

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**SPT VE CPT VERİLERİNE GÖRE KAZIK
TAŞIMA GÜCÜ HESABI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Zeynep Süreyya GENÇ**

Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
Tez Danışmanı : Doç. Dr. Ertan BOL

Ocak 2020

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ


SPT VE CPT VERİLERİNE GÖRE KAZIK
TAŞIMA GÜCÜ HESABI

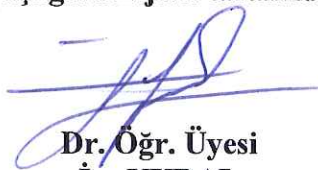
YÜKSEK LİSANS TEZİ

Zeynep Süreyya GENÇ

Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

Bu tez 23/01/2020 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği / ~~oyçokluğu~~ ile kabul edilmiştir.


Doç. Dr.
Ertan BOL
Jüri Başkanı


Dr. Öğr. Üyesi
İsa VURAL
Üye


Doç. Dr.
Sedat SERT
Üye

BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Zeynep Süreyya GENÇ

23.01.2020

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca değerli bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, her konuda bilgi ve desteğini almaktan çekinmediğim, araştırmanın planlanmasından yazılmasına kadar tüm aşamalarında yardımlarını esirgemeyen, teşvik eden, aynı titizlikte beni yönlendiren değerli danışman hocam Doç. Dr. Ertan BOL'a teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Hayatımın her safhasında olduğu gibi yüksek lisans eğitimim boyunca da yanımda olan, çalışmalarımı destekleyen, moral ve yardımlarını eksik etmeyen sevgili eşim Bekir Kaan GENÇ'e, yazım konusunda beni cesaretlendiren ve yardımlarını esirgemeyen Zeynep GÜNEY, Mahmut ŞATIROĞLU ve Burak CANSIZ'a, sevgili annem Fıcel ÖZEN ve değerli babam Aydın ÖZEN'e, her koşulda ve durumda yanımda olan kardeşlerime, dostlarıma ve en değerlim canım oğlum Ahmet Görkem'e en içten sevgilerimi ve teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	iv
ŞEKİLLER LİSTESİ	vi
TABLolar LİSTESİ.....	ix
ÖZET.....	x
SUMMARY	xi
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2.	
KAZIKLI TEMELLER.....	2
2.1. Kazıkların Genel Özellikleri	2
2.2. Kazıkların Çeşitleri	2
2.2.1. Ahşap kazıklar.....	5
2.2.2. Betonarme kazıklar	7
2.2.2.1. Yerinde dökülen betonarme çakma kazık.....	8
2.2.2.2. Fore (sondaj) kazığı	9
2.2.3. Çelik kazıklar	9
2.2.3.1. H kazıkları	10
2.2.3.2. Boru kazıkları	11
2.2.4. Kompozit kazıklar.....	11
2.3. Kazıkların Taşıma Gücü Hesabı	11
2.3.1. Statik taşıma gücü formülleri	13
2.3.1.1. Kohezyonlu zeminlerde kazık taşıma gücü hesabı.....	13

2.3.1.2. Kohezyonsuz zeminlerde kazık taşıma gücü hesabı.....	20
2.3.2. Arazi deneyleri ile kazık taşıma gücü hesabı	28
2.3.2.1. Standart penetrasyon deneyi ile kazık taşıma gücü hesabı	28
2.3.2.2. Koni penetrasyon deneyi ile kazık taşıma gücü hesabı ..	30
BÖLÜM 3.	
ÖRNEK ARAZİNİN GEOTEKNİK ÖZELLİKLERİ.....	39
3.1. İdealize Zemin Profilleri (Arazi Zemin Modeli) ve Yeraltı Suyu.....	41
BÖLÜM 4.	
HESAPLAMALAR	48
4.1. SPT Verileri ile Kazık Taşıma Gücü Hesabı	48
4.1.1. SK1 SPT Sonucuna göre kazık taşıma gücü hesabı.....	48
4.1.2. SK2 SPT Sonucuna göre kazık taşıma gücü hesabı.....	50
4.2. CPT Verileri ile Kazık Taşıma Gücü Hesabı	51
4.2.1. CPT2 verilerine göre kazık taşıma gücü hesabı	51
4.2.2. CPT8 verilerine göre kazık taşıma gücü hesabı	56
BÖLÜM 5.	
SONUÇ	69
KAYNAKLAR	71
EKLER.....	74
ÖZGEÇMİŞ	81

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

- A_b : Kazık uç kesit alanı
 A_p : Kazık uç alanı
 A_s : Kazığın toplam çevre alanı
 c : Kohezyon
 c_u : Drenajsız kayma direnci
 D : Kazık çapı
 D_r : Rölatif sıkılık
 f : Sürtünme direnci
 f_{av} : Birim çevre sürtünmesi
 f_c : Koni penetrasyon deneyinde ortalama çevre sürtünmesi
 f_s : Çevre sürtünme direnci
 K : Sükunetteki toprak basıncı katsayısı
 L : Kazığın zemin içi uzunluğu
 L' : Kritik derinlik
 M : Deneysel katsayı
 N : SPT sayısı
 n : Deneysel katsayı
 \bar{N} : Kazık boyunca ortalama SPT sayısı
 N' : Kazık ucundan yaklaşık 10R – 4R aralığındaki değerlerin ortalaması
 q_b : Kazık ucunun oturduğu zeminin birim alanına gelen taşıma gücü
 Q_b : Kazığın ucunun taşıyabildiği maksimum yük
 q_c : Koni penetrasyon uç direnci
 Q_f : Kazığın taşıyabileceği maksimum yük

- Q_p : Uç taşıma direci
 Q_s : Çevre sürtünmesi ile taşınan yük
 W : Kazığın ağırlığı
 α : Katsayı
 λ : Katsayı
 β : Katsayı
 δ : Zemin – kazık sürtünme açısı
 σ'_v : Ortalama düşey efektif gerilme değeri
 ϕ_R : Yoğurulmuş durumdaki kilin drenajlı kayma açısı

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Kazıklı temellerin kullanım alanları (Das, 2014)	4
Şekil 2.2. Kazıkların genel ayırım tablosu (Önalp, 1982).....	5
Şekil 2.3. Tipik bir ahşap kazık (Coduto, 2001)	5
Şekil 2.4. Ahşap kazıkların birbirine eklenmesi (Das, 2014)	7
Şekil 2.5. Betonarme kazık gösterimi (Das, 2014)	7
Şekil 2.6. Çakma kazık imalat şekli (Kabaca, 2018)	8
Şekil 2.7. Fore kazık yapım aşamaları (Bol, 2019).....	9
Şekil 2.8. Çelik kazıkların gösterimi (Das, 2014).....	10
Şekil 2.9. Bir çelik H kazığı	11
Şekil 2.10. Gömme derinliğine bağlı λ değişimi (Bowles, 1996).....	15
Şekil 2.11. Tabakalı ortamlarda λ yönteminin uygulanması (Das, 2014).....	15
Şekil 2.12. Drenajsız kayma direnci ile α katsayısı arasındaki ilişki (Das, 1999) ..	16
Şekil 2.13. Çeşitli kazık ve zemin cinsleri için çevre sürtünmesi ve uç taşıma gücü değerleri	20
Şekil 2.14. Kazık etrafında kumun sıkışması (Das, 1999).....	21
Şekil 2.15. Kumda birim sürtünme direnci (Das, 2014)	21
Şekil 2.16. Toprak basıncı katsayısının L/R oranı ile değişimi (Das, 2014)	23
Şekil 2.17. (a) Kumda uç direncinin değişimi, (b) ϕ - $(Lb/B)cr$ ilişkisi (Das, 2014).....	24
Şekil 2.18. Meyerhof tarafından önerilen maksimum N_c^* ve N_q^* değerleri	25
Şekil 2.19. Janbu'nun kazıklı temeller için önerdiği taşıma gücü faktörleri (Das, 1999)	27
Şekil 2.20. Coyle ve Castello'nun önerdiği N_q^* değerleri.....	28
Şekil 2.21. Poulos, Eslami ve Fellenius'a göre çakma kazıkların uç taşıma gücü .	31
Şekil 2.22. Ortalama kazık ucu eşdeğer direncinin hesaplanması	35
Şekil 2.23. LCPC yönteminde maksimum sürtünme yapışma eğrileri	37

Şekil 3.1. Örnek arazinin konumu	39
Şekil 3.2. Sondaj ve sondalama yerleri	40
Şekil 3.3. İnceleme alanında yürütülen sondalama çalışmalarından örnekler	41
Şekil 3.4. Analizlerde kullanılan SPT ve CPT arazi sonuçları	44
Şekil 3.5. Derinliğe bağlı olarak doğal su muhtevası, ince dane oranı ve SPTN ₃₀ Değişimi	45
Şekil 3.6. Çalışma verilerinden elde edilen arazi zeminlerini karakterize eden idealize zemin kesiti	46
Şekil 4.1. SPT sonuçlarının karşılaştırılması	51
Şekil 4.2. CPT2 teorik sonuçlarına göre kazık taşıma gücü grafiği.....	55
Şekil 4.3. CPT2 sondajının farklı çaplardaki sonuçlarının karşılaştırılması.....	55
Şekil 4.4. CPT2 teorik sonuçlarına göre kazık taşıma gücü grafiği.....	57
Şekil 4.5. CPT8 teorik sonuçlarına göre kazık taşıma gücü grafiği.....	58
Şekil 4.6. Geo5 analiz programı yardımıyla kazık taşıma gücünün gösterilmesi...	59
Şekil 4.7. Geo5 analiz programı yardımıyla kazık taşıma gücünün gösterilmesi...	61
Şekil 4.8. Louisiana Pile Design analiz programı yardımıyla kazık taşıma gücünün gösterilmesi.....	62
Şekil 4.9. Louisiana Pile Design programına göre 60 cm çaplı kazıklar için sonuçlar.....	63
Şekil 4.10. Louisiana Pile Design programına göre 80 cm çaplı kazıklar için sonuçlar.....	63
Şekil 4.11. Louisiana Pile Design programına göre 100 cm çaplı kazıklar için sonuçlar.....	64
Şekil 4.12. Louisiana Pile Design analiz programı yardımıyla kazık taşıma gücünün gösterilmesi.....	65
Şekil 4.13. Louisiana Pile Design programına göre 60 cm çaplı kazıklar için sonuçlar.....	66
Şekil 4.14. Louisiana Pile Design programına göre 80 cm çaplı kazıklar için sonuçlar.....	66
Şekil 4.15. Louisiana Pile Design programına göre 100 cm çaplı kazıklar için sonuçları	67
Şekil 4.16. CPT2 noktasında farklı çaptaki kazıklar için sonuçlar	67

Şekil 4.17. CPT8 noktasında farklı çaptaki kazıklar için sonuçlar 68

TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1. Standart penetrasyon deneyi ile kazık taşıma gücü arasındaki ilişki (Meyerhof, 1976)	29
Tablo 2.2. k_b taşıma katsayısı.....	35
Tablo 2.3. LCPC yöntemine göre kazık kategorileri	36
Tablo 2.4. İnce daneli zeminler için LCPC parametreleri	37
Tablo 2.5. İri daneli zeminler için LCPC parametreleri.....	37
Tablo 2.6. c_s katsayısının değerleri (Eslami ve Fellenius, 1997b).....	38
Tablo 3.1. İnceleme alanında yapılan sondajlar	40
Tablo 3. 2. İnceleme alanında yapılan sondalamalar	41
Tablo 3.3. Sondajlardan elde edilen örselenmiş numunelerin fiziksel özellikleri (sondaj sıralı).....	42
Tablo 3.4. Sondajlardan elde edilen örselenmiş numunelerin fiziksel özellikleri (derinlik sıralı).....	43
Tablo 3.5. CU deney sonuçları.....	47
Tablo 4.1. SPT1 verilerine göre hesaplama sonuçları.....	50
Tablo 4.2. SPT2 verilerine göre hesaplama sonuçları.....	50
Tablo 4.3. CPT2 verilerine göre hesaplama sonuçları	55
Tablo 4.4. CPT8 verilerine göre hesaplanan sonuçlar	57
Tablo 4.5. CPT2 verilerine göre Geo5 programıyla hesaplama sonuçları.....	59
Tablo 4.6. CPT8 verilerine göre Geo5 programıyla hesaplama sonuçları.....	60
Tablo 4.7. CPT2 verilerine göre Louisiana Pile Design programıyla hesaplama sonuçları	62
Tablo 4.8. CPT8 verilerine göre Louisiana Pile Design programıyla hesaplama sonuçları	65

ÖZET

Anahtar kelimeler: Alüvyon, Kazık Kapasitesi, CPT, SPT

Bu çalışmada, 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 hesaplanabileceği sonucuna varılmıştır. SPT deneyinin CPT'ye nazaran uygulamadaki dezavantajlarının kazık kapasitelerinin de farklı hesaplanmasına neden olabileceği ortaya konmuştur.

