

## SPT ve CPT Verilerine Göre Kazık Taşıma Gücü Hesabı

\*<sup>1</sup>Ertan BOL ve <sup>2</sup>Zeynep Süreyya GENÇ

\*<sup>1</sup>Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Türkiye

<sup>2</sup>Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Öğr., Türkiye

### Özet

Bu bildiride kötü zemin koşulları, deprensellik, yüksek veya düzensiz yüklemeler vb. gibi nedenler ile temel tipi olarak uygulama alanı bulan betonarme kazıkların nihai kapasitelerinin arazi deneyleriyle tahminine yönelik bir çalışma yapılmıştır. Adapazarı ovasının akarsu kökenli (*fluvial*) alüviyal zeminlerinde boşluk suyu basınçlarının da ölçüldüğü 2 adet koni penetrasyon deneyi (CPTU) ile aynı yerlerde SPT deneylerinin yürütüldüğü sondaj çalışmaları yapılmıştır. Her iki noktada elde edilen SPT ve CPT arazi verileri ile belirli bir geometriye sahip tekil bir kazığın literatürde önerilen yöntemler ile nihai kapasiteleri belirlenmiştir. Buna göre yatayda ve düşeyde ani tabaka değişimleri sunan bölgelerde kazık taşıma kapasitelerinin kısa mesafelerde bile çok farklı sonuçlar verebileceği sonucuna varılmıştır. SPT deneyinin CPT' ye nazaran uygulamadaki dezavantajlarının kazık kapasitelerinin de farklı hesaplanmasına neden olabileceği ortaya konmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Alüvyon, CPT, SPT, Kazık kapasitesi.

## Pile Capacity Calculation by using SPT and CPT Data

\*<sup>1</sup>Ertan BOL and <sup>2</sup>Zeynep Süreyya GENÇ

\*<sup>1</sup>Faculty of Engineering, Department of Civil Engineering Sakarya University, Turkey

<sup>2</sup>Institute of Natural Science, Graduate Student, Sakarya University, Turkey

### Abstract

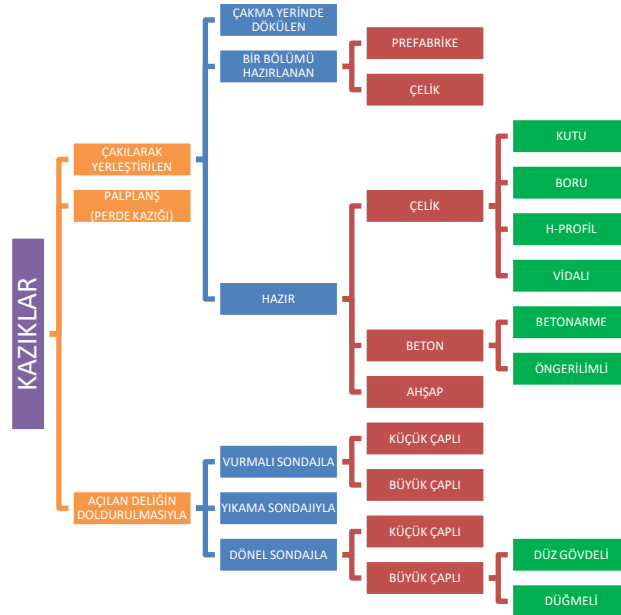
In this paper, a study has been carried out to estimate the ultimate capacities of concrete circular piles which are used as foundation type due to reasons such as poor ground conditions, seismicity, high or irregular loads etc. by field tests. Two cone penetration tests (CPTU), which measure the pore water pressures on alluvial soils of the Adapazarı plain, were conducted at the same locations with drillings which SPT tests were carried out. Ultimate capacities of a single pile with a specific geometry were determined by the methods proposed in the literature by using the data obtained from SPT and CPT field tests at both points. According to this, it is concluded that pile capacities can give very different results even in short distances in regions which offer sudden layer changes in horizontal and vertical. Disadvantages of the SPT test in practice compared to CPT have been shown to cause also different values of pile capacities.

**Key words:** Alluvium, CPT, SPT, Pile capacity.

\*Corresponding author: Address: Faculty of Engineering, Department of Civil Engineering Sakarya University, 54187, Sakarya TURKEY. E-mail address: ebol@sakarya.edu.tr, Phone: +902642955746

## 1. Giriş

Terzaghi' nin deyimi ile “*görkemsiz*” en son yapı elemanı olarak görülen temeller, üst yapı yüklerini zemine aktarıırken zeminin yapısal bütünlüğü korumakla görevlendirilmiş olup aynı zamanda zemini aşırı gerilmelere karşı zorlamayacak şekilde tasarlanmalıdır. Aksi durumlarda zemin tepki olarak aşırı oturma ve/veya kayma yenilmesi oluşturabilmektedir [1]. Temellerin tasarımı aşamasında başlangıçta en kolay ve ekonomik çözüm olarak tekil temeller akla gelse de; kötü zemin koşulları, deprensellik, aşırı veya düzensiz yükler vb. gibi sebeplerden dolayı sırasıyla sürekli, radye ve derin temel sistem seçenekleri göz önüne alınmaktadır. Derin temel çözümünde sıklıkla uygulama alanı bulan kazıklarda amaç; yapı yüklerini aşağıdaki sağlam tabakalara aktarmaktır. Kazıklar yük taşıma işlevi, zemin/kaya ortamına yerleştirilme biçimi, yapım yöntemi, imal edildiği malzeme, imalat yöntemi, kesit biçimi, yapım sırasında şaftta sağlanan destek tipi, uç-baş biçimi ve betonun yerleştirilmesi gibi farklı bakış açılarına göre sınıflandırılabilirler. Bu kriterlere göre birçok farklı kazık sınıflandırma sistemi literatürde bulunmaktadır (Şekil 1).



