamana bağlı ortalama oturma grafiği (Clayton vd.,1995).

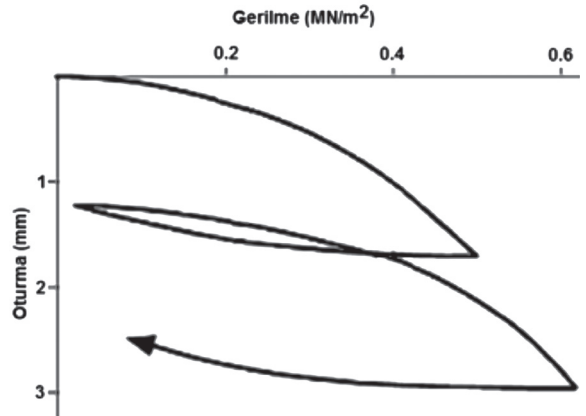
Figure 3. Time dependent settlement curves under constant load (Clayton et al.,1995).

Plakanın oturması, yükleme sisteminin etki alanı dışında sabitlenen referans kirişlerine yaslanmış komparatörlerle ölçülür. En az 3 adet 1/100 mm hassasiyetinde komparatör, plakanın oturmasını dengeli bir şekilde ölçebilecek şekilde, eşit uzaklıklarda yerleştirilmelidir.

DENEY SONUÇLARININ GÖSTERİMİ

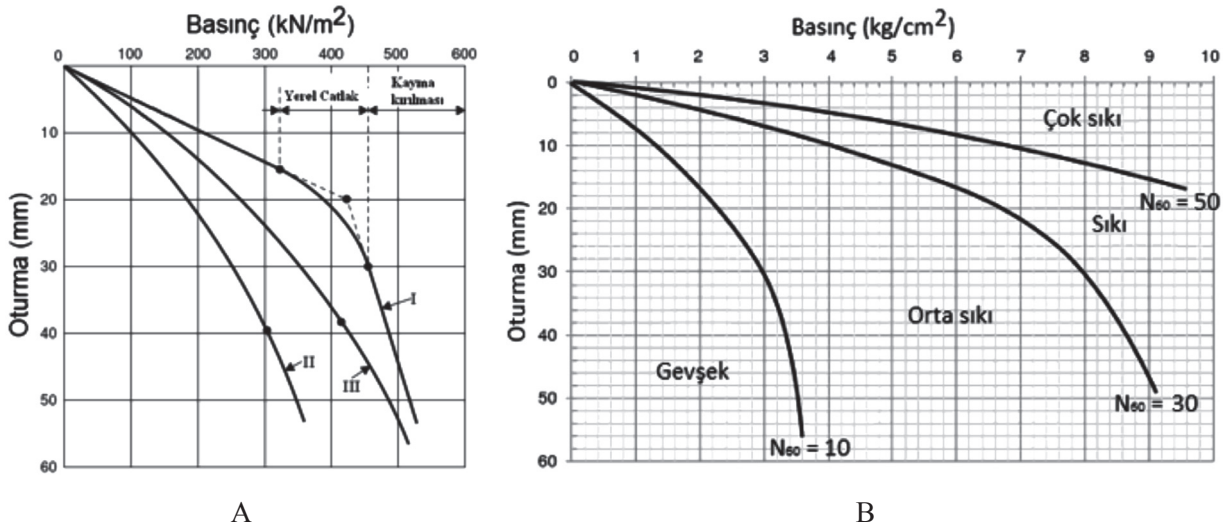
Plaka yükleme deneyi kademeli olarak tekrarlanan yükleme ve boşaltmalardan oluşan bir düzende yapılır. Deney sonuçları, grafik olarak genelde plakaya uygulanan gerilme (q) yatay eksende, plakanın oturması (s) düşey eksende olacak şekilde gösterilir. Tekrarlı