PILE CAPACITY CALCULATION ACCORDING TO SPT AND CPT DATA

SUMMARY

Keywords: Alluvium, Pile Capacity, CPT, SPT

In this thesis, 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 and SPT tests were carried out. The SPT and CPT field data obtained at both points and the ultimate capacities of a single pile with a specific geometry were determined by the methods proposed in the literature. 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 different values of pile capacities.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Terzaghi'nin deyimi ile 'görkemsiz' en son yapı elemanı olarak görülen temeller, üst yapı yüklerini zemine aktarırken zeminin yapısal bütünlüğünü korumakla görevlendirilip aynı zamanda zemini aşırı gerilmelere karşı zorlamadan tasarlanmalıdır. Aksi durumlarda zemin tepki olarak aşırı oturma ve/veya kayma yenilmesi oluşturabilmektedir (Coduto, 2001).

Kazıklı temellerin geçmişi 2000 yıldan daha fazla bir süreyi kapsamaktadır (Coduto, 2001). Yüzyıllardır süregelen sistem, yapı yüklerini zeminin derin tabakalarına aktarmakta, böylelikle karşımıza bir derin temel çeşidi olarak çıkmaktadır (Toğrol ve Tan, 2003).

Temeller; yüzeysel temeller ve derin temeller olarak ikiye ayrılır. Zemine oturtulacak yapının temel derinliği, genişliğinin 5 katı ise genellikle derin temeller tercih edilir (Yıldırım, 2009). Derin temellerin bir çeşidi olan kazıklı temelin kullanım aşamasında zeminin göçmeye karşı olan dayanıklılığına ve yapacağı oturmaların kabul edilebilir sınırlarda olmasına bakılır. Kullanılan derin temellerde temelin yan yüzeyindeki sürtünmesi, taşıma gücüne katkı sağladığı için yüzeysel temellerle arasında önemli bir fark oluşturur (Toğrol ve Tan, 2003).

Kabaca (2018), kazıkların taşıma gücünü ve oturmasını hesaplayabilmek için kullanılacak iki temel yaklaşımın var olduğunu ifade etmiştir;

-kazıkların çevresindeki zeminin yapısına laboratuvarında veya arazide bakılarak kabul edebileceği taşıma gücünü ve oturma miktarını belirlemek,

-kullanılması planlanan kazıkların yükleme deneyine tabii tutularak karşılayabileceği taşıma gücü ve oturmasını belirlemektir.

BÖLÜM 2. KAZIKLI TEMELLER

2.1. Kazıkların Genel Özellikleri

Kazıklı temeller, genellikle büyük ve ağır yapılarda veya direnci düşük, sıkışabilirliği yüksek zeminlerle sığ derinliklerde karşılaşıldığında kullanılmaktadır (Genç, 2011). Çekme, basınç ve yanal yük etkisine maruz kalan yapıların temelini desteklemek için tercih edilir. Sürtünme ve uç kazıkları olacak şekilde iki çeşit yük aktarma mekanizmaları vardır. Uç kazıklarında uç kısım sert zemine veya kayaya otururken, sürtünme kazığında taşıma gücü etrafındaki zeminle yaptığı sürtünmeden oluşur (Düzceer, 2002). Sürtünme kazığı kum, çakıl vb. zeminlere oturmuş olduğunda bu sıkıştırma kazığı olarak da adlandırılmaktadır (Bayar, 2011). Çoğu durumda bir kazığın toplam taşıma gücü hesaplanırken hem ucunun hem de yüzeyinin toplam katkısı göz önüne alınmaktadır.

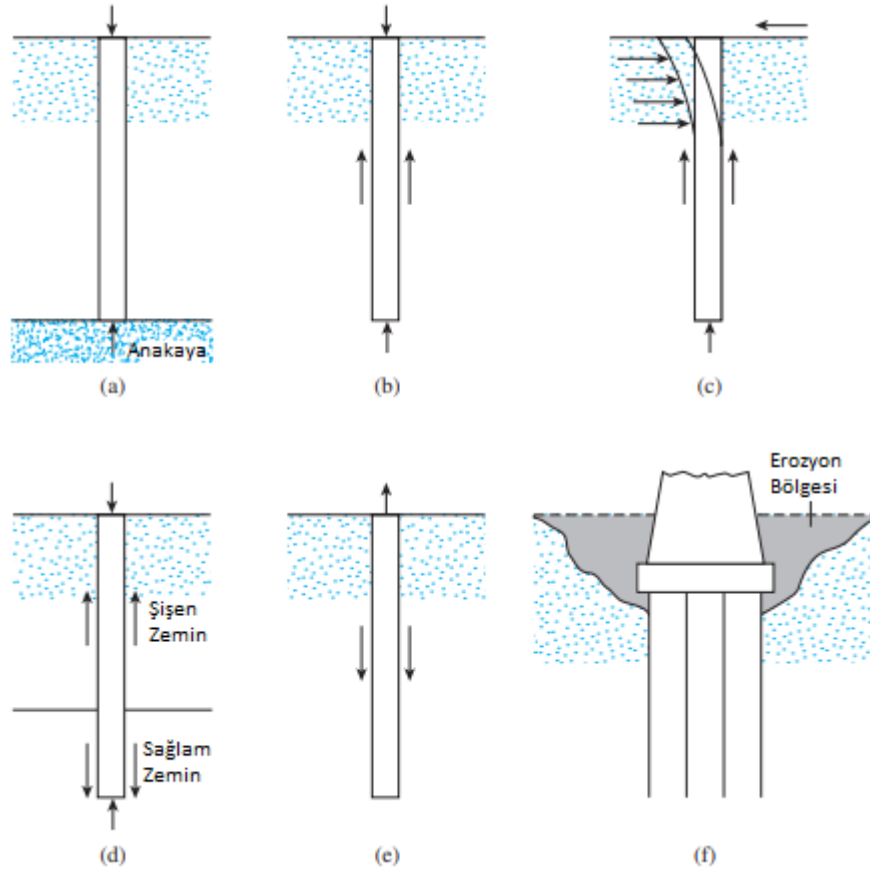
2.2. Kazıkların Çeşitleri

Üst yapıdan gelen yüklerin fazla olması, yapı altında yer alan zeminin bu yükleri göçmeden ya da aşırı miktarda oturmaya maruz kalmadan taşıyamayacak olması ve sağlam tabakaların derinde yer alması veya sığ temel için yapılacak zemin iyileştirmesinin daha maliyetli olması durumunda üstyapıdan gelen yükler kazıklı temeller vasıtasıyla zemine aktarılır (Das, 2014).

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 sınıflandırılmaktadır (Önalp ve Sert, 2016). Bahsi geçen bu kriterlere göre birçok farklı kazık sınıflandırma sistemi literatürde bulunmaktadır.

Kazıklı temellerin kullanıldığı durumlar aşağıda kısaca özetlenmiştir (Das, 2014):

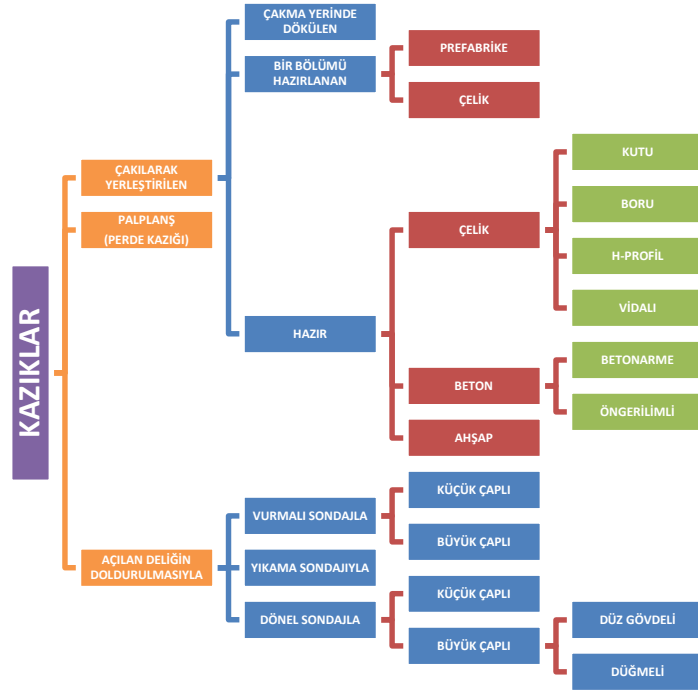
1. Zemin tabakalarının üst kısımlarında zeminin gevşek olması ve üzerine gelecek yükleri taşıyamayacak kadar zayıf olması halinde, yüklerin sağlam zemine aktarımı kazıklar aracılığı ile sağlanır (Şekil 2.1a.). Bu aktarım şeklinde uç taşıma gücü ağırlık kazanır ve “Uç Kazığı” olarak adlandırılır.
2. Zemin tabakalarında tasarlanabilecek maksimum derinlikte, yüksek taşıma gücüne sahip zemin ile karşılaşmadığında kazıkların yükü zemine kademeli olarak aktarması sağlanır. Yükleri zemin ile kazık yüzeyi arasında oluşan sürtünme kuvveti taşır. Bu şekilde olan kazıklar Sürtünme Kazığı olarak adlandırılır. Bazı durumlarda “Yüzen Kazık” olarak isimlendirilir (Şekil 2.1b.).
3. Kazıklar yanal yüklere maruz kaldığı durumlarda eğilmeye zorlanırken aynı zamanda düşey yükleri de karşılayabilmektedir. İstinat yapıları, yüksek rüzgar gücüne veya deprem etkisine maruz kalan çok katlı yapılar, kuleler, bacalar vb. bu tip durumlara örnek olurken bu yapıların temellerinin inşaatında kazık kullanımı tercih edilir (Şekil 2.1c.).
4. Zeminde bulunan su miktarına bağlı olarak büyük hacim değişikliği gösterebilen, şişebilen zeminlerde yüzeysel temel kullanımında farklı oturmalara bağlı büyük miktarda yapısal hasarlar meydana gelebilmektedir. Bu gibi durumlarda kazıklı temel tercih edildiğinde, kazık derinliği aktif zon olarak ifade edilen tabakayı geçerse, kazıklar gerektiğinde çekme kuvvetine çalışabilirler (Şekil 2.1d.).
5. Soğutma kuleleri, deniz yapıları gibi hafif yapılar veya temel alt kotu yeraltı su seviyesinden aşağıda yer alan yaylı (radyejeneral) temellerde kaldırma kuvvetine karşılık kazıklı temeller çekme kazığı olarak görev yapmaktadır (Şekil 2.1e.).
6. Taşıma gücü kaybı tehlikesi olan köprü ayakları, iskeleler vb. yapılarda zemin yüzeyinde oluşabilecek oyulmalar kazıklı temellerin tercih edilmesine neden olmaktadır (Şekil 2.1f.).



Şekil 2.1. Kazıklı temellerin kullanım alanları (Das, 2014)

Kazıkları sınıflandırmada kullanılan genel ayırım grafiği Şekil 2.2.'deki gibi olmakla beraber pratikte imal edildikleri malzemenin cinsine göre dört grupta incelenir;

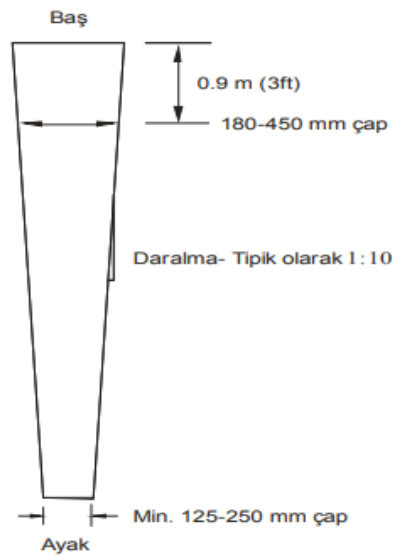
1. Ahşap kazıklar
2. Betonarme kazıklar
3. Çelik kazıklar
4. Kompozit kazıklar



Şekil 2.2. Kazıkların genel ayırım tablosu (Önalp, 1982)

2.2.1. Ahşap kazıklar

Ahşap kazıklar, uzun silindirik veya prizma şeklinde olan, hazırlanmasında düzgün gövdeli ağaçların tercih edildiği, zemine çakma işlemi ile yerleştirilen kazık çeşididir (Uzuner, 1995).



