

Determination of Bearing Capacity with Cone Penetration Test

Aşkın ÖZOCAK

Assist.Prof.Dr.

Sakarya University

Sakarya, Turkey

Akın ÖNALP

Prof.Dr.

Istanbul Kültür University

İstanbul, Turkey

Ersin AREL

Assist.Prof.Dr.

Sakarya University

Sakarya, Turkey

ABSTRACT

The conventional approach to the design of shallow foundations is to use the results of undrained soil parameters obtained from the triaxial test. Sample disturbance however causes serious reductions to those parameters with the result that ultimate bearing capacities calculated with these values are significantly underestimated. In situ testing can produce improved parameters. The cone penetration test is a convenient and rapid method to obtain the parameters. Extensive testing in the quake-stricken city of Adapazarı has shown that the ultimate bearing capacities measured in the soft soils of the city can be four times higher than the calculated values. It is clear that the use of CPTU would result in economical solutions.

Koni Penetrasyon Deneyi İle Yüzeysel Temel Taşıma Gücünün Belirlenmesi

Aşkın ÖZOCAK

Yrd.Doç.Dr.

Sakarya Üniversitesi
Sakarya, Türkiye

Akın ÖNALP

Prof.Dr.

İstanbul Kültür Üniversitesi
İstanbul, Türkiye

Ersin AREL

Yrd.Doç.Dr.

Sakarya Üniversitesi
Sakarya, Türkiye

ÖZET

Yüzeysel temellerin taşıma gücü genellikle taşıma gücü teorilerinin yardımıyla hesaplanır. Bu yöntemlerin kullanılmasıyla elde edilen sonuçların gerçeğe yakınlığı laboratuvar deney sonuçlarının doğruluğu ve oluşturulan modellemenin gerçekçiliği ile ilgilidir. Bugüne kadar edinilen deneyim bu iki koşulun türlü nedenlerle tam yerine getirilemediğini ve hesaplanan değerle temelin gerçek taşıma gücü arasında ciddi farklar belirdiğini göstermiştir. Bu nedenle, laboratuvar deneylerinden elde edilmiş parametreler yanında, taşıma gücünün yerinde yapılan deney sonuçları ile kontrol ve teyidi gerekmektedir. Bunun yapılmadığı durumlarda mühendisin güvenli tarafta kalma amacıyla tüm hesaplamaları değersiz kılacak denli aşırı büyük global güvenlik sayıları seçmesi sonucu belirmektedir (Önalp ve Sert, 2006).

Bu çalışmada yüzeysel temellerin son taşıma gücünün koni penetrasyon testi (CPTU) verileri ile hesaplanma yöntemleri üzerinde durulmaktadır. Sakarya Üniversitesi Geoteknik Ana Bilim Dalı'na 1999 depreminden sonra Adapazarı kent merkezinde yürütülmüş 1500'den fazla sondaj ve 300'ün üzerinde noktada yapılmış CPTU çalışmalarından seçilen on noktada uç direnci okumaları yardımıyla hesaplanan temel taşıma gücü değerlerinin klasik teorilerle hesaplanan değerlerle ne denli uyumlu olduğu ortaya çıkarılmaya çalışılmıştır.

AMAÇ

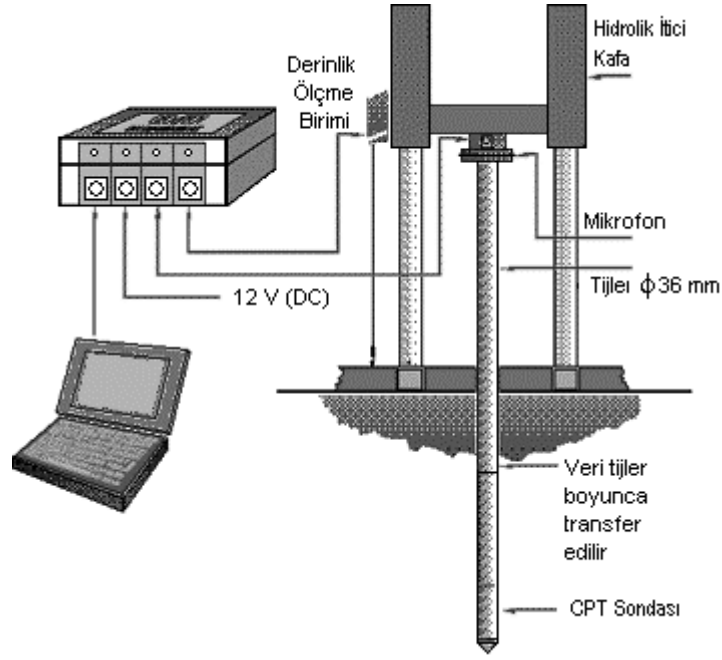
Türkiye'de zemin incelemelerinde en çok başvuru yapılan sondaj uygulaması sırasında numunelerin arazide UD tüp içine alınması, taşınması, laboratuvarda tüpten çıkartılması ve denenmesi aşamalarında maruz kaldığı farklı gerilme izi ve örselenme etkisi ölçülen zemin parametrelerinin gerçek değerlerinden çok farklı bulunmasına yol açmaktadır. Bunun yanında