yüklerin söz konusu olduğu yol, havaalanı pisti gibi uygulamalar için DIN 18134, 1999 ve ASTM D1195, 1997 standartlarında 1 veya 2 döngü olarak yük geri boşaltma öngörülmektedir (Şekil 4). Deney sonucunda elde edilen yük - oturma eğrisi farklı zemin grupları için karakteristik şekiller almaktadır. Şekil 5A'da birinci eğri sıkı kum, kum, çakıl ya da sert killer için geçerlidir. Bu tür zeminlerde genel kayma kırılması oluşur. İkinci eğri ise gevşek kum ve yumuşak killer için geçerli olup burada yerel kayma kırılması gerçekleşir. Üçüncü eğri, birinci ve ikinci zemin özelliklerine göre ortalama bir zemine ait kırılma eğrisini göstermektedir. Şekil 5B'de ise kumlarda yapılan plaka yükleme deneyi sonuçlarına göre zeminin sıklığı ve eşdeğer SPT N değerleri gösterilmektedir.



Şekil 4. Tipik bir gerilme - oturma - boşaltma grafiği.

Figure 4. Typical stress - settlement - unloading curve.



Şekil 5. A) Farklı zemin grupları için basınç - oturma eğrileri (Venkatramaiah, 1993), B) Kumlarda plaka yükleme deneyi eğrisi ile zemin sıklığı arasındaki ilişki (Terzaghi ve Peck, 1948).

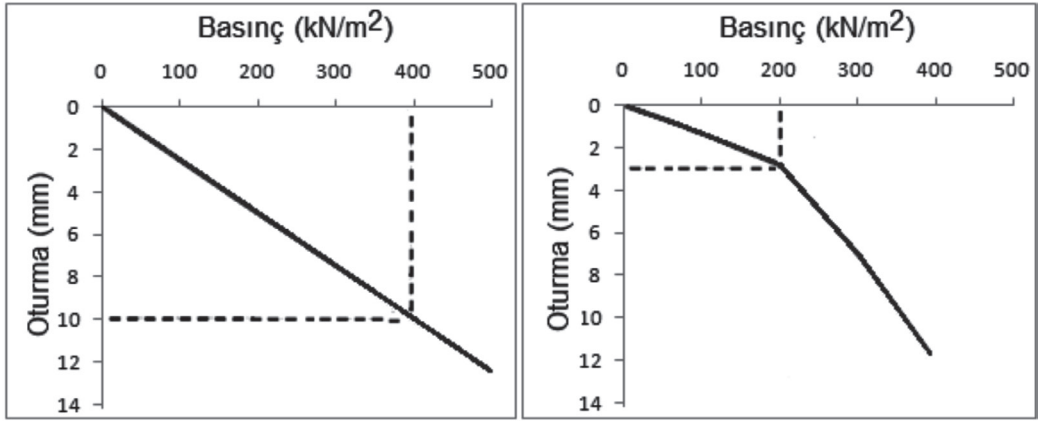
Figure 5. A) Stress - settlement curves for soil groups (Venkatramaiah, 1993), B) Relationship between plate load test curve and soil density (Terzaghi and Peck 1948).

DENEY SONUÇLARINDAN ELDE EDİLEN PARAMETRELER

Zemin Güvenli Taşıma Gücü (q_{em}): Plaka yükleme deney sonuçlarından elde edilen verilere göre gerilme-oturma eğrisi çizilir. Eğri 10 mm oturmaya ulaşıncaya kadar bir kırıklık göstermeden düzgün devam ediyorsa, 10 mm oturmaya karşı gelen gerilmenin (q_s) yarısı, zemin taşıma gücü (q_{em}) olarak tanımlanmaktadır (Şekil 6A). Oturma - gerilme eğrisinde, kırılma gözleniyorsa, bu noktadaki plâka sınır taşıma gücü, 2-3 gibi bir güvenlik sayısına bölünerek, plâka güvenli taşıma gücü bulunur (Şekil 6B). Sıkı ve sert zeminlerde genel kayma kırılması