Şekil 2.3. Tipik bir ahşap kazık (Coduto, 2001)

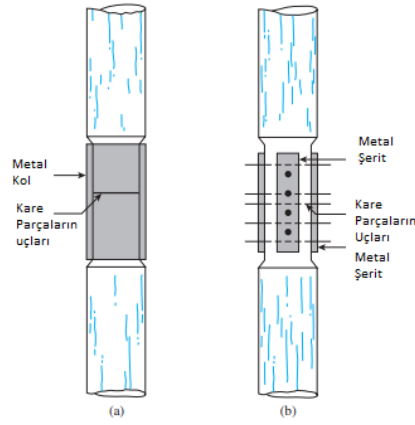
Ahşap kazıklar binlerce yıllık kullanım geçmişine sahiptir. ASCE Manual 17 (1959) ahşap kazıkları 3 gruba ayırır:

1. A Sınıfı: Ağır yüklerin taşınmasında kullanılmakta, minimum 360 mm çapında,
2. B Sınıfı: Orta yüklerin taşınmasında kullanılmakta, minimum 300 mm çapında,
3. C Sınıfı: Su seviyesinin altında bulunan zeminde kullanılmakta, minimum 300 mm çapında.

Ahşap kazıklardan devamlı veya geçici süreli olarak faydalanmak mümkündür. Hafif olmasına rağmen yüksek taşıma gücü oluşturması, boyunun rahatça ayarlanabilmesi ve taşınmasının kolaylığı ahşap kazıkların avantajlarından (Toğrol ve Tan, 2003). Su altında sürekli olarak bulduklarında ömürleri çok uzun olabilmektedir ama kazıkların bulunduğu bölgedeki su seviyesi değişken olduğunda veya periyodik ıslanacak şekilde yerleştirildiğinde çürümeye karşı elverişli ortam oluşmaktadır. Bu sebeple kazıklar yerleştirilmeden önce koruyucu madde ile kaplanmaktadır (Coduto, 2001).

Kazıklar, yeraltı su seviyesindeki değişkenlik, yangın, böcek ve burgu kurtlarının tahribatı, çürüme ve mekanik aşınma gibi sebeplerle tahribata uğrayabilirler (Şen, 2006). Bu durumda emprenye adı verilen işleme tabii tutulurlar. Emprenye işlemi, ahşabın içinde bulunan su ve havanın, uzun bir silindirik tankın içinde vakum işlemi uygulanarak çıkartılmasının ardından, ahşabın boşluklarına kreozot isimli koruyucu sıvının gönderilmesi olarak tanımlanmaktadır (Uzuner, 1995).

Kazıkların uç kısımlarında çakma esnasında hasar oluşmaması için çarık adı verilen demirden yapılmış bir malzeme kullanılır. Ahşap kazıkların eksiz yapılması tercih edilmektedir. Ama yanal yük / kaldırma kuvveti yoksa Şekil 2.4.'teki gibi ek yapılabilir (Toğrol ve Tan, 2003).

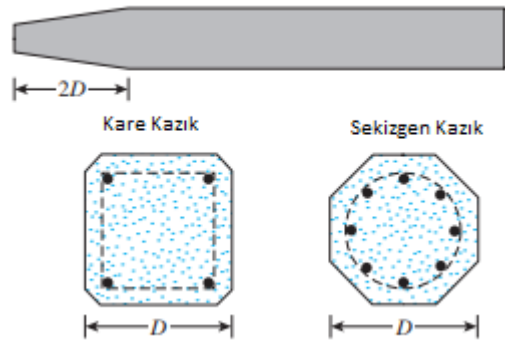


Şekil 2.4. Ahşap kazıkların birbirine eklenmesi (Das, 2014)

2.2.2. Betonarme kazıklar

Beton kazıklar, zemine çakma veya betonun sondaj deliklerine donatılı ya da donatısız yerleştirilmesi ile oluşturulan kazık tipleridir (Önalp, 1982). Yer altı su seviyesinin bu kazık çeşidini etkilememesi ve istenilen boylarda yapılabilir olması nedeniyle, en çok kullanılan kazık tipi olarak karşımıza çıkmaktadırlar. Çeşitlerinin arasında önceden dökülen kazıklar ve yerinde dökülen kazıklar öne çıkmaktadır. (Üzel, 2011).

Önceden dökülen kazıklar, prekast kazıklar olarak da adlandırılmakla birlikte yeteri miktarda uygulanacak ön germe ile hazırlanırlar (Odbay, 1995). Beton kazıklar genellikle Şekil 2.5.'te gösterildiği gibi kare veya sekizgen olarak tercih edilir.



Şekil 2.5. Betonarme kazık gösterimi (Das, 2014)

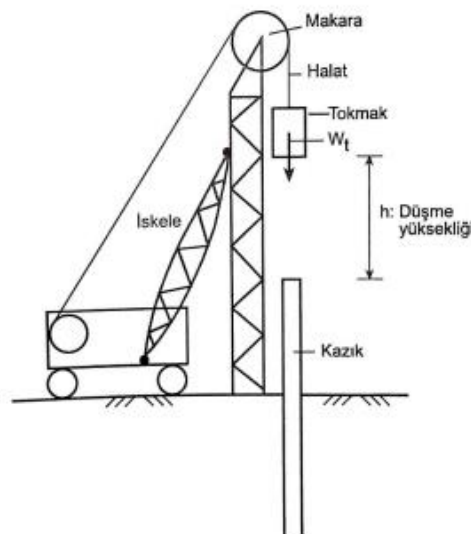
Geçmiş zamanlarda geleneksel beton kazıkların kullanımları yaygınken zamanla yerini öngerdirmeli kazıklara bırakmıştır. Bunun sebebi bu tür kazıkların eğilmeye karşı olan dayanımıyken, ambalajlama, taşınma ve çakılma esnasında daha az hasarla sonuç vermeleridir. Ayrıca gerektiğinde ön gerdirme kuvvetini kaybetmeden de kısıltılabilmektedirler (Coduto, 2001).

Yerinde dökülen kazıklar ise, zemine çakılan boş bir boru veya farklı delme işlemleriyle oluşturulacak deliğin donatılı veya donatısız şekilde betonla doldurulmasıyla imal edilmesi ile oluşur. Fore kazık ve yerinde dökülen betonarme çakma kazık olarak ikiye ayrılır (Üzel, 2011).

2.2.2.1. Yerinde dökülen betonarme çakma kazık

Ucu kapalı olan kaplama borusunun hidrolik bir sistem, şahmerdan veya titreşimli çekiçle zemine entegre edilmesi yerinde dökülen betonarme çakma kazık olarak adlandırılır (Toğrol ve Tan, 2003). Bu kazık tipini üç gruba ayırmak mümkündür;

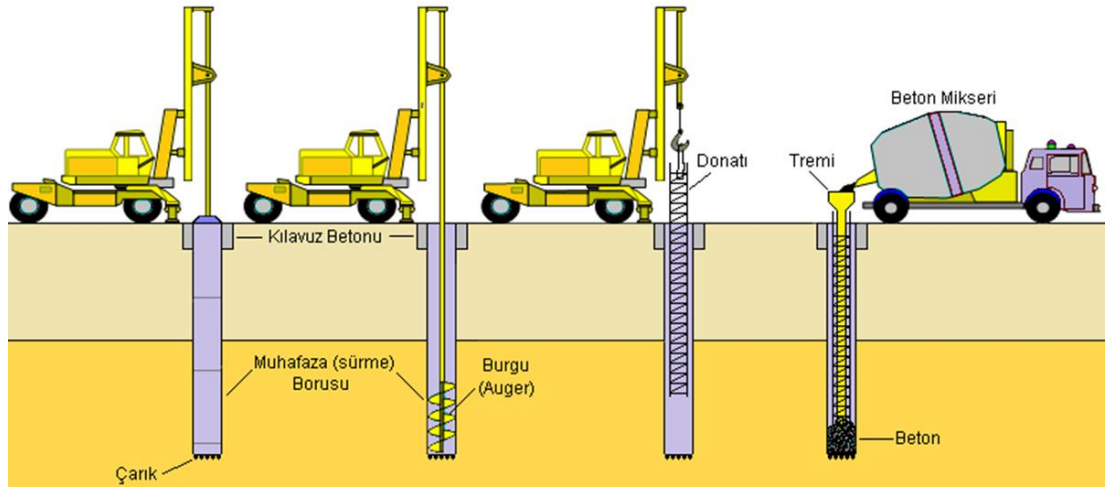
1. Kaplama borusu olmayan kazıklar,
2. Kaplama borusu zeminin içinde bırakılan kazıklar,
3. Kaplama borusu zeminden çıkartılan kazıklar (Gören, 2010).



Şekil 2.6. Çakma kazık imalat şekli (Kabaca, 2018)

2.2.2.2. Fore (sondaj) kazığı

Fore kazığı, kaplama borusunun ucu açık bir şekilde zemine sokulması ve içinin temizlenmesi ile hazırlanan sondaj kazığı olarak tanımlanır (Toğrol ve Tan, 2003). Uygulandıkları zeminlerde yanal deplasman oluşturmamaları dezavantajdır (Üzel, 2011).



Şekil 2.7. Fore kazık yapım aşamaları (Bol, 1996)

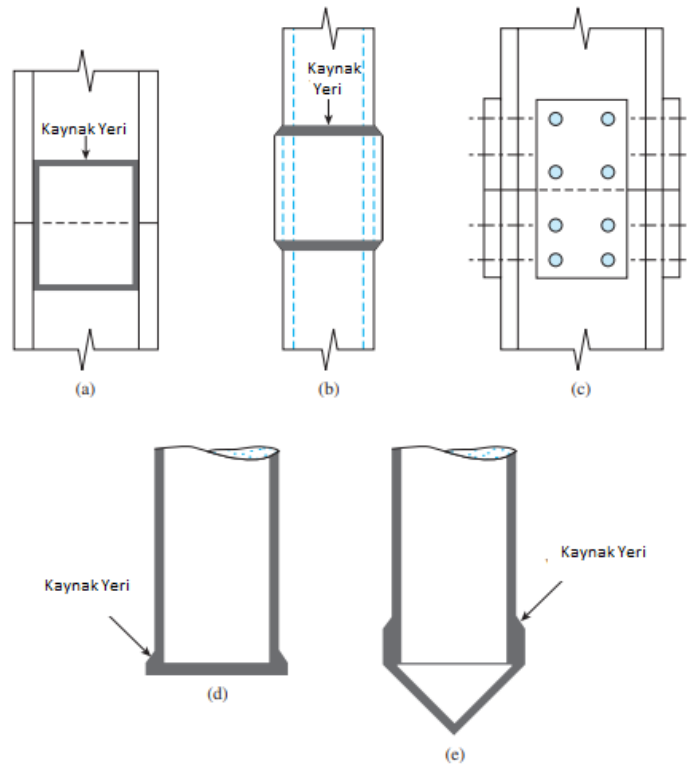
2.2.3. Çelik kazıklar

Çelik kazıklar, çakma esnasında yüksek gerilim alabilen yapı elemanlarıdır. Gerektiğinde ek yapma ve kesme imkanı bulunduğu için istenen uzunluğun ayarlanması büyük bir avantajdır (Önalp, 1982). En büyük dezavantajı ise pahalı oluşu ve çakılma esnasında gürültü ve titreşim oluşturmasıdır. Aynı zamanda paslanma ihtimalleri de vardır (Coduto, 2001). Çelik kazıklar genellikle H profili olarak veya dairesel boru kazık şeklinde kullanılmaktadır. Yüksek yük taşıma kapasiteleri bulunmaktadır (Üzel, 2011).

Şekil 2.8.'de;

- H profili kazıkların kaynakla birleştirilme şeklini,
- Boru kazıkların kaynakla birleştirilme şeklini,

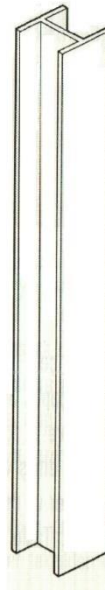
- c) H profili kazıkların civata ve perçin ile birleştirilme şekli,
 d) Boru kazıklarda yatay biçimde kaynakla birleştirilme şekli,
 e) Konik kullanımlarda kaynakla birleştirilme şeklini göstermektedir (Das, 2014).



Şekil 2.8. Çelik kazıkların gösterimi (Das, 2014)

2.2.3.1. H kazıkları

Küçük deplasman kazıkları olarak nitelendirilirler (Şekil 2.9.). Çünkü çakılma esnasında zeminde oluşturdukları yer değiştirme küçük hacimlidir. Sıklıkla uç taşıma kazığı olarak ifade edilirler ve ana kayaya oturtulurlar (Coduto, 2001).