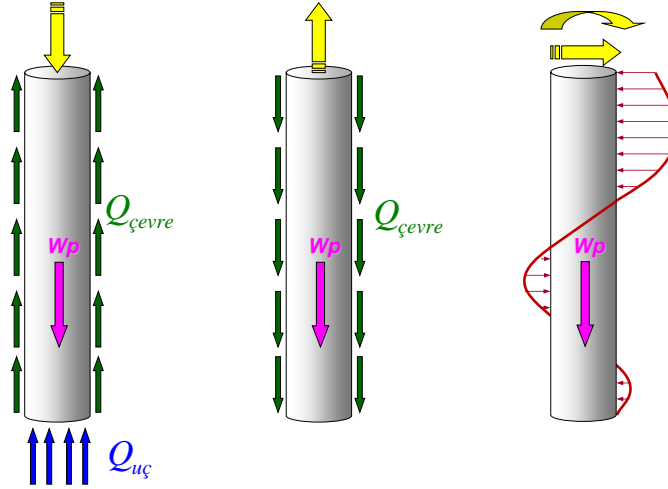
Şekil 1. Kazıkların Genel Ayrım Tablosu

## 2. Materyal ve Metot

Yapı yüklerini taşıyan kazıklar genellikle düşey aksel yüklerle göre boyutlandırılırlar. Bu durumda kazık aldığı yükü iki özelliği ile taşır: 1- Çapı  $D$  olan ve  $D_f=L$  derinliğe oturtulmuş bir yüzeysel temele benzer olarak ucunda taşıma gücünün uyanmasıdır. 2-  $L$  boyunda bir silindir veya prizmanın çevresindeki iri daneli zeminle sürtünmesi ya da kille yapışması (adezyon) sonucu belirir. Olağan koşullarda kazık son taşıma gücü ( $Q_d$ ) uç direnci ( $Q_{uç}$ ) ve çevre sürtünmesinden ( $Q_{çevre}$ ) doğan dirençlerin toplamından öz ağırlığının ( $W_p$ ) çıkartılması ile hesaplanır (Şekil 2). Bu durumda en genel durumda toplam kapasite denklemi:

$$Q_d = Q_{uç} + Q_{çevre} = f_b A_b + \sum_0^L f_s \xi dz - W_p \quad (1)$$

şeklinde. Burada;  $f_b$ : kazık ucunun son taşıma gücüne karşılık gerilme,  $A_b$ : kesit alanı,  $f_s$ : kazık yüzeyi ile çevresindeki zemin arasındaki etkileşimi gösteren birim gerilme ve  $\xi$ : kazığın çevresidir.



Şekil 2. Kazığın yük taşıma işlevi

Bu denklemde kazık ucunun son taşıma gücüne karşılık gerilme ( $f_b$ ) ve kazık yüzeyi ile çevresindeki zemin arasındaki etkileşimi gösteren birim gerilme ( $f_s$ ) hem arazi hem de laboratuvarından elde edilen veriler ile tahmin edilebilmektedir. Zeminin kayma direnci parametrelerini ( $c$ ,  $\phi$ ) hesaba katan yöntemlerde kazığın türü, zeminin sıkılığı, zeminin türü vb. gibi özellikleri hesaba katılmaktadır. Kazık taşıma gücü standart penetrasyon deneyi (SPT), koni penetrasyon deneyi (CPT) ve presiyometre deneylerinden (PMT) faydalanarak hesaplanabilmektedir. Bu çalışma kapsamında arazide ölçülen SPT ve CPT verileri ile tek bir kazığın nihai kapasitesinin hesaplama yöntemleri tartışılmıştır.

### 2.1. SPT ile kazık kapasitesi

Canadian Geotechnical Society (1985), standart penetrasyon deneyi sonuçlarından kazık taşıma gücünün tahminini;

$$Q_f = m \cdot N \cdot A_b + n \cdot \bar{N} \cdot R \cdot A_s \quad (2)$$

şeklinde ifade etmiştir [2]. Burada;  $Q_f$ : Kazık taşıma gücü,  $m$ : Deneysel katsayı (çakma kazıklar için 400, fore kazıklar için 120),  $N$ : Kazık uç seviyesinde SPT sayısı,  $A_b$ : Kazık uç kesit alanı,  $n$ : Deneysel katsayı (çakma kazıklar için 2, fore kazıklar için 1),  $\bar{N}$ : Kazık boyunca ortalama SPT sayısı,  $R$ : Kazık çapı ve  $A_s$ : Kazık çevre alanıdır. Standart Penetrasyon deneyinin olası hataları nedeni ile güvenlik katsayısının en az 4 olması önerilmektedir.

Meyerhof (1976), standart penetrasyon deney sonuçları ile kazık taşıma gücü arasında Tablo 1’deki ilişkiyi vermiştir [3]. Bu ifadelerde  $\bar{N}$  değerleri, kazığın zemin içindeki boyunca, SPT değerlerinin ortalamasını,  $N$  değerleri kazık uç seviyesindeki SPT değerlerini göstermektedir.