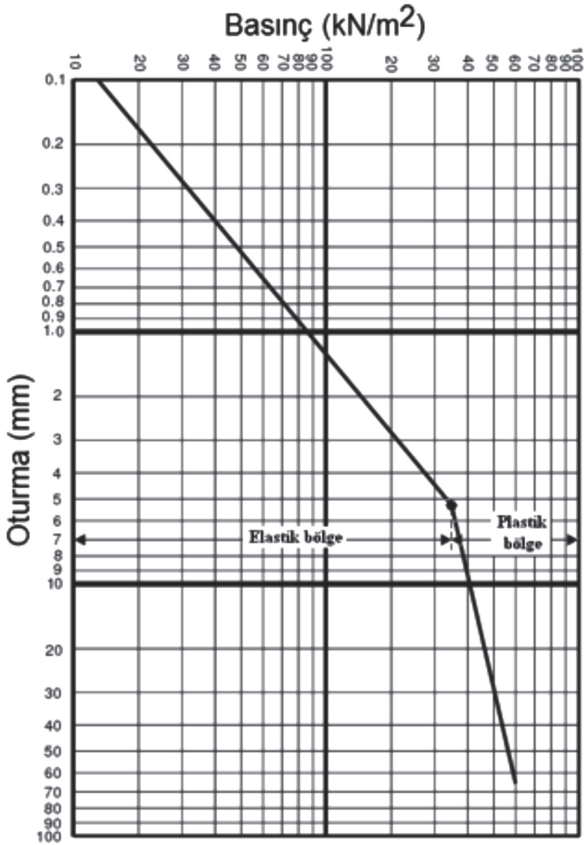
oluşur ve oturma - yük eğrisinde kırılma noktası belirgindir. Buna karşılık, bölgesel (yerel) kayma kırılmasının olduğu gevşek veya yumuşak zeminlerde, oturma-yük eğrisinde kırılma noktası belirgin değildir. Böyle bir durumda iki yol izlenebilir. Birinci seçenek olarak oturma - gerilme eğrisi her iki eksenin de logaritmik olduğu eksen takımında çizilir. Oturma (log) - gerilme (log) eğrisinin başlangıç ve son kısımları doğrusal olup, bu doğrusal kısımların kesişme noktası kırılma noktasını verir (Şekil 6C). İkinci olarak da plaka çapının % 15'ine karşılık gelen değer son taşıma gücü değeri olarak alınabilir (Yıldırım, 2009).

Dipova ve Cangir



A

B



C

Şekil 6. Basınç – oturma grafiğinden taşıma gücünün belirlenmesi.

Figure 6. Determination of bearing capacity from stress - settlement curves.

Deneyden elde edilen güvenli taşıma gücünden; temelin güvenli taşıma gücü belirlenebilir. Kohezyonlu zeminlerde taşıma gücü temel boyutundan bağımsız olup, zemin güvenli taşıma gücü aşağıdaki bağıntıyla belirlenir:

$$q_{em (temel)} = q_{em (plaka)} \quad (2)$$

Kohezyonsuz (taneli) zeminlerde ise, taşıma gücü, temel genişliği ile orantılı olarak arttığından, güvenli taşıma gücü eşitlik 3 ile belirlenir:

$$q_{em(temel)} = q_{em (plaka)} \frac{B_t}{B_p} \quad (3)$$

B_t = Temel Genişliği,

B_p = plaka derinliği

Temelin Oturması (s): Plaka yükleme deney sonuçlarından yararlanarak killi zeminlere oturan temellerin oturmaları eşitlik 4 kullanılarak tahmin edilebilir.

$$St = Sp^*(B_t/B_p) \quad (4)$$

Granüller zeminler için ise eşitlik 5 kullanılabilir.

$$St = Sp \cdot \left(\frac{Bt \cdot (Bp + 0,3)}{Bp \cdot (Bt + 0,3)} \right)^2 \quad (5)$$

Burada St temelin oturması (m), Sp plakanın oturmasıdır (m) (Terzaghi ve Peck, 1948).