sondajın özelliği nedeniyle zemin profili boyunca davranışını etkileyecek, ince tabakaların belirlenmesi her zaman mümkün olamamaktadır. Bu sebepler son yıllarda teknolojinin gelişmesiyle arazi deneylerine eğilimin artması sonucunu getirmiştir. Sunduğu verilerle zemin davranışının birçok yönden incelenmesine imkan veren koni penetrasyon deneyi (CPT) bunlar arasında en önemlilerinden biridir. Bu çalışmada CPT deney verileri kullanılarak hesaplanan yüzeysel temel taşıma gücünün klasik taşıma gücü teorileriyle hesaplanan değerlerle karşılaştırılması amaçlanmıştır.

KONİ PENETRASYON DENEYİ (CPT)

Koni Penetrasyon Deneyi (CPT: *Cone Penetration Test*) zemin özelliklerini yerinde belirlemek için sıklıkla kullanılan etkili bir arazi deneyidir. 1920'li yıllarda Hollanda'da kumlarda uygulanmaya başlayan yöntemin çalışma prensibi, aşağıya doğru itilen ucu koni şeklindeki bir sondaya zeminin gösterdiği direncin belirlenmesi şeklindedir. Günümüzde, uç direnci ve çevre sürtünmesinin yanında boşluk suyu basınçlarını (CPTU) ve kayma dalgası hızlarını ölçebilen sistemler (SCPTU) geliştirilmiştir.

Koni penetrasyon deneyi, özellikle yumuşak/gevşek ince daneli zeminlerden çakıl boyutundaki iri daneli zeminlere kadar kesit boyunca karşılaşılan zemin tabakalarında zemin özelliklerinin örselenme olmaksızın yerinde belirlenmesi amacıyla kullanılmaktadır. Deneyin temel amacı zemin profilinin tanımlanması, zemin tabakalarının geoteknik özelliklerinin ve tasarıma yönelik parametrelerin ölçüm sonuçlarından belirlenmesidir. CPT deneyinde, kesit alanı 10 cm^2 , konik uç açısı 60° olan silindir şeklinde bir sonda 20 mm/s sabit hızla zemine itilmektedir. Bu işlem esnasında koni ucunda oluşan direnç (q_c), silindirik gömlekte oluşan sürtünme direnci (f_s) ve konik ucun farklı kısımlarında penetrasyon sırasında meydana gelen boşluk suyu basınçları elektronik olarak ölçülerek zemin kesiti ve zemin sınıfları elde edilmektedir. Ayrıca istenilen derinliklerde penetrasyon durdurulduğunda boşluk suyu basınçlarının sönmelenmesi izlenerek zeminin geçirimsizlik özellikleri hakkında bilgi edinilebilmekte, aynı zamanda statik boşluk suyu basınçları da belirlenebilmektedir. Son yıllarda geliştirilen kablosuz (akustik) CPT sisteminde, ölçülen değerler bir mikroişlemci tarafından ses sinyaliyle çevrilerek yüzeye yollanmaktadır. Bu sinyal sondanın bağlandığı mikrofon tarafından algılanarak ara bağlantısı yapılmış veri toplayıcıya aktarılmaktadır (Şekil 1). Veri toplayıcıda ayrıca sinyallerin gönderildiği derinliğin kaydı da yapılmaktadır.



Şekil 1. Kablosuz CPT sistemi

CPT VERİLERİ İLE TAŞIMA GÜCÜ HESABI

Koni penetrasyon deneyi (CPT) sunduğu olanaklar nedeniyle zemin özelliklerinin, dolayısı ile taşıma gücünün ölçümü için en uygun deney olarak nitelendirilebilir. Deney ölçüm prensipleri itibarıyla kazıkların projelendirilmesi için daha uygun bir görünüm arz etse de yüzeysel temellerin taşıma gücü değerinin belirlenmesi yönünde de gerekli verileri sağlamaktadır.