Şekil 2.9. Bir çelik H kazığı

2.2.3.2. Boru kazıkları

H kazıklarına nazaran atalet momentleri büyüktür. Bu sebeple yanal yüklerin büyük olduğu durumlarda boru kazıkların kullanılması tercih edilir. Açık ve kapalı uçlu çakılma olarak iki şekli vardır (Coduto, 2001).

2.2.4. Kompozit kazıklar

Kompozit kazıklar, farklı özelliklerdeki malzemelerin (ahşap-beton veya beton-çelik gibi) alt kısım - üst kısım şeklinde birleştirilmesinden oluşturulur. En büyük sıkıntısı aderans-bağlantı problemidir. Bu sebeple çok tercih edilmezler (Odbay, 1995).

2.3. Kazıkların Taşıma Gücü Hesabı

Kazıklar, kazık grubunu oluşturacak en az üç kazığın uygun şekilde yerleştirilmesi ile tasarlanırlar. Genellikle kazık grubunun davranışı ile tek kazığın davranışı birbirinden farklıdır. Bu sebeple kazık grubunun taşıma gücünü hesaplarken tekil kazığın taşıma gücünden faydalanılmaktadır (Toğrol ve Tan, 2003).

Tekil kazığın taşıma gücü şu yöntemlerle belirlenmektedir (Uzuner, 1995):

1. Statik taşıma gücü formülleri kullanılarak,
2. Dinamik taşıma gücü formülleri kullanılarak,
3. Kazık yükleme deneyi sonuçları kullanılarak,
4. Arazi deney sonuçları kullanılarak.

Derin temeller, taşıma gücü hesabı yapılırken temelin yan yüzeyinde oluşacak sürtünmeyi hesaba kattıkları için yüzeysel temellerden ayrılırlar (Toğrol ve Tan, 2003). Derin temellerde taşıma gücü üç faktörle belirlenir:

1. Kazık ucu zeminin gömme derinliğine ve kayma direncine bağlı olarak direnç gösterir.
2. Kazığın yan yüzeyleri ile kazık arasında oluşan sürtünme taşıma gücüne katkı sağlar.
3. Kazılan hacime denk gelecek zeminin oluşturduğu gerilme kalkacağı için taşıma gücünde artış olur (Genç, 2011).

Bunların sonucunda kazık taşıma gücü hesabı en genel gösterimi ile eşitlik (2.1) ile hesaplanır.

$$Q_f = Q_b + Q_s + (\gamma \cdot L \cdot A_p) - W \quad (2.1)$$

Q_f : Kazığın taşıyabildiği yük

Q_b : Kazığın ucunun taşıyabildiği maksimum yük

Q_s : Çevre sürtünmesi ile taşınan yük

W : Kazığın ağırlığı

L : Kazığın zemin içindeki uzunluğu

A_p : Kazık uç alanı

Denklemden bulunan ve kazılan toprağın ağırlığını ifade eden $(\gamma \cdot L \cdot A_p)$ terimi yaklaşık kazık ağırlığına eşit olduğundan genelde ihmal edilir ve formülü eşitlik (2.2) ile gösterilir.

$$Q_f = Q_b + Q_s = q_b \cdot A_b + f_s \cdot A_s \quad (2.2)$$

q_b : Kazık ucunun oturduğu zeminin birim alanına gelen taşıma gücü

A_b : Kazık uç kesit alanı

f_s : Kazık birim çevre alanı

A_s : Kazık toplam çevre alanı

2.3.1. Statik taşıma gücü formülleri

Statik taşıma gücü için kullanılacak formüller ayrık daneli zeminler (kohezyonsuz) ve killi zeminler (kohezyonlu) için ayrı ayrı incelenmektedir. Hesaplamalar iri daneli zeminlerde drenajlı, ince daneli zeminlerde ise drenajsız şartlar göz önünde bulundurularak yapılır (Toğrol ve Tan, 2003).

2.3.1.1. Kohezyonlu zeminlerde kazık taşıma gücü hesabı

Kohezyonlu zeminlerde kazık taşıma gücü hesabı kazığın çevre sürtünmesine ve uç direncine bağlı olarak yapılır.

2.3.1.1.1. Çevre sürtünmesi

Kohezyonlu zeminlerde (killi zeminlerde) çevre sürtünme direnci üç yöntemle açıklanır:

a) λ yöntemi

b) α yöntemi

c) β yöntemi.

a) λ yöntemi

Vijayvergiya ve Foct (1972) tarafından kazık yükleme deneylerine dayandırılarak önerilmiş bir yöntemdir. Kazığın çakılması ile birlikte zeminde oluşan yer

değiştirmenin pasif itki oluşturduğu varsayılarak denklemler oluşturulmuştur. evre sürtünmesi eşitlik (2.3)'de gösterilmiştir.

$$Q_s = p \cdot L \cdot f_{av} \quad (2.3)$$

birim evre sürtünmesi ise (2.4) ile tariflenir.

$$f_{av} = \lambda \cdot (\sigma'_v + 2c_u) \quad (2.4)$$

λ : Katsayı

σ'_v : Ortalama düşey efektif gerilme değerı veya tüm derinliğin yarısındaki düşey gerilme

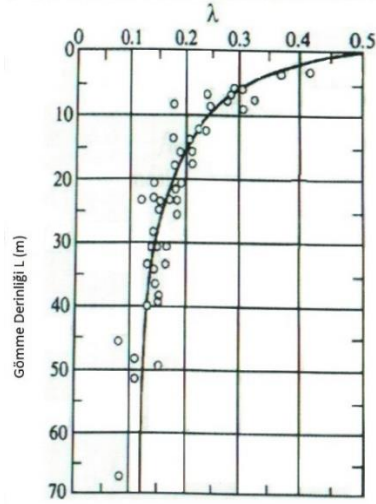
c_u : Drenajsız kayma direnci

λ değerleri için Wolf (1995) (2.5)'deki bağıntıyı önermektedir:

$$\lambda = -0,406 + (3,281 \cdot L)^{-0,125} \quad (2.5)$$

L : Kazık boyu

λ değerleri için Bowles (1996) ise minimum 0,14 ($\lambda \geq 0,14$), $L < 15$ m kazıklarda ($0,2 \leq \lambda \leq 0,4$) olacak şekilde aşağıdaki grafikte (şekil 2.10.) gömme derinliğine bağlı olarak değerimi göstermiştir.



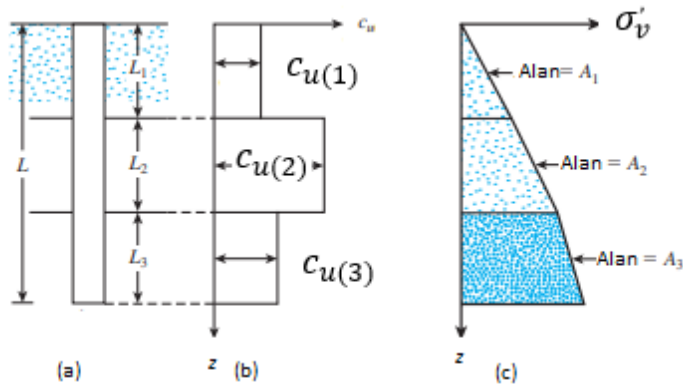
Şekil 2.10. Gömme derinliğine bağlı λ değişimi (Bowles, 1996)

Tabakalı ortamlarda ortalama c_u (Şekil 2.11.), eşitlik (2.6)'daki gibi bulunur.

$$c_u = (c_{u(1)} \cdot L_1 + c_{u(2)} \cdot L_2 + c_{u(3)} \cdot L_3 + \dots) / L \quad (2.6)$$

Benzer şekilde ortalama σ'_v (2.7)'deki gibi bulunur.

$$\sigma'_v = (A_1 + A_2 + A_3 + \dots) / L \quad (2.7)$$



Şekil 2.11. Tabakalı ortamlarda λ yönteminin uygulanması (Das, 2014)

b) α yöntemi

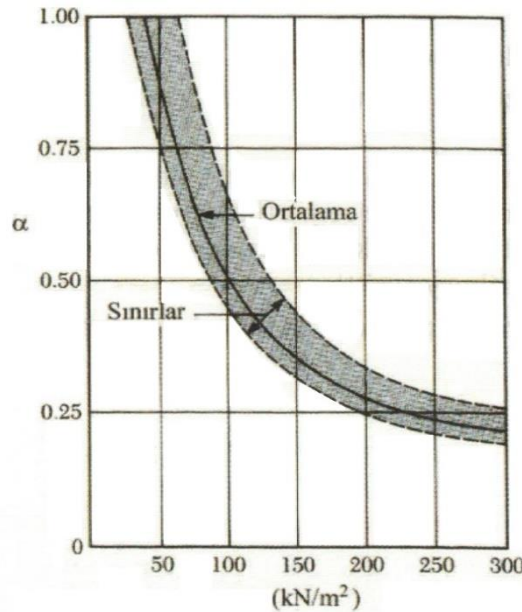
Drenajsız kayma direncini, α adı verilen bir adezyon faktörü ile çarparak birim çevre sürtünmesini tahmin etme yöntemidir. Kilin mukavemeti ve yapısının yanı sıra kazıkların boyutu ve yapım yöntemi ile zamanın adezyon faktörü üzerinde etkili olduğu düşünülebilir. Kavram bakımından killi zeminlerde adezyon, yükleme deneyleri ile bulunabilse de çoğu kez bu olanak olmadığından ampirik olarak verilen eğrilerden elde edilmektedir (Yıldırım, 2009).

Toplam gerilme analizine (TSA) dayandırılmış yöntemde sürtünme yükü eşitlik (2.8)'de ifade edilir.

$$Q_s = \sum f \cdot p \cdot \Delta \cdot L = \sum c_u \cdot p \cdot \Delta \cdot L \quad (2.8)$$

$$f = \alpha \cdot c_u \quad (2.9)$$

α : Katsayı ($c_u < 50 \text{ kN/m}^2$ olan konsolide killerde $\alpha = 1$, Şekil 2.12.)



Şekil 2.12. Drenajsız kayma direnci ile α katsayısı arasındaki ilişki (Das, 1999)

Wolf (1995) α için (2.10)'da gösterilen eşitliği önermektedir.

$$\alpha = 18 (S_u)^{-0,78} \text{ (kN/m}^2\text{)} \quad (2.10)$$

$S_u < 40 \text{ kN/m}^2$ için $\alpha = 1$ alınacaktır.

API (American Petroleum Institute, 1986);

$c_u \leq 25 \text{ kPa}$ için	$\alpha = 1,0$
$25 < c_u < 70 \text{ kPa}$ için	$\alpha = 1,277 - 0,0111 \cdot c_u$
$c_u \geq 70 \text{ kPa}$ için	$\alpha = 0,5$

Semple ve Ridden (1984):

$c_u \leq 35 \text{ kPa}$ için	$\alpha = 1,0$
$c_u \geq 80 \text{ kPa}$ için	$\alpha = 0,5$
$35 \text{ kPa} < c_u < 80 \text{ kPa}$ için $\alpha = 1 - [(c_u - 35)/90]$ değerlerini önermiştir.	
c) β Yöntemi	

Burland (1973) tarafından önerilen β yönteminde iki temel kabul yapılmıştır;

1. Kazık doygun killere çakılırken, kazığın etrafındaki zemin yoğrulur ve efektif gerilme azalır, kohezyon sıfır ($c=0$) olur.
2. Kazık çakılırken hacimde oluşacak değişimle özellikle normal konsolide killerde drenajsız kayma direncinin (c_u) 4-6 katına ulaşabilen boşluk suyu basıncı zamanla sönümlenir. Boşluk suyunun sönümlenmesinden sonra kazık yüzeyine etki eden efektif gerilme, kazık yerleştirilmeden önceki yatay efektif gerilmeye eşit olur.

Dolayısıyla analiz yoğrulmuş durumdaki kilin efektif gerilme parametrelerine dayandırıldığı için efektif gerilme analizi (ESA) olarak tanımlanır.

Herhangi bir derinlikte birim sürtünme direnci (2.11) ile tariflenir.

$$f = \beta \cdot \sigma'_v \quad (2.11)$$

σ'_v : Düşey efektif gerilme

β : Katsayı.

$$\beta = K \cdot \tan \phi_R \quad (2.12)$$

ϕ_R : Yoğurulmuş durumdaki kilin drenajlı kayma açısı

K : Sükunette toprak basıncı katsayısı

Normal konsolide killerde $K = 1 - \sin \phi_R$

Aşırı konsolide killerde $K = (1 - \sin \phi_R) \sqrt{OCR}$ ile tahmin edilmektedir.