Elastisite Modülü (E): Plaka yükleme deneyinden elastisite modülü (E) aşağıdaki bağıntı ile hesaplanabilir:

$$E = \left(\frac{\Delta q}{\Delta s} \right) \frac{\pi b}{4} (1 - \nu^2) \quad (6)$$

Burada Δq gerilme - oturma eğrisinde iki nokta arasındaki gerilme farkı, Δs gerilme - oturma eğrisinde iki nokta arasındaki oturma farkı, ν Poisson oranı ve b plaka çapı veya genişliği olarak tanımlanır (Clayton vd.,1995).

Yatak Katsayısı (k): Elastik bir zemine oturan temellerin herhangi bir noktasındaki oturmanın (S), aynı noktadaki taban basıncına (q) oranına yatak katsayısı (k) adı verilir. Yatak katsayısı değerleri plaka yükleme deneyleri ile elde edilebilir. B genişliğindeki bir temel q gerilmesi altında S kadar bir oturma meydana getirirse, bu durumda düşey yatak katsayısı (k_v):

$$k_v = \left(\frac{\Delta q}{\Delta s} \right) \quad (7)$$

şeklinde bulunur. Deney sonuçlarından çizilen q-S grafiği doğrusal ise k değeri tüm deney için aynı değeri alacaktır. Grafik eğrisel olduğunda ise p ve S değerinin konumuna göre k değeri değişecektir. Bowles (1996), yatak

katsayısı olarak başlangıç doğrusal kısmın eğimini almıştır. Hunt (2007), yatak katsayısını, arazi verisinin logaritmik grafiğinden elde ettiği yenilme değerinin yarısına karşılık gelen koordinatlar için hesaplamıştır.

Deneyde yüklenen plaka boyutları ile gerçek temel boyutları farklı olduğundan, yükleme deneyi ile bulunan yatak katsayısı kullanılırken dikkatli olunmalıdır. Yükleme plakası altında oluşan gerilme soğanı, plaka çapının yaklaşık 2 katı derinlikte önemli derecede azalmakta, oysa temel zeminin etki derinliği daha fazla olmaktadır (Şekil 7). Plaka yükleme deneyinden elde edilen yatak katsayısı değerleri, büyük yükler taşıyan geniş temel plakalarının hesabında kullanılmadan önce düzeltme işlemine tabi tutulmalıdır. Bu nedenle plaka yükleme deneyleri ile elde edilen yatak katsayısı değerleri, düzeltilmeden kullanılmaları durumunda ancak hareketli yükler altındaki uçak pisti ve yol kaplamalarının hesabında kullanılabilir. Temel için yatak katsayısı K_s ve plaka yükleme deneyinden elde edilen k_p arasında Terzaghi (1955) tarafından killi zeminler için aşağıdaki eşitlik önerilmiştir.

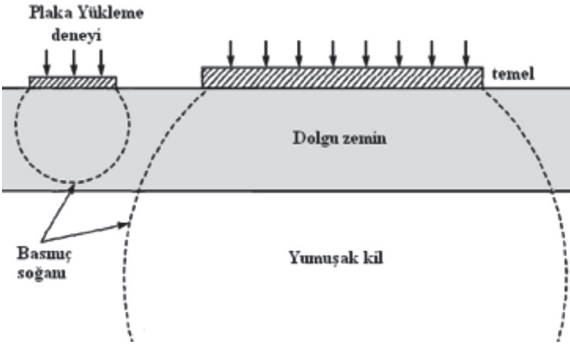
$$K_s = \left(\frac{Bp}{Bt} \right) k_p \quad (8)$$

Burada Bp , kullanılan plakanın boyutunu gösterirken, Bt tasarlanan temelin boyutunu göstermektedir. Kumlu zeminlerde ise K_s , Terzaghi'ye göre:

$$K_s = \left(\frac{Bt + Bp}{2Bt} \right)^2 * k_p \quad (9)$$

şeklindedir.