Genel uygulama için CPT deneyinden elde edilen uç direnci okumaları kullanılarak son taşıma gücü

$$q_d = q_c \left(\frac{B}{C_1} \right) \left[1 + \frac{D_f}{B} \right] \approx R_k q_c + \sigma \quad (1)$$

bağıntısından bulunabilir. Burada $C_1=12.2$ m, $R_k=0.12$, σ ise hesaplama derinliğinde etkiyen toplam gerilme değeridir. Formüldeki q_c temel altından en az B derinliğe kadar ölçülmüş koni uç dirençlerinin ortalaması olarak alınmalıdır.

Temel biçimleri gözönüne alındığında önerilen bağıntılar kumlarda

$$\text{şerit temel} \quad q_d = 28 - 0.0052(300 - q_c)^{1.5} \quad (2)$$

$$\text{kare temel} \quad q_d = 48 - 0.009(300 - q_c)^{1.5} \quad (3)$$

ince daneli zeminlerde ise

$$\text{şerit temel} \quad q_d = 2 + 0.28q_c \quad (4)$$

$$\text{kare temel} \quad q_d = 5 + 0.34q_c \quad (5)$$

olarak verilmiştir(Bowles, 1996). Buradaki birimler kgf/cm^2 olarak alınmalıdır.

CPT ve CPTU deney sonuçlarını kullanarak killerde taşıma gücü hesaplaması kumlara oranla daha güçtür. Bunun nedeni, okumaların kilin aşırı konsolidasyon oranı(OCR), plastisitesi (I_p) ve bunlara bağlı olarak da sondayı itme sırasında oluşan boşluk suyu basınçlarından(u_2) etkilenmesidir.

Kanada temel şartnamesinde tekil temeller için Şekil 2'deki basit bağıntı verilmiştir. Burada temel gömme derinliği ve temel boyutu gözönüne alınmaktadır.

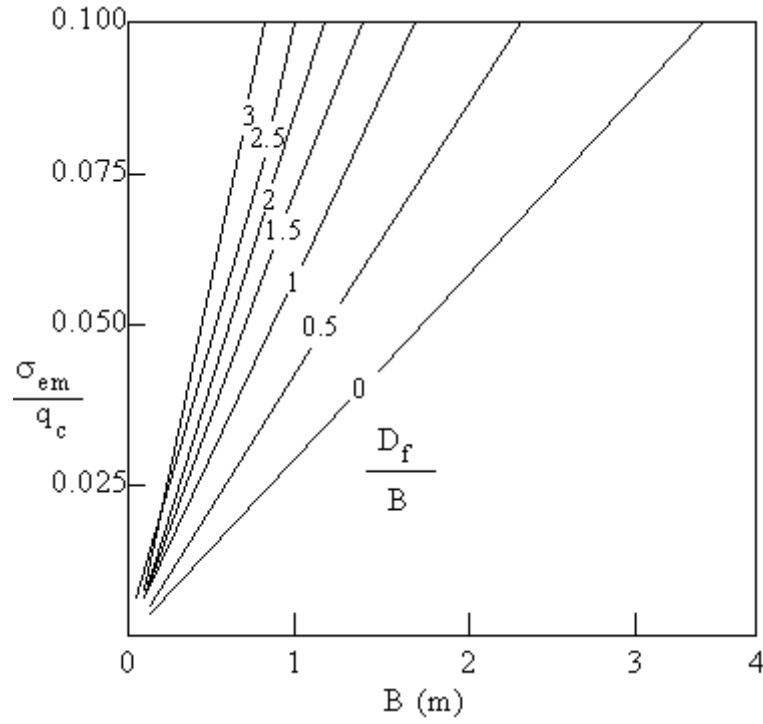
CPT verilerinden uç direnci ortalama sonuçlarını (q_c) kullanarak hesaplanan drenajsız kayma direnci

$$S_u = \frac{(q_c - \sigma_0)}{N_k} \quad (6)$$

biçiminde verilmektedir. Bu değeri kullanarak taşıma gücü örneğin Skempton bağıntısı

$$q_d = c_u \times N_{cS} \quad (7)$$

ile de hesaplanabilir. N_k , 11-19 arasında değişen koni faktörü olarak tanımlanmış olup Türkiye'de tipik değeri 17 olarak alınabilir. Adapazarı yumuşak/genç zeminlerinde bu değer 7-29 arasında belirmiş, tam güvenilir olmadığı sonucuna varılmıştır.