Sürtünme yükü eşitlik (2.13) ile bulunur.

$$Q_s = \sum f \cdot p \cdot \Delta \cdot L \quad (2.13)$$

Meyerhof (1976) çakma kazıklar için fore kazıklarda β yöntemine benzer (2.14) veya (2.15) eşitlikleri önermiştir.

$$\beta = 0,5 + 0,18[S_u - 48] \quad 48 < S_u < 115 \text{ kPa} \quad (2.14)$$

$$\beta = (1 - \sin \phi') \sqrt{OCR} \cdot \tan \phi' \quad (2.15)$$

Chen ve Kulhawy (1974) önerisi ise eşitlik (2.16) şeklindedir.

$$\beta = [(1 - \sin \phi') \cdot OCR^{\sin \phi'}] \text{tg} \left[\left(\frac{\delta}{\phi'} \right) \cdot \phi' \right] \quad (2.16)$$

2.3.1.1.2. Uç direnci

Meyerhof, doygun killerde drenajsız koşulda uç taşıma gücünü eşitlik (2.17) ile tariflemiştir;

$$Q_b = c_u \cdot N_c \cdot A_p = 9 \cdot c_u \cdot A_p \quad (2.17)$$

c_u : Kohezyonlu zeminde drenajsız kayma direnci

N_c : Taşıma gücü faktörü

Taşıma gücü faktörü (N_c) kazıklarda temel derinliği / temel genişliği oranı büyük olduğundan 9'a eşit varsayılmaktadır.

CFEM'e göre N_c taşıma gücü önerileri;

D(m): < 0,5 ise	$N_c = 9$
D(m): 0,5 – 1,0 arasındaysa	$N_c = 7$
D(m): > 1,0 ise	$N_c = 6$ şeklindedir.
D	: Kazık çapı

Killi zeminlere açık uçlu çakılan çelik kazıkların çevre sürtünmesi farklı olabilmektedir. Açık uçlu çakılan kazıkların çevre sürtünmesi, kapalı uçlu çakılanlara göre daha küçüktür. Açık uçlu olarak, özellikle killi zeminlere çakılan kazıkların içinde bir tıpa oluşmaktadır. Schenk (1966) çeşitli kazık ve zemin cinsleri için uç taşıma gücü Q_b ve çevre sürtünmesi f_s değerlerini Şekil 2.13.'te önermiştir. Kazık içerisinde tıpanın oluştuğu durumlarda, kazık taşıma gücü, kazık dış çeperinin zemin ile sürtünmesinin tabloda hesaplanan değerinin 0,8 ile çarpılması, Şekil 2.13.'te hesaplanan uç mukavemetinin 0,5 ile çarpılması ve bu iki değer toplandıktan sonra elde edilir.

Zemin Cinsi	Taşıyıcı tabaka içindeki kazık boyu (m) *	f_s (kN/m ²)				q_b (kN/m ²)			
		Ahşap	Betonarme ****	Çelik (kutu kesitli ucu açık) **	Çelik (profil) ***	Akşap	Betonarme ****	Çelik (kutu kesitli ucu açık) **	Çelik (profil) ***
Kum	<5	20-45	20-45	20-35	20-30	20-35	20-50	15-40	15-30
	5-10	40-65	40-65	35-55	30-50	30-75	35-65	30-60	25-50
	>10		60	50-75	40-75	30-75	40-80	35-75	30-60
Kum-çakıl		Yukarıdaki gibi				Şartnameye %25	uyularak artırılabilir	yukarıdaki	değerler
Yumuşak kil, organik kil, sahil kili		5-20							
Katı, çok katı kil, lem		20-45				0-20			
Taşlı kil, çok katı sert	5	-	50-80	40-70	30-50	-	20-60	15-50	15-40
	10	-	80-110	60-90	40-70	-	50-90	40-90	30-75
	>10	-	80-110	80-100	50-80	-	80-100	80-100	60-100

* Çevre sürtünmesi için kazık boyu, uç direnci için taşıyıcı tabaka içindeki boy

** Bir kenarı veya çapı 500 mm den küçük,

*** 400 mm den küçük profiller için,

**** Ucu kapalı çelik kazıklarda aynı değerler kullanılabilir.

Şekil 2.13. Çeşitli kazık ve zemin cinsleri için çevre sürtünmesi ve uç taşıma gücü değerleri

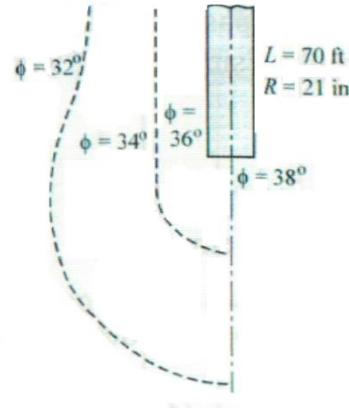
2.3.1.2. Kohezyonsuz zeminlerde kazık taşıma gücü hesabı

Kohezyonsuz zeminlerde kazık taşıma gücü hesabı kazığın çevre sürtünmesine ve uç direncine bağlı olarak yapılır.

2.3.1.2.1. Çevre sürtünmesi

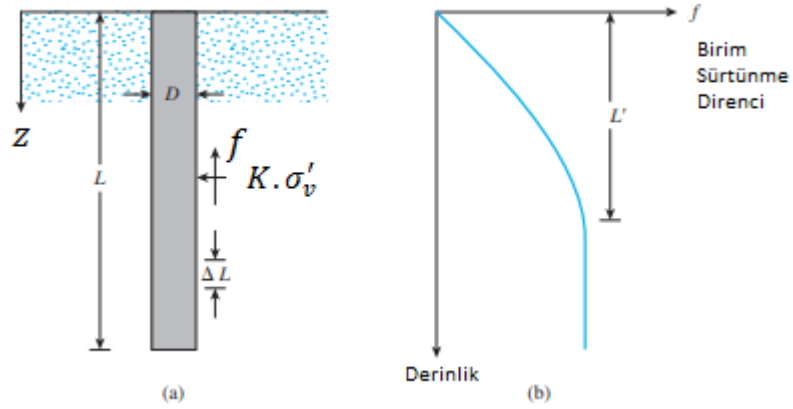
Kumda kesin şekilde sürtünme direncinin bulunması oldukça zordur.

1. Kazık çakılırken gevşek kumlar kazık yakınından itibaren sıkışır (Şekil 2.14.). Meyerhof (1961) kumun ilksel kayma direnci açısını 32° , kazığın yakın çevresi civarında 36° , altında 38° olarak belirlemiştir.



Şekil 2.14. Kazık etrafında kumun sıkışması (Das, 1999)

2. Kumda birim sürtünme direnci (f_s) Şekil 2.15a.'da gösterilmiştir. Birim çevre sürtünmesi kritik (L') derinliğe kadar yaklaşık doğrusal artış gösterir, söz konusu derinlikten sonra değişmez kalır (Şekil 2.15b.). Kritik derinlik kazık çapının yaklaşık 15-20 katına karşılık gelir ($L' \approx 15R$).
3. Benzer derinlikler için gevşek kumlarda, yüksek yer değiştiren kazıkların birim çevre sürtünmesi düşük yer değiştiren kazıkların birim çevre sürtünmesinden yüksektir.
4. Birim çevre sürtünmesi direnci kazık türlerine göre değişir.



Şekil 2.15. Kumda birim sürtünme direnci (Das, 2014)

Açıklamalar göz önünde bulundurularak;

- a) $z = 0 - L'$ derinliğinde $f_{z=L'} = K \cdot \sigma'_v \tan \delta$
 b) $z = L' - L$ derinliğinde $f = f_{z=L}$ olarak tarif edilir.

K : Toprak basıncı katsayısı
 σ'_v : Efektif düşey gerilme
 δ : Zemin-kazık sürtünme açısı

K değeri olan toprak basıncı katsayısı derinlikle değişir. Kazık üzerinde yaklaşık olarak Rankine pasif toprak basıncı katsayısına eşittir ve sükunetteki toprak basıncı katsayısından (K_0) az olabilir.

$f_{z=L'} = K \cdot \sigma'_v \tan \delta$ denkleminde bulunan K değerleri aşağıdaki şekilde değerlendirilebilir.

<u>Kazık tipi</u>	<u>K</u>
Fore kazık	$\approx K_0 = 1 - \sin \phi$
Düşük yer değiştiren kazık	$\approx K_0 = (1 - \sin \phi) - 1,4K_0 \approx 1,4(K_0 = 1 - \sin \phi)$
Yüksek yer değiştiren kazık	$\approx K_0 = (1 - \sin \phi) - 1,8 (K_0 = 1 - \sin \phi)$

Çeşitli araştırmacılar zemin ile kazık arasındaki sürtünme açısının (δ) $0,5\phi$ ile $0,8\phi$ arasında değiştiğini belirtmektedir.

Bhusan (1982) yüksek yer değiştiren kazık için (2.18) ve (2.19)'daki bağlantılarını önermiştir.

$$K \tan \delta = 0,18 + 0,0065 D_r \quad (2.18)$$

$$K = 0,5 + 0,008 D_r \quad (2.19)$$

D_r : Rölatif sıklık

Çevre sürtünmesi eşitlik (2.20) ile ifade edilir.

$$Q_s = \left[\left(\frac{f_{z=0} + f_{z=L'}}{2} \right) pL' \right] + [f_{z=L'} p(L - L')] \quad (2.20)$$

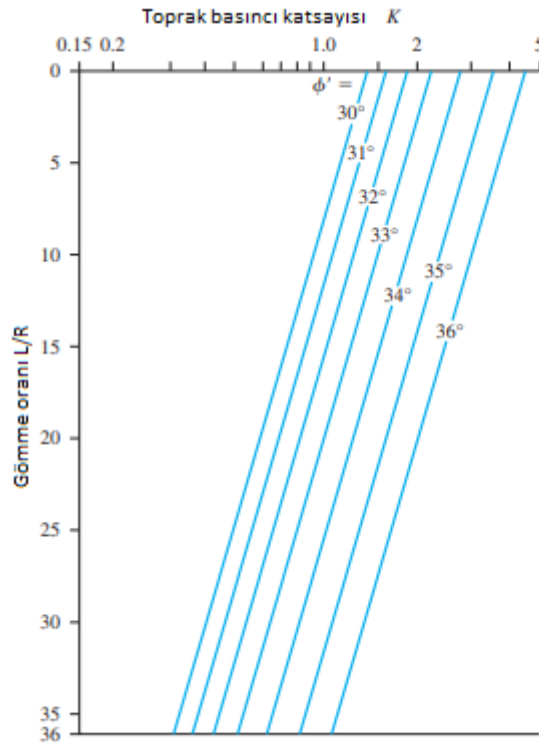
Coyle ve Castello (1981) çevre sürtünmesini (2.21) eşitliği ile tariflemiştir.

$$Q_s = p.L.f_{av} = (K\sigma'_v \tan \delta) p.L \quad (2.21)$$

σ'_v : Gömme derinliği düşey efektif gerilme ortalaması

δ : Zemin-kazık sürtünme açısı ($=0,8\phi$)

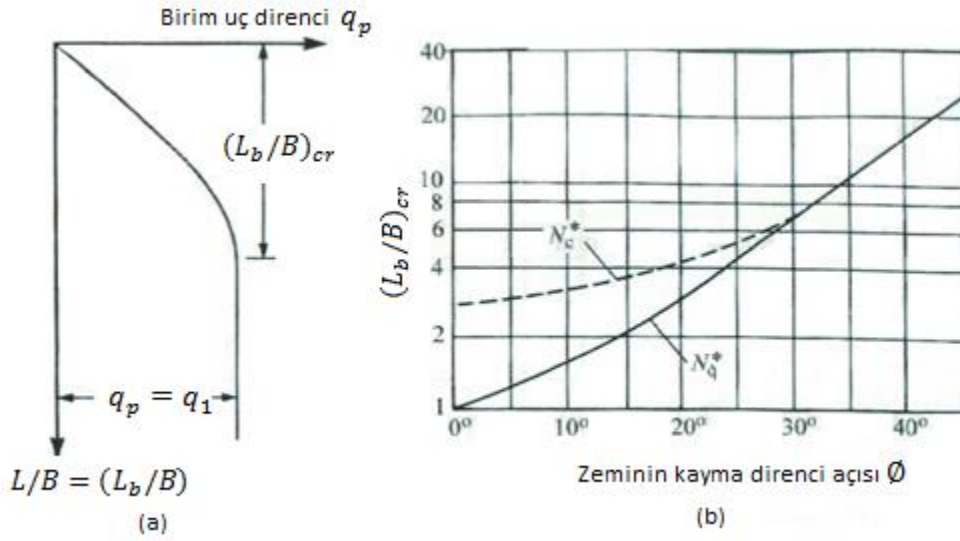
Coyle ve Castello arazi gözlemlerine dayanarak hazırladıkları kayma direnci açısı ile gömme derinliği ilişkisinden, toprak basıncı katsayısının bulunmasını Şekil 2.16.'da gösterildiği şekilde önermişlerdir.