Dipova ve Cangir



Şekil 7. Plaka ve temel boyutlarına bağlı olarak zemin içerisinde oluşan basınç soğanları.

Figure 7. Pressure bulbs which occur depending on plate and foundation dimensions.

Drenajsız Kayma Mukavemeti (S_u): Killi zeminlerde plaka yüklemesi deneyi ile drenajsız kayma mukavemetinin değeri tahmin edilmek isteniyorsa plaka, kriko ile sabit hızda penetrasyon verecek şekilde aşağıya doğru bastırılır. Aşağıdaki eşitlikle sınır taşıma gücünden (q_s) yararlanılarak S_u bulunur.

$$S_u = \frac{qs - \gamma H}{Nc} \quad (10)$$

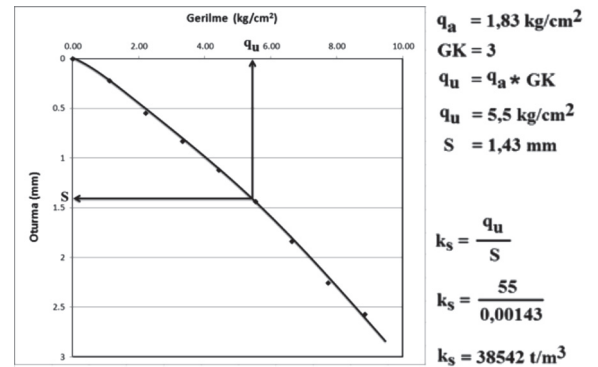
Burada γ zeminin ortalama birim hacim ağırlığı, H deneyin yapıldığı derinlik ve N_c taşıma gücü faktörüdür. Zemin yüzeyindeki yüklenen alan için $N_c = 6.15$, plakanın çapının 4 katı kadar derinlikte yapılan yüklemeler için $N_c = 9.25$ alınır (Clayton vd.,1995).

ÖRNEK ÇALIŞMALAR

Zayıf kayada yatak katsayısı belirlenmesi:

Antalya'da büyük bir eğlence ve alışveriş merkezi inşaatı temel zemininde plaka yüklemesi deneyi ile yatak katsayıları belirlenmiştir (Dipova, 2011a). İncelenen zemin, literatürde Antalya Travertenleri olarak bilinen, son yıllarda ise Antalya Tufası

olarak adlandırılan karasal karbonat çökellerinden oluşmaktadır. Tufanın 10 ayrı fasiyeste ve heterojen yapıda çökelmiş olması, buna ilave olarak çok değişken diyajenez düzeylerine sahip olması malzemenin mühendislik özelliklerine de yansımaktadır (Dipova ve Doyuran, 2006a; Dipova ve Doyuran, 2006b; Dipova, 2011b). Radye ile temas halinde olan ve gerilmelerin maksimum olduğu temel seviyesinde yatak katsayısının belirlenmesi yapı-zemin etkileşiminin çözümü için gereklidir. Plaka yüklemesi yönteminde etki derinliği sığ olmakla birlikte derindeki zemin tabakalarının yatak katsayısının korelasyonla belirlenmesi de mümkündür. Yapılan deney ayrıca taşıma gücü ve oturmaların da kontrol edilmesine imkan sağlamaktadır. Deneylerde zemin 9 kg/cm^2 gerilme değerine kadar yüklenmiş, deney eğrisinin doğrusala yakın olduğu anlaşılmış ve zeminde belirgin bir yenilme gözlenmemiştir. Yapı temelleri altında oluşacak en büyük taban basıncı değerinin (q_a) güvenlik katsayısı (GK) ile çarpımı ile elde edilen nihai taşıma gücü (q_u) değeri ve buna karşılık gelen oturma (S) değeri için yatak katsayısı değeri (k_s) hesaplanmıştır (Şekil 8).