**Tablo 1.** Standart Penetrasyon Deneyi ile Kazık Taşıma Gücü Arasındaki İlişki [3]

Kazık - Zemin Cinsi	Çevre Sürtünmesi $f_s$	Uç Direnci $q_p$ (kPa)
Çakma kazıklar – kum	$2 \bar{N}$	40 (L/R) $N \leq 400N$
Çakma kazıklar – silt	$2 \bar{N}$	30 (L/R) $N \leq 300N$
Fore kazıklar – kum	$\bar{N}$	13 (L/R) $N \leq 130N$
Fore kazıklar – silt	$\bar{N}$	10 (L/R) $N \leq 100N$

## 2.2. CPT ile kazık kapasitesi

Tekil bir kazığın yük taşıma işlevi ile koni penetrasyon deneyi uygulanış biçimi ve ölçtüğü parametreler arasında büyük benzerlikler vardır. Koni penetrasyon deneyi (CPT) sırasında elde edilen uç direnci ( $q_c$ ) ve sürtünme direnci ( $f_s$ ) verileri ile bir kazığın taşıma gücü hesabı yapılabilmektedir.

**Canadian Geotechnical Society (1985)**, iri çakıl ve sıkı kumlarda uygulama zorluğu olduğundan koni penetrasyon deneyi ile kazık taşıma gücünün silt ve kumlu zeminler için aşağıdaki formül ile belirlenebileceğini önermiştir [2, 4]:

$$Q_u = q_c \cdot A_b + \bar{f}_s \cdot A_s \cdot L \quad (3)$$

Burada  $Q_u$ : Kazık nihai taşıma gücü,  $q_c$ : Koni penetrasyon uç direnci ( $R > 500$  mm olan kazıklar için ortalama değer yerine ölçülen en küçük değer alınması önerilmektedir.),  $A_b$ : Kazık uç kesit alanı,  $f_s$ : Koni penetrasyon deneyinde ortalama çevre sürtünmesi,  $A_s$ : Kazık çevre alanı ve  $L$ : Kazık çakma boyu olarak verilmektedir. Deney sonuçlarının dağılımı ve deney sayısına bağlı olarak güvenlik katsayısının 2.5 veya 3.0 gibi bir aralıkta kullanılması önerilmektedir. Poulos (1987) çakma kazıkların uç taşıma gücünün  $q_b$ , koni penetrasyon deneyinde ölçülen uç direnci  $q_c$ ’ye yaklaşık olarak eşit alınabileceğini önermiştir [5]. Kazığın uç direncine esas olarak alınacak koni penetrasyon uç direnci değerinin kazık uç seviyesinden, kazık çapının ( $R$ ) 8 katı ( $8R$ ) üstündeki bölgede ortalama değer ile kazık uç seviyesinin  $0,7R$  ile  $4R$  altındaki bölgedeki değerlerin minimumlarının ortalamasının alınmasını önermektedir. Deneyde çevre sürtünmesi ölçülmemişse, kum zeminde çakma kazıkların çevre sürtünmesi için,  $f_s/q_c \approx 0.005-0.01$  tahmini değeri alınmaktadır. Burada;  $f_s$ : çevre sürtünmesi ve  $q_c$ : ölçülen uç direncidir. Bu değerlerin, kum zeminlere çakılan, az sıkıştırma etkisi olan kazıklar için yarıya, sondaj kazıkları için  $1/3$ ’e kadar düşürülmesi önerilmektedir. Eslami ve Fellenius (1997)’den aktarıldığına göre Schmertmann (1978) ve Nottingham (1975), killerde ve kohezyonsuz zeminlerde, kazık ucu seviyesinin  $6R - 8R$  üstündeki değerleriyle,  $0,7R - 4R$  altındaki değerlerin ortalaması  $\bar{q}_c$  olarak isimlendirilirken bu değer kazık uç direncine eşittir ( $q_b = \bar{q}_c$ ). Birim çevre sürtünmesi ise;  $f_s = K \cdot f_c$  ifadesi ile verilmiştir [6, 7, 8]. Burada bulunan boyutsuz  $K$  katsayısı, kazığın malzemesine, şekline ve derinliğine bağlı olarak değişmektedir. Kumlarda 0.8 ile 2.0 arasında, killerde ise 0.2 ile 1.25 değerleri arasındadır. Ayrıca sadece ayırık daneli zeminler için kazık çevre sürtünmesi;  $f_c = C \cdot q_c$  ifadesi ile verilmektedir. Burada bulunan  $C$  katsayısı kazık tipine bağlı olarak %0.8 ile %1.8

arasında değişen bir katsayıdır. Hangi ifade ile hesaplanırsa hesaplanırsa kazık çevre sürtünmesinin üst sınırı  $140 \text{ kN/m}^2$  yi geçemez.