Şekil 2.16. Toprak basıncı katsayısının L/R oranı ile değişimi (Das, 2014)

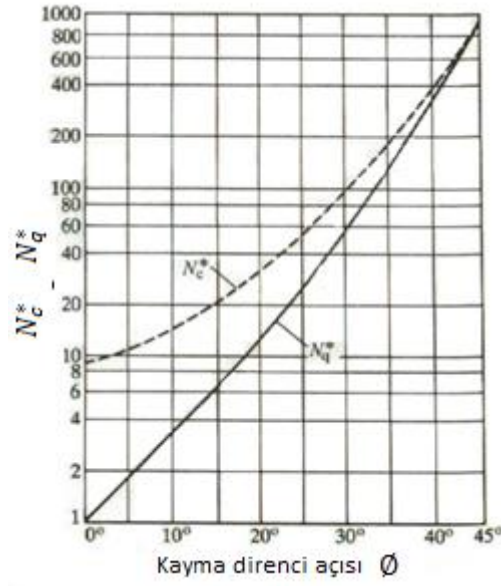
2.3.1.2.2. Uç direnci

Kazıklar kuma yerleştirildiği zaman uç dirençleri gömme derinlikleri arttıkça artış göstermekte ve gömme derinlikleri $L_b/B = (L_b/B)_{cr}$ oranına ulaştığında maksimum değer oluşmaktadır. Kritik gömme oranına ulaşan uç direnç $((L_b/B)_{cr})$ değişim göstermeyi bırakarak sabit kalmaktadır ($q_p = q_1$) (Şekil 2.17a.). Kayma direnci açısı ile $(L_b/B)_{cr}$ oranı ilişkisi Şekil 2.17b.'de gösterildiği gibidir.



Şekil 2.17. (a) Kumda uç direncinin değişimi, (b) ϕ - $(L_b/B)_{cr}$ ilişkisi (Das, 2014)

Meyerhof (1976) taşıma gücü faktörlerinin L_b/B oranı ile arttığını ve $L_b/B \approx 0,5(L_b/B)_{cr}$ olduğunda maksimum değere ulaştığını ifade etmiştir. Birçok durumda $L_b/B > 0,5(L_b/B)_{cr}$ olduğundan maksimum N_c^* ve N_q^* değerleri kullanılır (Şekil 2.18.).



Şekil 2.18. Meyerhof tarafından önerilen maksimum N_c^* ve N_q^* değerleri

Kumda ($c=0$) uç taşıma gücü (2.22) ile tariflenir.

$$Q_p = A_p q_d = A_p q' N_q^* \quad (2.22)$$

Q_p sınır (limit) değer ya da $A_p q_l$ değerinden küçüktür (2.23).

$$Q_p = A_p q' N_q^* \leq A_p q_l \quad (2.23)$$

Sınır uç direnci (2.24) eşitliği ile ifade edilir.

$$q_l = 50 N_q^* \tan \phi \quad (\text{kN/m}^2) \quad (2.24)$$

Meyerhof uç direncini düzeltilmiş SPT darbe sayısı ile (2.25)'deki bağlantılı ile ilişkilendirmiştir.

$$q_l = 40 N'(L/R) \leq 400 N' \quad (2.25)$$

N' : Kazık ucun yaklaşık $10R$ altında ve $4R$ üstündeki aralıktaki değerlerin ortalamasıdır.

Bunların yanı sıra kumda ve kilde uç taşıma yükü hesabı için farklı hesap yöntemleri de bulunmaktadır. Kısaca ifade edilirse;

-Janbu Yöntemi;

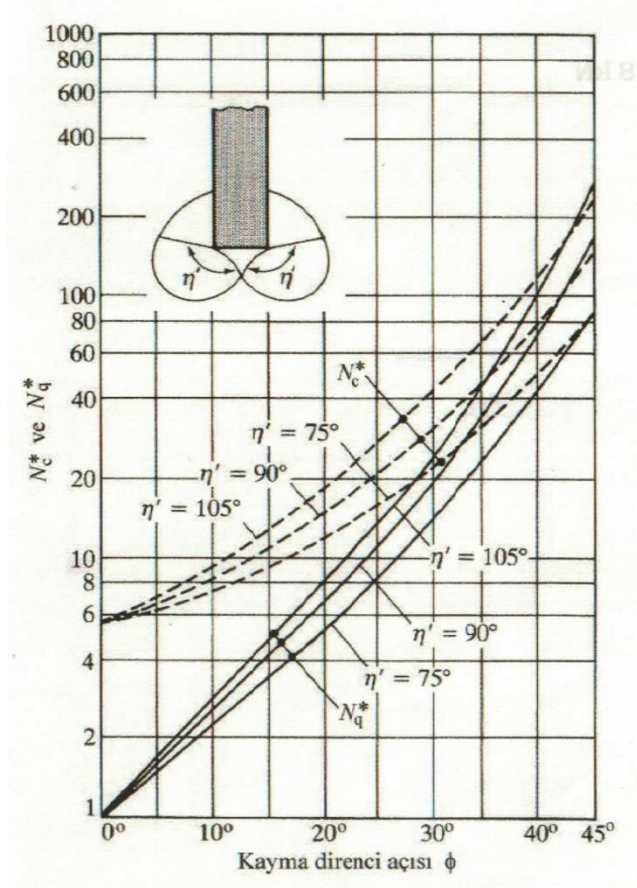
Janbu (1976) uç taşıma yükü için (2.26)'daki eşitliğini önermiş ve taşıma gücü faktörlerini kazık ucunda kırılma yüzeyini Şekil 2.19.'da görüldüğü şekilde kabul ederek hesaplamıştır.

$$Q_p = A_p (c N_c^* + q' N_q^*) \quad (2.26)$$

$$N_q^* = [\tan\phi + (1 + \tan^2\phi)^{1/2}]^2 (e^{2n' \tan\phi}) \quad (2.27)$$

$$N_c^* = (N_q^* - 1) \cot\phi \quad (2.28)$$

n' değeri yumuşak killerde 70° 'den başlayıp sıkı kumlarda 105° 'e kadar değişmektedir.



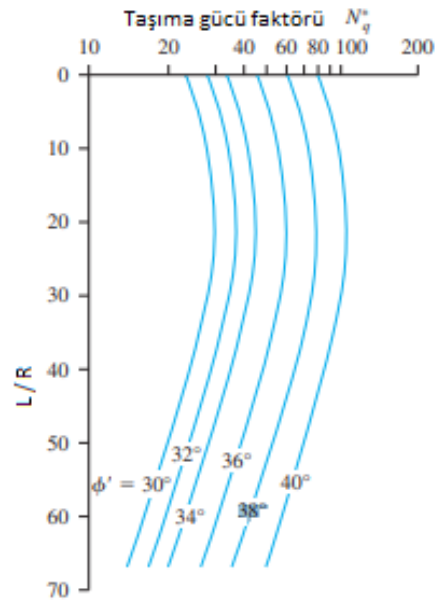
Şekil 2.19. Janbu'nun kazıklı temeller için önerdiği taşıma gücü faktörleri (Das, 1999)

Coyle-Castello Yöntemi

Coyle ve Castello (1981) kumda gerçekleştirdikleri kazık yükleme deneylerinden benzer eşitliği önermişlerdir(2.29).

$$Q_p = A_p \cdot q' N_q^* \quad (2.29)$$

Taşıma gücü faktörünün (N_q^*) kayma direnci açısı (ϕ) ve L/R oranı ilişkisinden bulunmasını önermiştir (Şekil 2.20.).



Şekil 2.20. Coyle ve Castello'nun önerdiği N_q^* değerleri

2.3.2. Arazi deneyleri ile kazık taşıma gücü hesabı

Kazık taşıma gücü standart penetrasyon deneyi (SPT), koni penetrasyon deneyi (CPT) ve presiyometre deneylerinden faydalanarak hesaplanabilmektedir. Bu tez kapsamında ise standart penetrasyon deneyi ile koni penetrasyon deneyi verilerini kullanan yöntemler tartışılmıştır.

2.3.2.1. Standart penetrasyon deneyi ile kazık taşıma gücü hesabı

Zeminin arazide ölçülen penetrasyon direnci, kazık uç direncinin ve çevre sürtünmesinin belirlenmesine fayda sağlamaktadır (Toğrol ve Tan, 2003).

Canadian Geotechnical Society (1985), standart penetrasyon deneyi sonuçlarından kazık taşıma gücünün tahminini eşitlik (2.30) ile ifade etmiştir.

$$Q_f = m \cdot N \cdot A_b + n \cdot \bar{N} \cdot R \cdot A_s \quad (2.30)$$

Q_f : Kazık taşıma gücü

N	: Kazık uç seviyesinde SPT sayısı
m	: Deneysel katsayı (kPa hesabında), çakma kazıklar için 400, fore kazıklar için 120
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
A_s	: Kazık çevre alanı

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 2.1.'deki ilişkiyi önermiştir.

Tablo 2.1. Standart penetrasyon deneyi ile kazık taşıma gücü arasındaki ilişki (Meyerhof, 1976)

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) $N \leq 100N$

Bu ifadelerde \bar{N} değerleri, kazığın zemin içindeki derinliği boyunca SPT değerlerinin ortalamasını, N değerleri kazık uç seviyesindeki SPT değerlerini göstermektedir.

Coyle ve Castello'ya göre çevre sürtünmesi de (2.31)'de ifade edildiğinden,

$$Q_s = p \cdot L \cdot f_s \quad (2.31)$$

Son taşıma gücü (2.32) eşitliği ile bulunur.

$$Q_f = Q_s + Q_{uç} \quad (2.32)$$

2.3.2.2. Koni penetrasyon deneyi ile kazık taşıma gücü hesabı

Koni penetrasyon deneyi (CPT) ile elde edilen standart verileri olan çevre sürtünmesi (f_c) ve uç mukavemeti (q_c) kazık taşıma gücü hesabında fayda sağlamaktadır. Bu sonuçlar üzerinden önerilmiş yöntemler bulunmaktadır (Toğrol ve Tan, 2003).

Canadian Geotechnical Society (1985), koni penetrasyon deneyi ile kazık taşıma gücünün, CPT deneyi tahmini ile oluşacak sonuçlarını, iri çakıl ve sıkı kumlarda uygulama zorluğu olduğundan silt ve kumlu zeminler için kullanmıştır.

$$Q_f = q_c \cdot A_b + \bar{f}_c \cdot A_s \cdot L \quad (2.33)$$

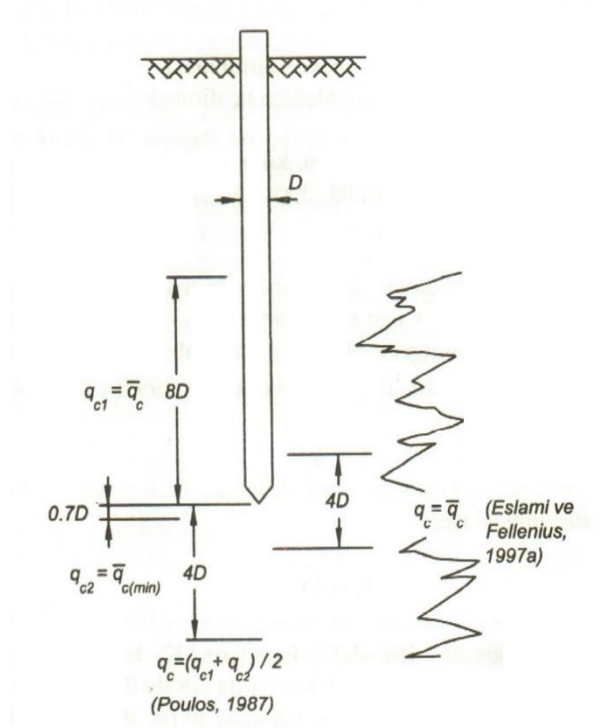
- Q_f : Kazık nihai taşıma gücü,
 q_c : Koni penetrasyon uç direnci ($R > 500$ mm olan kazıklar için ortalama değer yerine ölçülen en küçük değer alınması önerilmektedir.),
 A_b : Kazık uç kesit alanı,
 f_c : Koni penetrasyon deneyinde ortalama çevre sürtünmesi,
 A_s : Kazık çevre alanı,
 L : Kazık çakma boyu olarak verilmektedir.