Şekil 8. Doğal zeminde yatak katsayısı belirleme amaçlı plaka yüklemesi deneyi.

Figure 8. Plate load test performed to determine modulus of subgrade reaction.

Çökebilen zemin davranışının incelenmesi: Antalya Lara bölgesinde 17 katlı bir yapının temel zemininde zeminin gerilme-deformasyon ilişkilerinin ortaya konması amacıyla temelin 4 köşesinde plaka yükleme deneyi yapılmıştır (Dipova, 2012). Antalya Tufası'nın karmaşık yapısı nedeniyle kayaç özelliği sunan tufada 1-100 MPa gibi geniş bir aralıkta dayanım gözlenmekte iken, zemin özelliği gösteren tufa çökellerinde ise çökebilen zemin davranışı gözlenebilmektedir (Dipova ve Doyuran, 2006a; Dipova ve Doyuran, 2006b; Dipova, 2011b). Yapılan deneylerde zemin 5.5 kg/cm² gerilme değerine (D = 30 cm plaka üzerinde 9300 kg düşey yük) kadar yüklenmiştir. Zayıf çimentolu tufa biriminin çökebilen zemin

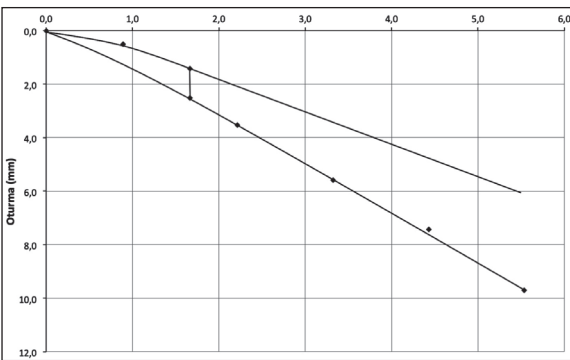
davranışı gösterebileceği dikkate alınarak, suya doyurma ile gerilme-deformasyon ilişkisindeki değişimin gözlenmesi amacıyla değişik gerilme kademelerinde zemin suya doyurularak çökme davranışı incelenmiştir. Şekil 9'da görüleceği gibi yapılan deneylerde zemin, çökme davranışı göstermektedir. Islak toplam oturma büyüklüğü dikkate alındığında zeminin taşıma gücünün tasarlanan yapı yüklerini taşımakta yetersiz olacağı anlaşılmıştır. Islanma ile ortaya çıkacak çökme potansiyellerinde gözlenen farklılık nedeniyle de farklı oturma sorunları ortaya çıkabilecektir. Bu nedenlerle her hangi bir ilave çözüm üretmeksizin projenin mevcut hâli ile uygulanmasında sakıncalar görülmüştür.



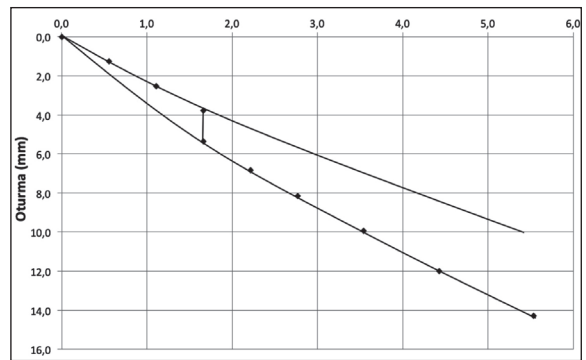
A



B



C



D

Şekil 9. A) Deneyin doğal nemde yürütülmesi, B) Islatma sonrası deneye devam edilmesi, C-D) Kuru (üstte) ve ıslak (altta) deney eğrileri.