**Schmertmann**, kazık uç seviyesinin altındaki  $0,7R - 4R$  aralığında en küçük değeri  $q_{c1}$ , kazık uç seviyesinden  $8R$  üstüne kadar olan aralıktaki en küçük değeri de  $q_{c2}$  olarak tanımlamıştır [7]. Schmertmann' a göre  $q_{uçmax}=15 \text{ MPa}$  ' ı geçemez. Buna göre  $q_{uç}=(q_{c1}+q_{c2})/2$  olarak hesaplanır. Sürtünme direnci ise;  $f = \alpha_c \cdot f_s$  olarak hesaplanır. Burada;  $\alpha_c$  killi zeminler için 0.2 ile 1.25 arasında değişen bir katsayıdır. Kazığın taşıyabileceği toplam yük;

$$Q_T = Q_s + Q_c = q_{uç} \cdot A_b + f \cdot A_s \cdot L \quad (4)$$

olarak hesaplanır. Kumlu zeminler için  $Q_s$  aşağıdaki denklemle bulunmaktadır.

$$Q_s = \alpha_s \cdot \left( \sum_{y=0}^{8D} \frac{y}{8D} \cdot f_s \cdot A_s + \sum_{y=8D}^L f_s \cdot A_s \right) \quad (5)$$

$\alpha_s$  kumlu zeminler için değişen bir katsayıdır ve  $f$  değeri  $120 \text{ kPa}$  ' ı geçemez.

**De Kuiter ve Beringen (1979)** tarafından önerilen diğer bir metod Kuzey Denizi' nde kazanılan deneyime dayanmaktadır [9]. Bu yöntem aynı zamanda Avrupa yöntemi olarak da bilinir, kil ve kum için farklı prosedürler kullanılır. De Kuiter ve Beringen (1979)' e göre kilde her zemin tabakası için kesme mukavemeti  $S_u$ , ilk olarak  $q_c$  ile değerlendirilmeye başlanır. Daha sonra birim uç taşıma gücü ve birim çevre sürtünmesi katsayıları kullanılarak hesaplanır. Birim uç taşıma gücü;

$$Q_{uç} = N_c \cdot S_{u(uç)} \quad \text{ve} \quad S_{u(uç)} = q_{c(uç)} / N_k \quad (6)$$

ile hesaplanır. Denklemden bulunan  $N_c$  taşıma kapasitesi faktörüdür ve  $N_c = 9$  ' dur.  $N_k = 15 - 20$  arasında değişen bir katsayıdır.  $q_c$  ise Schmertmann yöntemine benzer bir şekilde hesaplanan koni uç dirençlerinin ortalamasıdır. Çevre sürtünmesi ise;

$$f = \beta \cdot S_{u(\text{çevre})}$$

şeklinde hesaplanır. Denklemden  $\beta$  adezyon faktörü olup normal konsolide killer (NC) için 1, aşırı konsolide killer (OC) için 0.5' e eşittir. Böylece;  $S_{u(\text{çevre})}$ , kazık shaftı boyunca her zemin tabakası için

$$S_{u(\text{çevre})} = q_{c(\text{çevre})} / N_k \quad (7)$$

denklemleri ile belirlenir. Titi ve Abufarsakh (2000)' a göre koni faktörü  $N_k = 20$  ve adezyon faktörü  $\beta = 0.5$  olarak belirlenmiştir [10]. Çünkü bunlar öngörülen nihai kazık kapasitesine en yakın değerleri vermiştir. Kumda taşıma kapasitesi  $q_c$ , Schmertmann yöntemine benzer şekilde hesaplanmıştır. Kazık boyunca her bir zemin tabakası için çevre sürtünmesi  $f$  aşağıdaki denklemlerde gösterilmiştir.  $q_{tmaks} = 15 \text{ MPa}$  ve  $f_{maks} = 120 \text{ kPa}$  ' dır.

$$f = \begin{cases} f_s \\ \frac{q_c(\text{çevre})}{300} (\text{basınç}) \\ \frac{q_c(\text{çevre})}{400} (\text{çekme}) \\ 120 \text{ kPa} \end{cases} \quad (8)$$

**Bustamante ve Giancesalli (1982) (LCPC/LCP Metodu)**, birçok farklı tipte kazıkta yapılan, 197 tane kazık yükleme deneyi sonuçlarına dayandırılan bir yaklaşım sunarak sadece ( $q_c$ ) uç direnci okumaları ile kazık kapasitesini hesaplamaktadır [11]. Bu yöntemde çevre sürtünmesi kullanılmamaktadır. Kazık uç direnci;  $q_{uç} = k_b \cdot q_{eşdeğer}$  olarak belirlenir. Denklemden bulunan  $k_b$  taşıma katsayısıdır ve değerleri Tablo 2' de verilmiştir.

**Tablo 2.**  $k_b$  Taşıma Katsayısı

Zemin	Delme Kazık	Çakma Kazık
Kil ve silt	0.375	0.600
Kum ve çakıl	0.150	0.375
Tebeşir	0.200	0.400

$q_{eşdeğer}$ , kazık ucunda oluşan eşdeğer dirençtir. Kazık ucunun 1.5R altı ve 1.5R üstü arasındaki  $q_c$ ' lerin ortalaması alınır. Bu aralıktaki değerler  $q_c$ ' den  $0.30q_c$  büyük veya  $0.30q_c$  küçükse onlar elenir. Geriye kalan değerlerin ortalaması  $q_{eşdeğer}$  olarak hesaplanır. Kazık çevre sürtünmesi  $f_s$ , geçilen her katmanın zemin özellikleri, imalat yöntemi ve kazık türüne bağlı olarak bulunmaktadır. İlk olarak Tablo 3' den kazık kategorisi nosu seçilir. İkinci olarak her zemin katmanı için Tablo 4 ve Tablo 5' e bakılarak zemin tipi, tabakanın eşdeğer uç direnci ve kazık kategorisi için kullanılacak eğri nosu seçilir. Son olarak seçilen eğri nosu ve  $q_{eşdeğer}$  kullanılarak Şekil 3a' dan iri daneli, Şekil 3b' den ince daneli zeminler için maksimum birim çevre sürtünmesi  $f_s$  okunur.