Şekil 2. Koni Penetrasyon (CPT) Değerlerinin Kullanımı ile Taşıma Gücü Hesabı

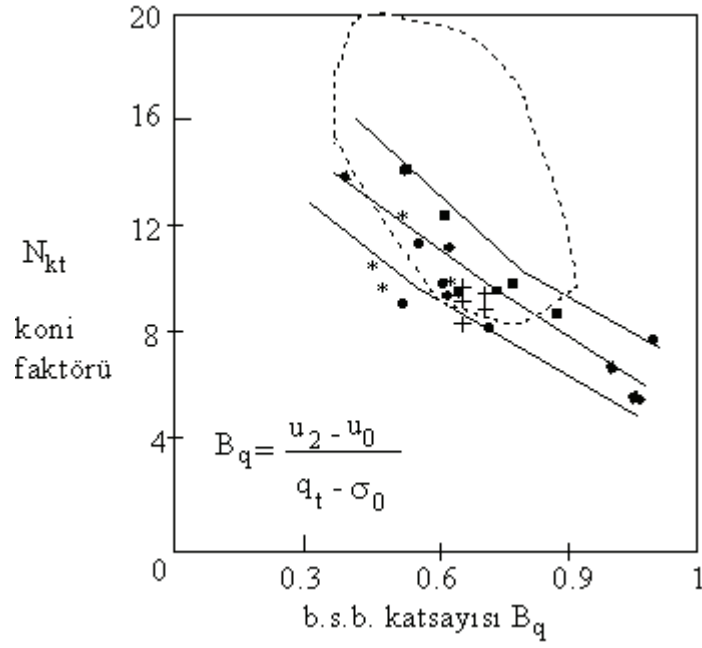
Deniz dibine oturtulacak kule ayakları gibi daha önemli problemlerde sürekli CPTU ölçümleri gerekir. Bu durumda uç direnci q_c 'nin boşluk suyu basıncı etkileri için q_t 'ye

$$q_t = q_c + (1 - a)u_2 \quad (8)$$

biçiminde dönüştürülmesi gerçekleştirilmelidir. Burada koni kesit oranı $a \approx 0.86$, u_2 ise koni omuzunda okunan standard boşluk suyu basıncıdır. Buradan

$$S_u = \frac{(q_t - \sigma_0)}{N_{kt}} \quad (9)$$

olarak hesaplanır. Koni faktörü N_{kt} Şekil 3'ten okunabilmektedir. Bu yaklaşım Y.A.S.S.nin bulunduğu NL ve hafif/orta derecede aşırı konsolide killerde geçerlidir. Boşluk suyu basıncı katsayısının sıfır ve negatif olduğu ağır derecede aşırı konsolide killerde kullanılmamalıdır.



Şekil 3. Koni İçin Taşıma Gücü Katsayısı (Koni Faktörü) N_{kt}

Bu deney sonuçlarını kullanarak efektif gerilme değerleri ile de hesaplama yapmak mümkündür. Bu durumda denklem

$$q_t - \sigma_0 = N_m (\sigma'_0 + \alpha) \quad (10)$$

biçimini alır. Bu bağıntıda değişkenler

$$N_m = \frac{N_q - 1}{1 + N_u B_q} \quad (11)$$

$$B_q = \frac{\Delta u}{(q_t - \sigma_0)} \quad (12)$$

$$N_u = 6 \tan \phi^2 (1 - \tan \phi^2) \quad (13)$$

$$N_q = \tan^2 \left(45 + \frac{\phi^2}{2} \right) e^{(\pi - 2\beta) \tan \phi^2} \quad (14)$$

şeklinde verilmekte olup ilgili tablolardan alınabilecek α yapışma gerilmesini, β plastikleşme açısını temsil etmekte, Δu ise koni sırtında beliren fazla boşluk suyu basıncını göstermektedir(Önalp ve Sert, 2006).