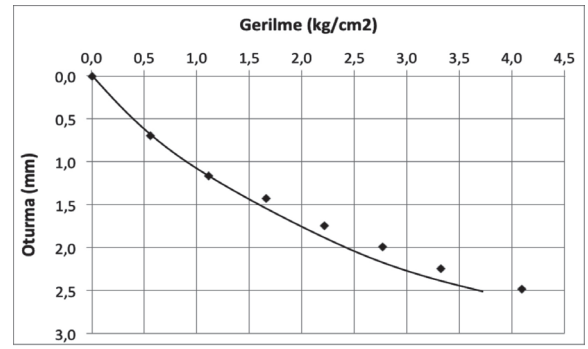
Figure 9. A) Testing steps under natural water content, B) Continuation of the test after inundation, C-D) Dry (above) and wet (below) test curves.

Dolgu zemin taşıma gücünün belirlenmesi:

Antalya Hurma bölgesinde inşa edilen bir dolgunun stabilitesinin araştırılması amacıyla plaka yükleme deneyi yapılmıştır (Dipova, 2011c). Yapılan deneylerde zemin 4 kg/cm^2 gerilme değerine ($D = 30 \text{ cm}$ plaka üzerinde 2890 kg düşey yük) kadar yüklenmiş ancak zeminde yenilme oluşmamıştır (Şekil 10). Yapı yükleri altında oluşacak oturma izin verilir sınırlar içinde kalacağı görülmüştür. Dolgu içinde sönmülerek azalan ilave gerilmelerin dolgu altındaki doğal zemin taşıma gücünden düşük olacağı ve taşıma gücü sorunu olmayacağı anlaşılmıştır.



A



B

Şekil 10. Sıkıştırılmış dolgu üzerinde plaka yükleme deneyi (A) ve deneye ait grafik (B).

Figure 10. Plate load testing on a compacted fill (A) and test curve (B).

SONUÇLAR

Taşıma gücü ve oturma miktarının yerinde doğrudan ölçülebildiği plaka yükleme deney düzeneği, zeminin üzerine oturan rijit bir plakadan, üstte yükün uygulandığı bir ölü yükten ve bu yükü alt plakaya aktaran bir krikoyla oturma miktarını ölçen komparatörlerden oluşmaktadır. Doğal zeminlerin taşıma gücünün belirlenmesinin yanı sıra günümüzde daha çok karayolu ve havaalanlarında dolgu sıkıştırma kontrolü

amacıyla kullanılmaktadır. Ülkemizde yaygın olarak kullanılan arazi deneyleri olan SPT ve CPT deneyleri ile dolgu zeminlerin taşıma gücünün belirlenmesinin oldukça zor olması da, plaka yükleme deneyinin tercih nedenlerindedir. Plaka yükleme deneyi kaya ortamlar üzerinde de uygulanmaktadır. Basit bir düzeneğe sahip olması ve hızlı sonuç vermesi gibi avantajlarının yanı sıra deneyin bazı dezavantajları da mevcuttur. Bunlardan en önemlisi, etki derinliği problemidir. Deney sonuçları, zeminin doğal yoğunluk ve nem miktarına bağlı olarak değişmektedir. Bu çalışmada, özellikle dolgu zeminlerin taşıma gücünün belirlenmesinde

avantajlara sahip olan plaka yükleme deneyinin ayrıntıları ve deney sonunda elde edilebilecek verilerin yorumlanabilmesi için dikkat edilmesi gereken hususlar belirtilmiştir. Yapılan örnek çalışmalar sonucunda, plaka yükleme deneyinin su içeriği değişimine hassas zeminlerin mekanik davranışının araştırılmasında da yarar sağladığı anlaşılmıştır. Yükleme sırasında istenilen bir gerilme değerinde zemine su verilmesi ile çökebilen zemin davranışı hakkında bilgi

üretilebilecektir. Karot alma ve laboratuvar deneyleri için örnek hazırlamanın zor olduğu zayıf kayalarda da plaka yükleme deneyi yapılarak gerilme-deformasyon ilişkisinin belirlenmesi ile, özellikle yüklerin en büyük olduğu temel altı seviyesi için önemli veriler elde edilebilecektir.