**Tablo 3.** LCPC Yönteminde Kazık Kategorileri

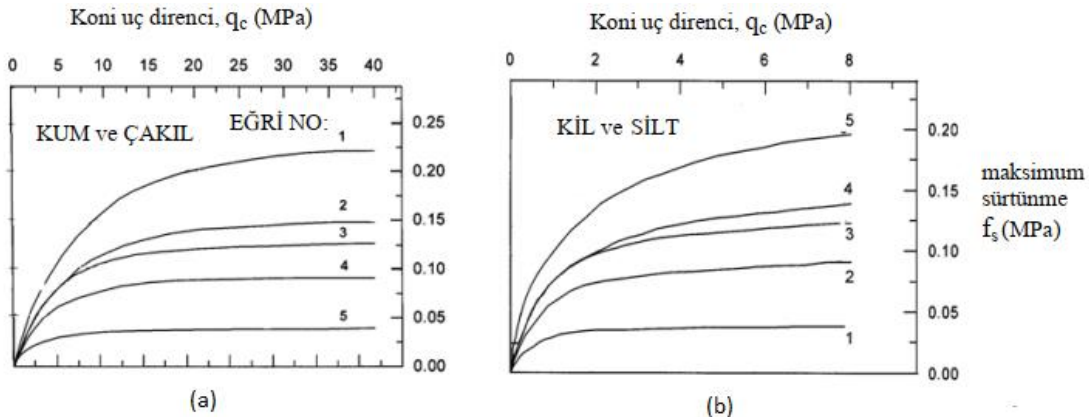
Kategori	Kazık Türü	Kategori	Kazık Türü
1	bentonitsiz delme şaftlı	10	çakma çelik
2	şaftlı çamurla delinen	11	öngermeli içi boş kazık
3	kaplama borulu delme	12	ucu tıkaçlı beton çakma kazık
4	içi boş burgu ile delinen	13	çakma boru kazık
5	kuyu	14	içeri itilen beton kazık
6	tip-1 mikro kazık	15	içeri itilen çelik kazık
7	vidalı kazık	16	tip-2 mikro kazık
8	çakma beton	17	yüksek basınçta enjeksiyonlu
9	çakma hazır beton kazık		

**Tablo 4.** İnce Daneli Zeminler için LCPC Parametreleri

EĞRİ No.	$q_c$ (MPa)	KAZIK KATEGORİSİ	İMAL/YERLEŞTİRME İŞLEMİ
1	<0.7 >0.7	1→17 1,2	
2	>1.2 >1.2 >1.2 >1.2 >1.2	4,5,8,9,10,11,1 3,14,15 7 6 1,2 3	-Deneyim plastisitesi yüksek zeminlerdeki çelik kazıklarda qs 1 No.lu eğriye kadar düşebilir. Daha önceden yükleme deneyi sonucu yoksa bu eğriyi; çakma beton kazıklarda kumlu veya düşük plastisiteli zeminlerde $q_c > 25$ MPa ise 3 No.lu eğriyi kullan. - $q_c < 25$ MPa olan ve penetrasyon hızının düşük olduğu durumlarda bunu, aksi durumda No.1 eğriyi kullan. $q_c > 45$ MPa ve penetrasyon hızı düşük ise No.3 eğriyi kullan. -Bu değerler ucunda dişi olan burguyla delgi yapılması ve hemen betonlama durumunda kullanılır. Çok sıkı temizleme ve hızlı betonlama denetimi sağlanıyorsa $q_c > 4.5$ MPa zeminlerde no.3 eğriyi kullan. -Kuru saftlar için kaplama borusu çekilirken betonun titreştirilmesi önerilir. YASS altında çalışmalarda pompaj gerekliyse ve muhafaza borusunun sık hareket ettirilmesi gerekiyorsa yükleme deneyi verileri yokluğunda 1 No.lu eğriyi kullan. DTU 13.2'de belirtilen olağan uygulama durumları.
3	>1.2 <2	12	
5	>0.7	16,17	Daha önce yükleme deneyinden gelen bilgiler destekliyor ve enjeksiyon düşük debide tekrarlanarak yapıyorsa eğri No.5'i kullan.

**Tablo 5.** İri Daneli Zeminler için LCPC Parametreleri

EĞRİ No.	$q_c$ (MPa)	KAZIK KATEGORİSİ	İMAL/YERLEŞTİRME İŞLEMİ
1	<3.5	2,3,4,6,7,8,9,10,11,12,13, 14,15	
2	>3.5 >5 >5	6,7,9,11,12,13,14,15 2,3 4	-İnce kumlar için. Bu zeminlerde çelik kazıkta sürtünme küçük olacağından aksi yükleme deneyi ile bulunmamışsa eğri No.1'i kullan. $q_c > 7.5$ MPa olan ince kumda kazıklarda 2 No.lu eğriyi kullan -Sadece ince kumlar ve boyu 30 m'den kısa delme kazıklar için. İnce kumda $L > 30$ m için fs 1 ve 2 No.lu eğriler arasında. Yükleme deneyi sonuçları yoksa No.1'i kullan. -Bir miktar kohezyon gösteren kumlar için kullanılır.
3	>7.5 >7.5	6,7,9,10,11,13,14,15,17 2,3	-İri çakıllı kum ve çakıl içindir. Beton kazıklarda yükleme deneyi ile kanıtlanıyorsa No.4 eğriyi kullan. - $L < 30$ m olan delme kazıklar ve çakıllı iri kum ve çakıllar için. - $q_c > 4$ MPa çakıllar için No.4 eğriyi kullan.
4	>7.5	8,12	- Çakıllı iri kum ve çakıl için.
5	>5	16,17	-Sonuçlar kazık taşıma deneyi sonuçlarına dayandırılmıyorsa No.5 eğriden daha büyük değerler kullanılabilir.