Burada yapılan deney sayısı ve deney sonuçlarının dağılımına bağlı olarak 2,5 veya 3,0 gibi bir güvenlik katsayısı kullanılması önerilmektedir. Kazık uç seviyesi civarındaki koni penetrasyon deneyi ortalama direncinin hesabı için aritmetik ortalama değer eşitlik (2.34)'deki gibi bulunur.

$$\bar{q}_c = \frac{q_{c1} + q_{c2} + \dots + q_{cn}}{n} \quad (2.34)$$

Poulos (1987) çakma kazıkların uç taşıma gücünün q_b , koni penetrasyon deneyinde ölçülen uç direnci q_c ye yaklaşık olarak eşit alınabileceğini önermiştir. Kazığın uç direncine esas olarak alınacak koni penetrasyon uç direnci değerinin kazık uç seviyesinden, kazık çapının (D), 8 katı, $8D$ üstündeki bölgede ortalama değer ile

kazık uç seviyesinin 0,7D ile 4D altındaki bölgedeki değerlerin minimumlarının ortalamasının alınmasını önermektedir (Şekil 2.21.).



Şekil 2.21. Poulos, Eslami ve Fellenius'a göre çakma kazıkların uç taşıma gücü

Eslami ve Fellenius (1997a) aritmetik ortalama alınmasının değerlendirilene bağlı sonuçlar verdiği için hesaplarda daha tekrar edilebilir değerler veren geometrik ortalamanın kullanılmasını ve kazık uç seviyesinin 2D altında ve 2D üzerinde kalan bölgede yapılmasını önermiştir. Geometrik ortalama eşitlik (2.35)' deki gibi hesaplanmaktadır.

$$\bar{q}_c = \sqrt[n]{q_{c1}q_{c2}Lq_{cn}} \quad (2.35)$$

Deneyde çevre sürtünmesi ölçülmemişse, kum zeminde çakma kazıkların çevre sürtünmesi için (2.36)'daki tahmini değer alınmaktadır.

$$\frac{f_s}{q_c} \cong 0,005 - 0,01 \quad (2.36)$$

f_s : Çevre sürtünmesi
 q_c : Ölçülen uç direnci

Bu değerlerin, kum zeminler çakılan, az sıkıştırma etkisi olan kazıklar için yarıya, sondaj kazıkları için 1/3'e kadar düşürülmesi önerilmektedir.

Toğrol ve Tan (2003)'ın, Eslami ve Fellenius (1997b)'den aktardığına göre Schmertmann ve Nottingham, killerde ve kohezyonsuz zeminlerde, kazık ucu seviyesinin 6D – 8D üstündeki değerleriyle, 0,7D – 4D altındaki değerlerin ortalaması \bar{q}_c olarak isimlendirilirken bu değer kazık uç direncine eşittir demiştir (Şekil 2.21.).

$$q_b = \bar{q}_c \quad (2.37)$$

Birim çevre sürtünmesi ise (2.38) eşitliği ile verilmiştir.

$$f_s = \alpha_c \cdot f_c \quad (2.38)$$

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 ayrık daneli zeminler için kazık çevre sürtünmesi (2.39)'daki eşitlik ile verilmektedir.

$$f_c = C \cdot q_c \quad (2.39)$$

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 kN/m²'yi geçemeyeceği belirtilmektedir. Çekme halinde kazık çevre sürtünmesi %70 azaltılması önerilmektedir.

Titi ve Abufarsakh (2000)'a göre ise Schmertmann, kazık uç seviyesinin altındaki $0,7D - 4D$ aralığında en küçük değere q_{c1} , kazık uç seviyesinden $8D$ üstüne kadar olan aralıktaki en küçük değere de q_{c2} olarak tanımlama yapmıştır. Schmertmann'a göre $q_{uç}=15$ MPa'ı geçemez. Buna göre $q_{uç}$ eşitlik (2.40) ile hesaplanır.

$$q_{uç} = \frac{q_{c1} + q_{c2}}{2} \quad (2.40)$$

Sürtünme direnci ise eşitlik (2.41) ile hesaplanır.

$$f = \alpha_c \cdot f_s \quad (2.41)$$

α_c killi zeminler için 0,2 ile 1,25 arasında değişen bir katsayıdır.

Kazığın taşıyabileceği toplam yük eşitlik (2.42)'deki gibidir.

$$Q_T = Q_s + Q_c = q_{uç} \cdot A_b + f \cdot A_s \cdot L \quad (2.42)$$

Kumlu zeminler için Q_s eşitlik (2.43) ile bulunmaktadır.

$$Q_s = \alpha_s \cdot \left(\sum_{y=0}^{8D} \frac{y}{8D} \cdot f_s \cdot A_s + \sum_{y=8D}^L f_s \cdot A_s \right) \quad (2.43)$$

α_s kumlu zeminler için değişen bir katsayıdır ve f değeri 120 kPa'ı geçemez.

DeKuitert ve Beringen (1979)'e göre kilde her zemin tabakası için drenajsız kayma direnci 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 aşağıdaki şekilde değerlendirilir.

$$q_{uç} = N_c \cdot s_{u(uç)} \quad (2.44)$$

$$s_{u(uç)} = \frac{q_c(uç)}{N_k} \quad (2.45)$$

Denkleimde 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;

$$f = \beta \cdot s_{u(\text{çevre})} \quad (2.46)$$

Denklemdaki β adezyon faktörü olup normal konsolide killer (NC) için 1, aşırı konsolide killer (OC) için 0,5'e eşittir. $s_{u(\text{çevre})}$, kazık shaftı boyunca her zemin tabakası için eşitlik (2.47) denklemi ile belirlenir;

$$s_{u(\text{çevre})} = \frac{q_{c(\text{çevre})}}{N_k} \quad (2.47)$$

Titi ve Abufarsakh (2000)'a göre koni faktörü $N_k = 20$ ve adezyon faktörü $\beta = 0,5$ olarak belirlenmiştir. Çünkü bunlar öngörülen nihai kazık kapasitesine en yakın 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 eşitlik (2.48)'deki denklemlerde gösterilmiştir.

$$f = \begin{cases} f_s \\ \frac{q_{c(\text{çevre})}}{300} (\text{basınç}) \\ \frac{q_{c(\text{çevre})}}{400} (\text{çekme}) \\ 120 \text{ kPa} \end{cases} \quad (2.48)$$

Hesaplanan çevre sürtünmelerinden en küçük değer tercih edilir.

DeKuitter ve Beringen (1979)'e göre $q_{tmaxs} = 15 \text{ MPa}$ ve $f_{maks} = 120 \text{ kPa} = 0,12 \text{ MPa}$ 'dır.

Bustamante ve Gianeeselli (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. Bu yöntemde çevre sürtünmesi kullanılmamaktadır.

Kazık uç direnci;

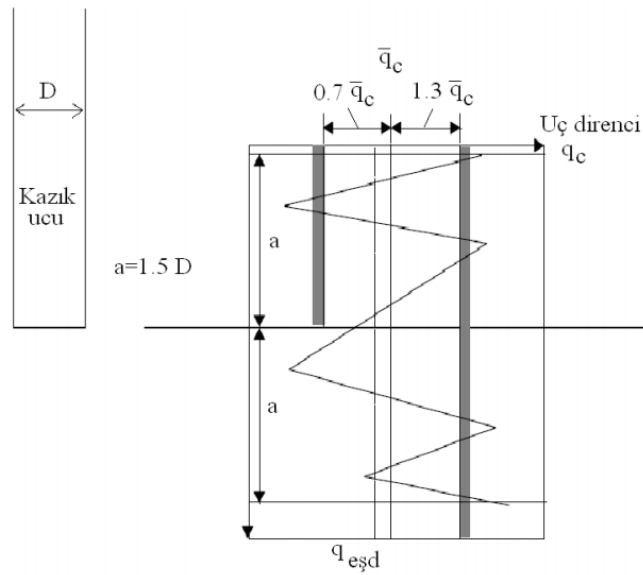
$$q_{uç} = k_b \cdot q_{eşdeğer} \quad (2.49)$$

Denklemden bulunan k_b taşıma katsayısıdır ve değerleri Tablo 2.2.'de verilmiştir.

Tablo 2.2. 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 $1,5D$ altı ve $1,5D$ 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 (Şekil 2.22.).



Şekil 2.22. Ortalama kazık ucu eşdeğer direncinin hesaplanması

Kazık çevre sürtünmesi f_s , geçilen her katmanın zemin özellikleri, imalat yöntemi ve kazık türüne bağlı olarak bulunmaktadır. İlk olarak Tablo 2.3.'ten kazık kategorisi nosu seçilir. İkinci olarak her zemin katmanı için Tablo 2.4. ve Tablo 2.5.'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 2.23a.'dan iri daneli, Şekil 2.23b.'den ince daneli zeminler için maksimum birim çevre sürtünmesi f_s okunur.

Tablo 2.3. LCPC yöntemine göre kazık kategorileri

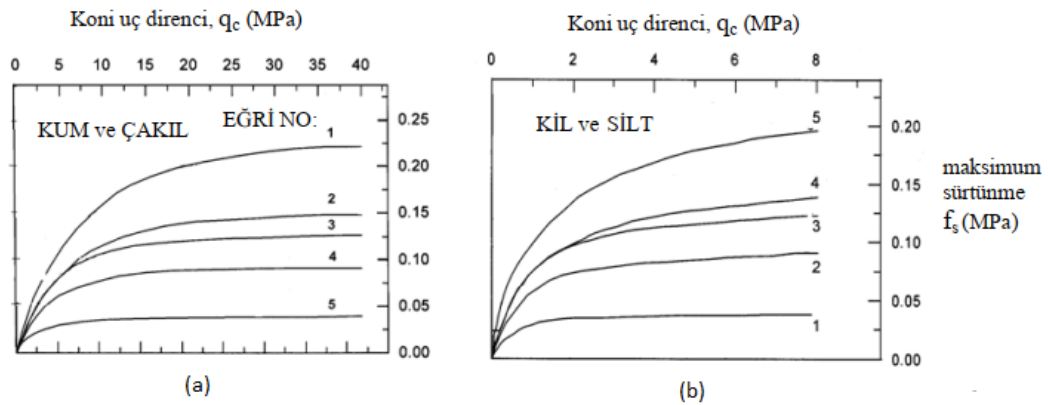
KATEGORİ	KAZIK TÜRÜ	YAPIM YÖNTEMİ
1	bentonitsiz delme şaftlı	YASS üstündeki killerde uygulanır: kuyuyu çamurla desteklemeden imal ediliyor.
2	şaftı çamurla delinen	Kuyu çamurla dolu tutulurken betonlama dipten, çamuru yukarıya ittirerek yapılıyor.
3	kaplama borulu delme	Çelik muhafaza borusunun tutucu niteliğinden yararlanılarak imal ediliyor. Beton döküldükçe boru dışarıya çekiliyor.
4	İçi boş burgu ile delinen	Uzunluğu en az kazık boyu kadar olan sürekli burgu ile imal ediliyor. Burgu dışarı alınırken ucundan beton basılıyor.
5	kuyu	Kazı elle, işçilerin kuyunun dibinde çalışmasıyla yapılıyor. Kuyu yüzeyi destekler veya kaplama borusu ile tutuluyor.
6	tip 1 mikrokazık	D<250 mm olan kaplama borulu delme kazık. Kplama borusu indirilip içi betonla doldurulduktan sonra ağız kapatılarak içeriye basınçlı hava uygulanarak boru dışarı çekilir.
7	vidalı kazık	Kohezyonsuz ve YASS altındaki zeminlerde uygulanmaz. Helezon bir uç ondüle borunun önünde yerine itilir. Uç ters çevrilip kaplama borusunu geri alırken betonlama yapılır.
8	çakma beton	150-500 mm çaplı boru, H kazıklar, 2,3,4 parça palplanstan oluşturulan kutular. Kazık profili büyük çarıkla çakılırken beton çarğın yanından basılır ve bir manto oluşturur.
9	çakma hazır beton kazık	Çakılarak veya titreştirilerek indirilen betonarme veya öngermeli beton kazıklar.
10	çakma çelik	Sadece çakma çelik H, boru ve kaynakla oluşturulan çelik kazıklar.
11	öngermeli içi boş kazık	Çakmadan önce biraraya getirilen hafif donatılı içi boş, silindirik beton. Birimler 1.5-3 m boy, 700-900 mm çap, 150 mm et kalmıklı ve ucu açık.
12	ucu tıkaçlı beton çakma kazık	Çakma uçtaki kuru beton tıkaçla yapılır. Borular dışarı çekilirken düşük çökme değerli beton dövlerele yerleştirilir.
13	çakma boru kazık	Ucu tıkaçlı boru yerine indirilir, orta çökme değerli betonla doldurulduktan sonra sadece boru çekilir.
14	içeri itilen beton kazık	Kazık çapı 300-600 mm, boyu 0.5-2.5 m olan prefabrike veya yerinde dökülen parçalardan oluşturulur. Parçalar hidrolik güçle yerine itilir.
15	içeri itilen çelik kazık	Sadece çelik kazıklar yerine hidrolik güçle itiliyor.
16	tip 2 mikrokazık	Çapı <250 mm. Donatı kafesi şafta yerleştirildikten sonra betonlama aşağıdan yukarıya yapılır.
17	yüksek basınçta enjeksiyonlu	Çapı >250 mm. Enjeksiyon sistemi yüksek basınçlar sağlayarak betonu basmalıdır.