HESAPLAMALAR

Yüzeysel temellerin taşıma gücü değerlerini hem geleneksel teoriler yardımıyla hem de CPT verileri yardımıyla belirlemek için Adapazarı kent merkezinde 1999 Marmara depreminden sonra yapılan 1500'ün üzerindeki sondaj ve 300'ün üzerindeki CPT noktası verilerinden seçilen, sondaj ve sondalamanın birlikte yapıldığı 10 ayrı bölgede hesap yapılmıştır. Bu hesaplamalarda sondajdan laboratuvara gelen örselenmemiş numuneler üzerinde yapılmış olan üç eksenli deney (UU) sonuçları ile CPT deneylerinde derinlik boyunca sürekli ölçümü yapılan uç direnci değerleri kullanılmıştır. Klasik teorilere göre yapılan hesaplamalarda Skempton ve Terzaghi yöntemleri kullanılmış, eldeki UU deney verilerinin bulunduğu seviyelere göre seçilen gömme derinliği ve seçilen temel genişlikleri için şerit ve kare temel durumlarına göre ayrı ayrı hesap yapılmıştır. Ayrıca, Terzaghi yöntemine göre yapılan hesaplarda yer altı su seviyesi için düzeltme uygulanmıştır.

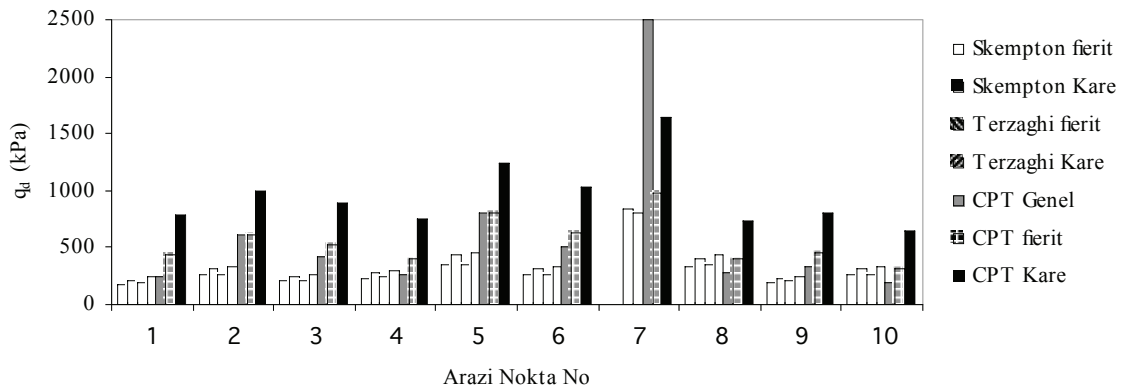
CPT verileri yardımıyla yapılan hesaplamalarda öncelikle temel gömme derinliği altındaki temel genişliği büyüklüğüne alınan derinlik boyunca koni uç direnci değerlerinin ortalamaları hesaplanmış, taşıma gücü hesabı yukarıda detayları verilen genel, şerit ve kare temel durumları için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Tüm bu sonuçlar Çizelge 1'de sondaj numunelerinin TS1500/2000'e göre sınıflama sonuçları ile birlikte verilmektedir.

Çizelge 1. Terzaghi ve CPT verilerine göre hesaplanan temel taşıma gücü değerleri

Sondaj /CPT no	D _f m	B m	Sınıf TS 1500	c kPa	ϕ °	YA SS m	q _{c-ort} kPa	q _d (kPa) Skempton		q _d (kPa) Terzaghi		q _d kPa CPT		
								şerit	kare	şerit	kare	gen	şerit	kare
STYG01 / CTYG01	1.5	2.0	ML	29	-	1.10	864	177	212	190	239	248	442	794
STYG03 / CTYG03	3.2	2.0	CI	39	-	1.30	1440	265	320	263	329	614	603	990
STYG04 / CTYG04	2.4	2.0	CL / ML	32	-	1.00	1140	205	250	210	265	411	519	888
STYG07 / CTYG07	2.5	2.0	CI	36	-	1.70	729	234	284	243	305	269	404	748
STSR08 /	2.5	2.0	CH	55	-	2.20	2160	358	435	356	450	797	805	1234

CTSR08														
STTE09 / CTTE09	2.0	2.0	CL	41	-	2.00	1560	258	312	270	340	511	637	1030
STKO16 / CTKO16	2.0	2.5	SP-SM/SP	-	28	2.50	6775	-	-	846	805	2499	975	1642
STTZ21 / CTTZ21	2.5	2.5	CH	53	-	2.50	693	334	403	347	438	284	394	736
STHO23 / CTHO23	2.5	2.0	MI	29	-	1.55	896	189	229	201	251	330	451	805
STOZ42 / CTOZ42	2.8	2.5	CH	40	-	1.40	438	254	310	266	334	190	323	649