KAYNAKLAR

- ASTM D1195, 1997. Standard Test Method for Repetitive Static Plate Load Tests of Soils and Flexible Pavement Components, for Use in Evaluation and Design of Airport and Highway Pavements, Annual Book of ASTM Standards, Vol. 04.08.
- ASTM D1196, 1997. Standard Test Method for Nonrepetitive Static Plate Load Tests of Soils and Flexible Pavement Components, for Use in Evaluation and Design of Airport and Highway Pavements, Annual Book of ASTM Standards, Vol. 04.08.
- Bowles, J. E., 1996. Foundation Analysis and Design, 5th edition, McGraw-Hill, New York, 224-226 p.
- BS 5930, 1999. The code of practice for site investigation. The British Standards Institute.
- Clayton, C.R.I., Matthews, M.C., Simons, N.E., 1995. Site Investigation, Wiley-Blackwell. 497-503 p.
- Coates D.F., Gyenge, M., 1966. Plate-load testing on rock for deformation and strength properties, Testing Techniques for Rock Mechanics, ASTM STP 402, American Society for Testing and Materials.
- Craig, R. F., 1986 . Soil mechanics: 4th Edition, New York, Chapman & Hall, 302 p.
- DIN 18134, 1999. Determination of deformation and strength characteristics of soil by the plate loading test, Deutsche Norm.
- Dipova, N., 2011a. Antalya büyükşehir belediyesi Antalya akvaryum projesi temel zemini özellikleri konulu Rapor, Akdeniz Üniversitesi Teknokent A.Ş., Ağustos 2011, Antalya.
- Dipova N., 2011b. The Engineering Properties of Tufa in The Antalya Area, SW Turkey, Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology, 44 (1), 123-134.
- Dipova, N., 2011c. Antalya ili Konyaaltı ilçesi 8841 ada 07 parsel Zemin İyileştirme Kontrolü Konulu Rapor, Akdeniz Üniversitesi Teknokent A.Ş., Kasım 2011, Antalya.
- Dipova, N., 2012. Muratpaşa (Antalya) 5602 ada 02 parselin plaka yükleme yöntemi ile incelenmesi Konulu Rapor, Akdeniz Üniversitesi Teknokent A.Ş., Antalya.
- Dipova, N., Doyuran V., 2006a. Characterization of the Antalya (Turkey) tufa deposits, Carbonates and Evaporites, 21 (2), 144-160.
- Dipova, N., Doyuran V., 2006b. Assessment of the collapse mechanism of tufa deposits, Engineering Geology, 83, 332-342.
- Gökay, K., 1988. Bearing capacity analysis of layered rock for an underground mine. Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Yüksek Lisans Tezi, 135 s Ankara (yayımlanmamış).
- Hobbs, N.B., 1975. Factors affecting the prediction of settlement of structures on rock: with particular reference to the Chalk and Trias: General report and state-of-the-art review for session 4, Conference Proceedings on Settlement of Structures, BGS Cambridge, Pentech Press, London, 579 -610.
- Hunt, R.E., 2007. Geotechnical investigation methods, A field guide for geotechnical engineers, CRC Press, Taylor Francis Group, 236 p.
- Terzaghi, K., Peck, R. B., 1948. Soil Mechanics in Engineering Practice, John Wiley and Sons, 61 p.

Dipova ve Cangir

Terzaghi, K., 1955. Evaluation of coefficient of subgrade reaction, *Geotechnique*, 5 (4), 297-326 p.

TS 5744, 1988. İnaaat m¼hendisliđinde temel zemini ¼zelliklerinin yerinde ¼l¼m¼. T¼rk Standartları Enstit¼s¼, Ankara.

Venkatramaiah, C., 1993. *Geotechnical Engineering*, Third edition, New Delhi: John Wiley Eastern, 548 p.

Yıldırım, S., 2009. *Zemin İncelemesi ve Temel Tasarımı*, 3. Basım, Birsen Yayınevi, İstanbul, 63 s.