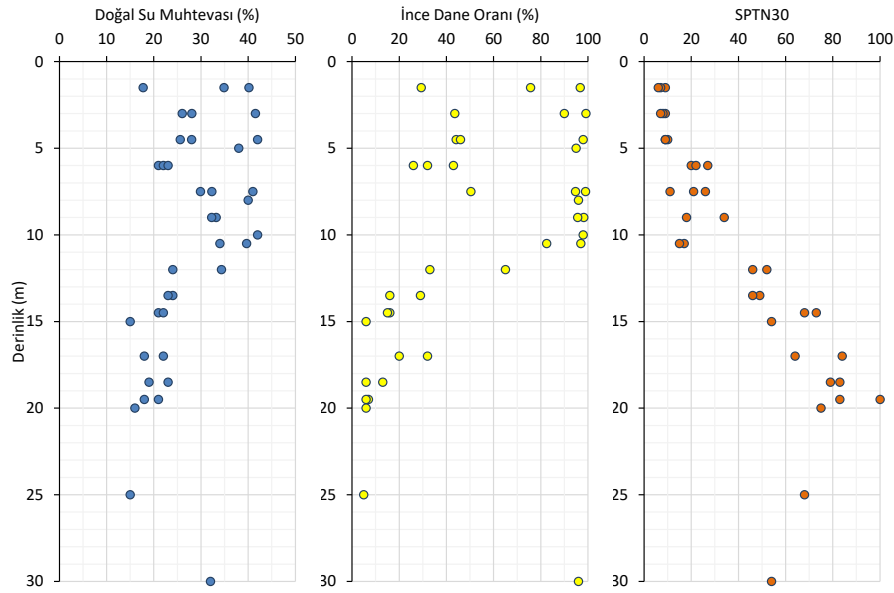
**Şekil 3.** LCPC yönteminde maksimum sürtünme yapışma eğrileri

### 3. Arazi Ölçümleri ve Analizler

Koordinatları Tablo 6’ da verilen Adapazarı ovasının alüviyal zeminlerinde Sakarya Üniversitesi tarafından boşluk suyu basınçlarının da ölçüldüğü 2 adet koni penetrasyon deneyi (CPTU) ve özel bir sondaj firması tarafından aynı noktalarda SPT deneylerinin yürütüldüğü sondaj çalışması yapılmıştır. Şekil 4’ de sondajlardan alınan numunelere ait doğal su muhtevası ( $w_n$ ), ince dane oranı (%FC) ve arazi  $N_{30}$  değerlerinin derinlik ile değişimi görülmektedir. Şekil 4 incelendiğinde;  $N_{30}$  değerinin ilk 5.00 m’ de ortalama 8-10, 5.00-12.00 metreler arasında ortalama 20 olduğu ve 12.00 metreden sonra kuyu sonuna kadar olan birimlerde ise refüye varan darbe sayılarının bulunduğu görülmektedir. Doğal su muhtevasının ise kumsu zeminlerde düştüğü, kilisi zeminlerde ise arttığı gözlemlenmektedir.

**Tablo 6.** İnceleme Alanında Yapılan Sonda ve Sondajlar

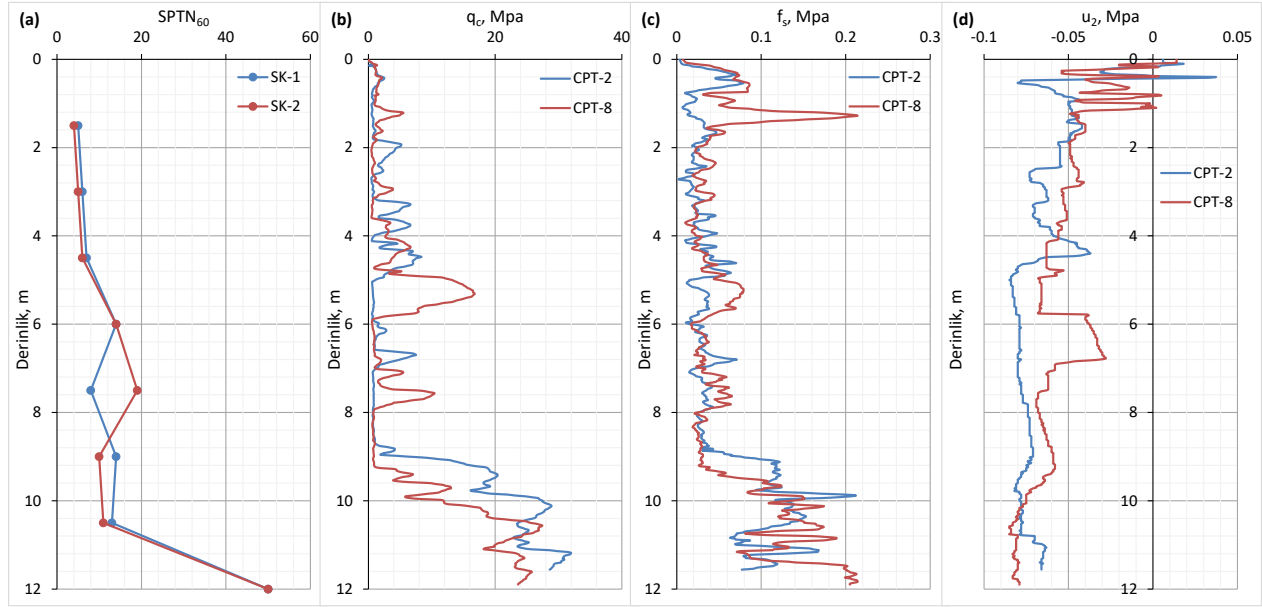
Sondaj No	PCPT No	Enlem (N)	Boylam (E)
1	2	40.716971	30.388717
2	8	40.716693	30.388204