Çizelge 1'e bakıldığında CPT verileriyle hesaplanan yüzeysel temel taşıma gücü değerlerinin klasik teorilere uyarınca hesaplanan değerlere göre 3 kata yaklaşan oranlarda daha yüksek olduğu görülmektedir. Elde edilen sonuçların sütun grafik halinde sunulduğu Şekil 4'te de CPT verileriyle hesaplanan değerlerin büyüklüğü görülmekte, beklendiği üzere kare temel taşıma gücü değerlerinin en büyük değerleri aldığı dikkat çekmektedir. Ortaya çıkan bu durumun sebeplerinden biri, özellikle sondajdan laboratuvara gelen örselenmemiş olarak tabir edilen numunelerin gösterilecek her türlü özene rağmen, sondaj esnasında UD tüpe alma, taşıma, laboratuvarında deneye hazırlama ve deneme aşamalarında maruz kaldığı, doğal durumdaki halinden oldukça uzak gerilme izleri nedeniyle aslında belli oranda örselenmeye maruz kalması ve ölçülen kayma direnci parametrelerinin gerçekten düşük çıkmasıdır. Bu nedenle, gidderek daha fazla önem ve yer verilen arazi deneyleri arasında CPT deneyi hem hız hem de sürekli veri alma özelliği nedeniyle öne çıkmaktadır. CPT deneyinin temel taşıma gücü hesabındaki avantajlarından en önemlisi de temel altındaki derinlik boyunca uzanan zemin tabakalarının özelliklerinin her iki santimetrede bir ölçülmesinin birkaç noktada yapılabilecek laboratuvar dayanım deneylerine olan üstünlüğüdür.



Şekil 4. Klasik Teorilerle ve CPT Verileriyle Hesaplanan Taşıma Gücü Değerleri

SONUÇLAR

Bu çalışmada Adapazarı kent merkezinde sondaj ve sondalama çalışmalarının birlikte yapılmış olduğu on noktada drenajsız üç eksenli deney sonuçları ve Skempton ve Terzaghi yöntemleriyle hesaplanan yüzeysel temel taşıma gücü değerlerinin, aynı noktaya ait CPT verilerinin kullanılmasıyla hesaplanan değerler ile karşılaştırılması yapılmıştır. CPT verilerini kullanan yöntemler ile bulunan değerlerin klasik teoriler ile bulunan değerlerden 3 kata varan oranlarda büyük olduğu dikkat çekmiştir. Bu durum klasik teorilerle yapılan hesaplamaların gerçeği tam yansıtmadığı ve ekonomik olmadığı görüşünü kuvvetlendirmekte, uygulaması ve analizi sondaj ve laboratuvar çalışmasına göre kıyaslanamayacak oranda hızlı, aynı zamanda da güvenli olan CPT deneyinin temel taşıma gücü hesaplamalarında da inşaat mühendisine önemli derecede yardımcı olabileceğini göstermektedir.

Bu görüş özellikle kil parametrelerinin düşük olduğu alanlarda önem kazanmakta, konuya yabancı olan mühendislerce kazık uygulaması veya zemin iyileştirmesi önerilen birçok durumda bu pahalı çözümlerin hiç de gerekli olmadığı söylenebilmektedir.

TEŞEKKÜR

Yazarlar bu çalışmanın gerçekleşmesinde 104M387 nolu proje kapsamında destek veren TÜBİTAK'a teşekkür ederler.

KAYNAKLAR

Bowles, J.E., 1996. "Foundation Analysis and Design", 5th Edition, McGraw Hill Co., New York.

Lunne, T, Robertson, P.K., and Powell, J.J.M., 1997. "Cone Penetration Testing In Geotechnical Engineering", Blackie Academic & Professional.

Önalp, A., Sert, S., 2006. "Geoteknik Bilgisi-III:Bina Temelleri", Birsan Yayınevi, İstanbul, 375 sayfa.

Özocak, A., Sert, S., Önalp, A., 2006. "Zemin İncelemelerine Çağdaş Yaklaşım : " GAP V. Mühendislik Kongresi, Şanlıurfa, Türkiye.

Terzaghi, K., 1948. "Theoretical Soil Mechanics", J.Wiley&Sons, New York.