**Şekil 4.** Derinliğe bağlı olarak doğal su muhtevası, ince dane oranı ve SPTN değişimi

Şekil 5a’ da SK-1 ve 2 nolu sondajların düzeltilmiş SPT darbe sayısı ( $N_{60}$ ) değerleri verilmiştir. Şekil 5b’ de CPT-2 ve 8 nolu sondalamalardan elde edilen koni uç dirençleri ( $q_c$ ), Şekil 5c’ de sürtünme dirençleri ( $f_s$ ) ve Şekil 5d’ de ise boşluk suyu basıncı ölçümleri ( $u_2$ ) sunulmuştur. Bu çalışmada yapılan sondajlardan elde edilen numuneler üzerinde gerçekleştirilen deney sonuçları ile arazide gerçekleştirilen CPTU deney verileri de göz önüne alındığında, ortamın genelleştirilmiş profilinin şu şekilde olduğuna karar verilmiştir; parsel zemininin üst kesimlerinde kalınlığı minimum 3.00-4.00 m arasında değişen silt ara bantlı kil bulunmaktadır. Bunun altında kalınlığı maksimum 2 metre olan siltli kum tabakası yer almaktadır. Bu kum tabakası altında yine silt ara bantlı kil tabakası 8.00-9.00 metre seviyelerine kadar yataklanmaktadır. Bunun altında kalın bir çakıllı kum tabakası mevcuttur.





Şekil 5. Analizlerde kullanılan SPT ve CPT arazi sonuçları

Nihai kazık kapasitesi analizlerinde; boyu 9.00 m uzunluğunda olan, 60 cm çapta dairesel betonarme bir kazığın, çakma suretiyle zemine yerleştirilmesi göz önüne alınmıştır. CPT ile nihai kazık kapasiteleri hesaplamaları, Schmertmann, LCPC, De Kuitert & Beringen ve Kanada metotları ile her iki CPT (CPT 2 ve CPT 8) verisi için yürütülmüş olup sonuçları Tablo 7 ve Şekil 6a' da gösterilmektedir. Her iki nokta birbirine yakın olmasına rağmen CPT-8 nolu sondanın analizi Kanada metodu haricinde daha düşük kazık kapasiteleri sunmuştur. Her sonda noktasında yöntemlerin sunmuş olduğu değerler incelendiğinde CPT-8 sondasının bulunduğu yerde daha düşük kazık kapasiteleri ortaya çıkmaktadır. Bunun nedeni; CPT-8 sondasının bulunduğu yerde uç direnci okumaları ancak 10 metreden sonra artmakta iken CPT-2 de 9 m' de sağlam katmanlara girilmesi şeklinde açıklanabilir. Bu da özellikle uç kapasitelerini etkilemekte ve sağlam katmana daha erken giren CPT-2 sondasının bulunduğu yerde daha yüksek kapasitelere erişimi sağlamaktadır.

Tablo 7. CPT Verileri ile Nihai Kazık Kapasiteleri (kN)

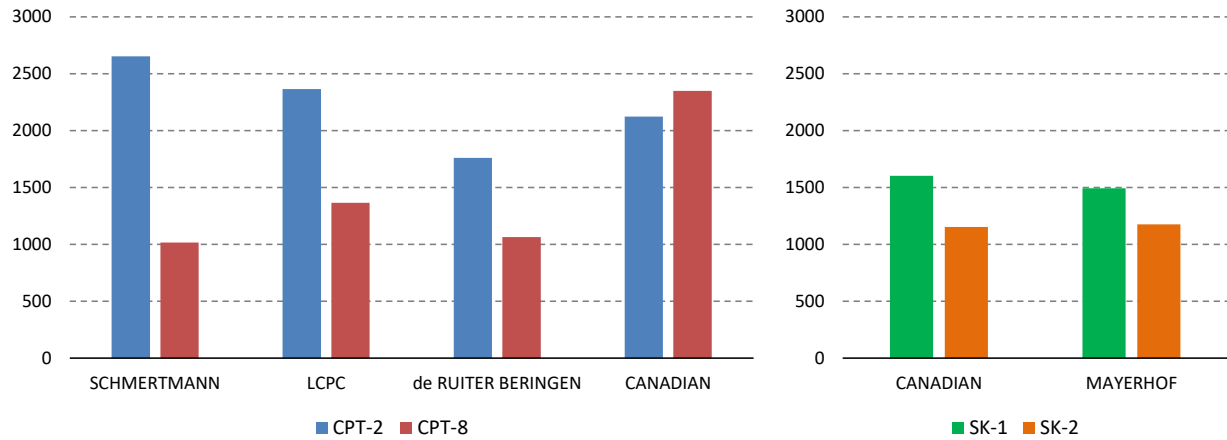
	CPT-2	CPT-8
SCHMERTMANN	2652	1016
LCPC	2366	1366
De KUITER BERINGEN	1759	1064
CANADIAN	2123	2349

SPT ile nihai kazık kapasiteleri hesaplamaları, Kanada ve Meyerhof yöntemleri ile her iki sondaj kuyusu (SK-1 ve SK-2) verisi için yürütülmüş ve sonuçları Tablo 8 ve Şekil 6b' da sunulmuştur. SK-1 verisi SK-2' ye oranla daha yüksek kapasiteler sunmasına rağmen her iki analiz sonucu da CPT ile bulunanlardan daha düşük çıkmıştır. Bunun nedeni sondajlarda sağlam katmanın ancak 11 metrelere kadar belirlenmesi ile açıklanabilir. Ayrıca sondajlar ile katman sınırlarının tam olarak belirlenememesi problemi bu analizde de kendini göstermiştir. Bunun yanında kuyu içinin

yeterince temizlenememesi, şahmerdanın tam boy yukarı çekilememesi ve SPT deneyi yapılacak düzeyde örselenmenin engellenememesi gibi hususlar da bu farklılığın nedeni olarak düşünülebilir.

**Tablo 8.** SPT Verileri ile Nihai Kazık Kapasiteleri (kN)

	SPT-1	SPT-2
CANADIAN	1604	1153
MEYERHOF	1493	1176



**Şekil 6.** CPT ve SPT verileri ile nihai kazık kapasiteleri (kN)

#### 4. Sonuçlar

Bu çalışma kapsamında Adapazarı ovasının alüvyal zeminlerinde boşluk suyu basınçlarının da ölçüldüğü 2 adet koni penetrasyon deneyi (CPTU) ile SPT deneylerinin yürütüldüğü sondaj çalışması yapılmıştır. Her iki noktada elde edilen SPT ve CPT arazi verileri kullanılarak literatürde önerilen yöntemler ile; boyu 9.00 m olan, 60 cm çapta dairesel betonarme bir kazığın, çakma suretiyle zemine yerleştirilmesi göz önüne alınarak nihai kapasiteleri belirlenmiştir. Buna göre yatayda ve düşeyde ani tabaka değişimleri sunan, Adapazarı gibi akarsu kökenli (fluvial) alüvyonların bulunduğu bölgelerde kazık taşıma kapasitelerinin kısa mesafelerde bile çok farklı sonuçlar verebileceği sonucuna varılmıştır. Ayrıca CPT ile yapılan analizlere göre daha düşük kapasiteler sunan SPT değerlendirmeleri; söz konusu SPT deneyinin CPT'ye nazaran bir takım zayıflıklarını aklı getirmiştir. Bunlar; sondajlar ile katman sınırlarının tam olarak belirlenememesi, kuyu içinin yeterince temizlenememesi, şahmerdanın tam boy yukarı çekilememesi ve SPT deneyi yapılacak düzeyde örselenmenin engellenememesi gibi hususlardır.

## Kaynaklar

- [1] Coduto DP. Foundation design – principles and practices. Prentice Hall; 1994, 796 p.
- [2] Canadian Foundation Engineering Manual, CFEM, Second Edition. Canadian Geotechnical Society, Vancouver: BiTech Publishers; 1985, 456 p.
- [3] Meyerhof GG. Bearing capacity and settlement of pile foundations. The Eleventh Terzaghi Lecture, November 5, 1975. American Society of Civil Engineers, ASCE, Journal of Geotechnical Engineering 1976; 102:3:195-228.
- [4] Toğrol E, Tan O. Kazıklı temeller, İstanbul: Birsen Yayınevi; 2009.
- [5] Poulos HG. Piles and piling. In Bell FG. (Ed) Ground Engineer' s Reference Book, Butterworths, London, England;1987.
- [6] Eslami A and Fellenius BH. Pile capacity by direct CPT and CPTU methods applied to 102 case histories. Canadian Geotechnical Journal 1997; 34:6:886-904.
- [7] Schmertmann JH. Guidelines for cone test, performance, and design. U.S. Federal Highway Administration, Report FHWA-TS-78209, 1978.
- [8] Nottingham LC. Use of quasi-static friction cone penetrometer data to estimate capacity of displacement piles. Ph.D. thesis, Department of Civil Engineering, University of Florida, Gainesville, 1975.
- [9] De Kuitert J and Beringen FL. Pile foundation for large North Sea structures. Marine Geotechnology 1979; 3:3:267-314.
- [10] Titi HH, Abu-Farsakh MY. Evaluation of bearing capacity of piles from cone penetration test data. Report No. FHWA/LA.99/334. Louisiana Transportation Research Center, Report No. FHWA-TS-78-209, Baton Rouge, LA; 2000.
- [11] Bustamante M and Gianselli L. Pile bearing capacity predictions by means of static penetrometer CPT. In Proceedings of the 2nd European Symposium on Penetration Testing, ESOPT II, Rotterdam: A.A. Balkema; 1982; 2:493-500.