Tablo 2.4. 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 q_s 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 şaftlar 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.
3	>1.2 <2	12	DTU 13.2'de belirtilen olağan uygulama durumları.
5	>0.7	16,17	Daha önce yükleme deneyinden gelen bilgiler destekliyor ve enjeksiyon düşük debide tekrarlanarak yapılıyor ise eğri No.5'i kullan.

Tablo 2.5. 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 kantlanıyorsa 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 dayandırılmışsa No.5 eğriden daha büyük değerler kullanılabilir.



Şekil 2.23. LCPC yönteminde maksimum sürtünme yapışma eğrileri

Eslami ve Fellenius (1997b), piyezokoni kullanarak, yapılan CPT sonuçlarının kullanılması ile kazık uç direnci ve çevre sürtünmesinin hesaplanması için bir yöntem önermişlerdir. Piyezokoni aleti ile zeminin boşluk suyu basıncı da ölçülebilmektedir. Ölçülen toplam uç direncinden boşluk suyu basıncı çıkartılarak efektif uç direnci bulunur. Kazık zayıf bir tabakadan geçerek sağlam bir tabakaya giriyorsa kazık ucunun 4D aşağısından 8D yukarısına kadar bir kesimde, kazık sağlam bir tabakadan geçip zayıf bir tabakaya giriyorsa kazık ucunun 4D altından 2D üstüne kadar bir kesimde ölçülen efektif koni uç dirençlerinin, ortalaması (q_E) alınır. Kazığın uç direnci eşitlik (2.50) olarak kabul edildiğinde eşitlik (2.51) önerilmiştir.

$$q_b = q_E \quad (2.50)$$

$$f_s = C_s q_E \quad (2.51)$$

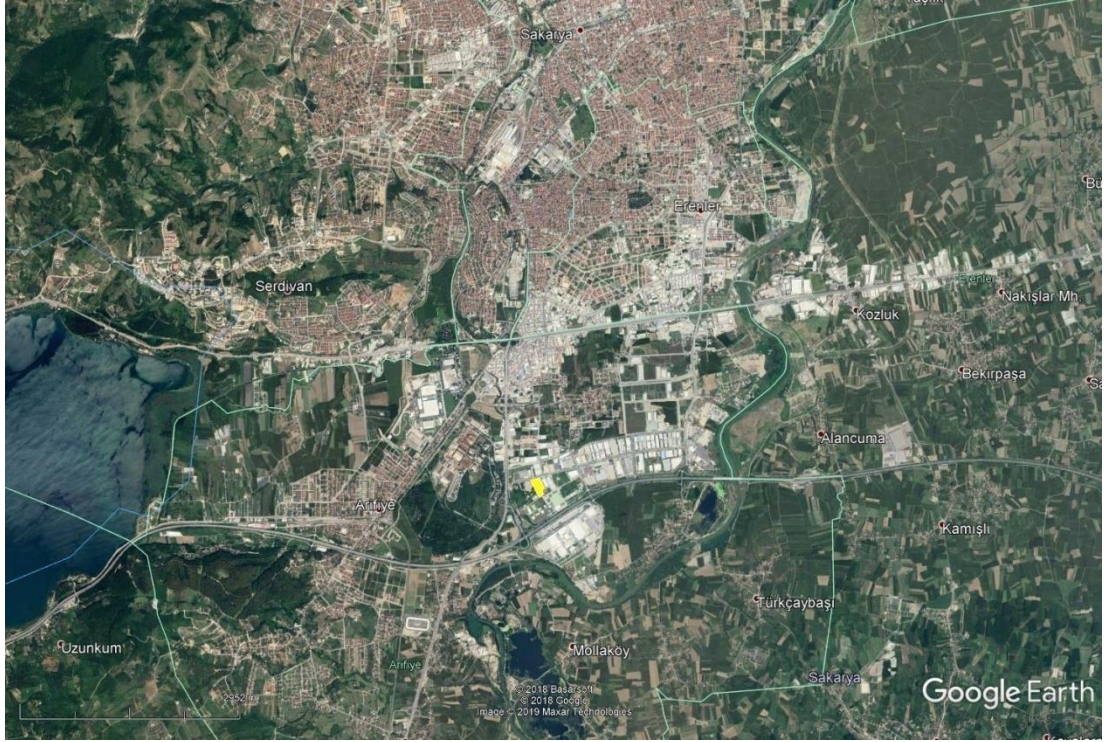
Eslami ve Fellenius (1997b), kazık çevre sürtünmesi hesabında zemin cinsinin etkisini dikkate alarak bir C_s katsayısı tanımlamışlardır. Bu katsayının önerilen değerleri Tablo 2.6.'da verilmiştir.

Tablo 2.6. C_s katsayısının değerleri (Eslami ve Fellenius, 1997b)

Zemin cinsi	C_s (%)
Çok yumuşak kil veya yumuşak hassas zemin	8,0
Yumuşak kil	5,0
Katı, kil veya silt karışımı	2,5
Silt veya kum karışımı	1,0
Kum veya çakıllı kum	0,4

BÖLÜM 3. ÖRNEK ARAZİNİN GEOTEKNİK ÖZELLİKLERİ

Sakarya ili, Arifiye ilçesinde bulunan örnek arazi konum itibari ile Sapanca Gölü'nün doğusunda, Sakarya Nehri'nin batısında olan alüvyal bir ortamdan seçilmiştir (Şekil 3.1.).



Şekil 3.1. Örnek arazinin konumu

Çalışma alanında Sakarya Üniversitesi tarafından boşluk suyu basınçlarının da ölçüldüğü 12 adet koni penetrasyon deneyi (CPTU) ve özel bir zemin araştırma firması tarafından toplam derinliği 70 m olan 3 adet dönel sondaj yapılmıştır. Sondajların derinlikleri, koordinatları ve yeraltı suyu seviyeleri Tablo 3.1.'de ve yerleri Şekil 3.2.'de gösterilmiştir. Sondaj ve sondalama logları Ek 1, Ek 2, Ek 3, Ek 4 ve Ek 5'de sunulmuştur.



Şekil 3.2. Sondaj ve sondalama yerleri

Tablo 3.1. İnceleme alanında yapılan sondajlar

Sondaj no	Sondaj derinliği (m)	Y.A.S.S. (m)	Enlem (N)	Boylam (E)
1	20.00	2.50	40.716971	30.388717
2	20.00	2.50	40.716693	30.388204
3	30.00	2.50	40.717966	30.387703

Arazide yürütülen boşluk suyu basınçlarının da ölçüldüğü 12 adet koni penetrasyon deneyi (CPTU)'nin özet dökümü Tablo 3.2.'de ve yerleri ise yine Şekil 3.2.'de sunulmuştur. Şekil 3.3.'te örnek alanda yürütülen sondalama çalışmalarına ait fotoğraflar gösterilmektedir.

Tablo 3. 2. İnceleme alanında yapılan sondalamalar

PCPT NO	YASS (m)	Enlem (N)	Boylam (E)	Sağlam tabaka (m)
1	1.80	40.7165	30.3890	9.50
2	0.30	40.7172	30.3890	9.00
3	0.80	40.7177	30.3885	8.70
4	0.95	40.7182	30.3883	8.20
5	1.15	40.7181	30.3877	8.10
6	0.70	40.7176	30.3880	8.40
7	1.50	40.7170	30.3884	9.80
8	1.50	40.7165	30.3887	9.60
9	1.70	40.7169	30.3879	9.50
10	1.10	40.7179	30.3872	8.00
11	1.00	40.7174	30.3874	8.40
12	1.60	40.7164	30.3883	10.20



Şekil 3.3. İnceleme alanında yürütülen sondalama çalışmalarından örnekler

3.1. İdealize Zemin Profilleri (Arazi Zemin Modeli) ve Yeraltı Suyu

Arazide yapılan üç adet ilave sondaj çalışmasında alınan örselenmiş ve örselenmemiş numuneler TS 1900/1 ve TS 1900/2 (2006) uyarınca zemin mekaniği deneylerine tabi tutulmuş ve zeminler TS 1500 (2000) uyarınca sınıflandırılmışlardır. Tablo 3.3. ve Tablo 3.4.'te deney sonuçlarının özeti sırası ile sondaj sıralı ve derinlik sıralı olarak verilmiştir.

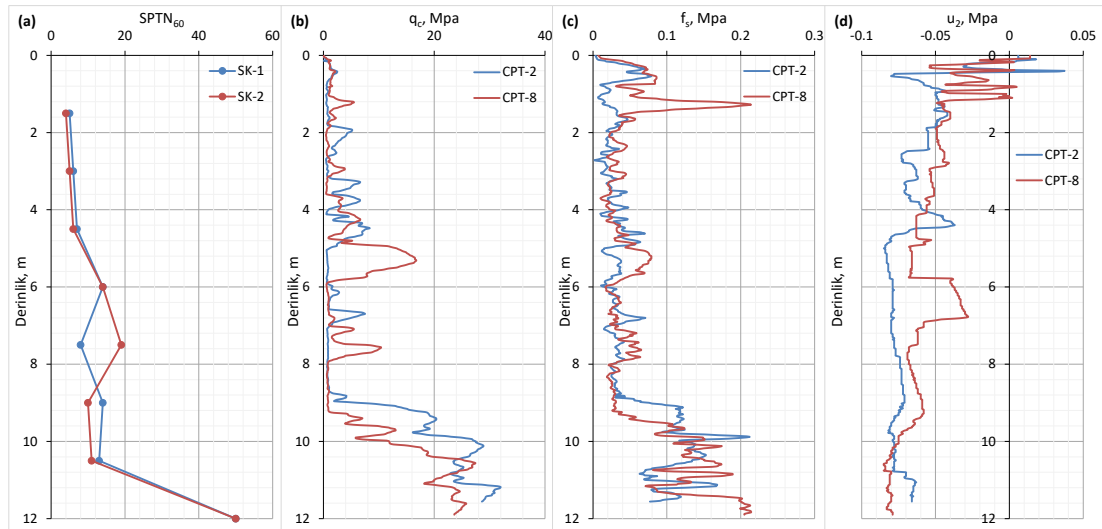
Tablo 3.3. Sondajlardan elde edilen örsellenmiş numunelerin fiziksel özellikleri (sondaj sıralı)

SK	Derinlik	Renk	w_n	w_L	w_p	PI	I_L	%FC	%Kil	Sınıf	$SPTN_{30}$
SK-1	1.50-1.95	Kahve	35	29	24	5	2.14	76	11	ML, Düşük Plastisiteli Silt ve Az Kum	9
SK-1	3.00-3.45	Kahve-Krem	28	25	NP	NP	NP	44		SM, Siltli Kum	9
SK-1	4.50-4.95	Kahve-Krem	26	NP	NP	NP	NP	44	11	SM, Siltli Kum	10
SK-1	5.00-5.50	Yeşil - Gri Koyu	38	44	27	17	0.67	95		MI. Orta Plastisiteli Silt	---
SK-1	6.00-6.45	Yeşil-Gri Yeşil	21	NP	NP	NP	NP	32		SM, Siltli Kum	20
SK-1	7.50-7.95	Kahve	41	46	26	20	0.77	99		Cl. Orta Plastisiteli Kil	11
SK-1	9.00-9.45	Yeşil-Gri	33	36	29	7	0.68	98	17	MI, Orta Plastisiteli Silt	18
SK-1	10.50-10.95	Yeşil-Gri	34	37	31	6	0.47	97	15	MI, Orta Plastisiteli Silt	17
SK-1	12.00-12.45	Yeşil-Gri Koyu	24	NP	NP	NP	NP	33		SM, Siltli Kum	46
SK-1	13.50-13.95	Yeşil-Gri	24	NP	NP	NP	NP	29		SM, Siltli Kum	49
SK-1	14.50-14.95	Kahve-Gri Kahve	21	NP	NP	NP	NP	16		SM, Siltli Kum ve Az Çakıl	68
SK-1	17.00-17.45	Krem Kahve	18	NP	NP	NP	NP	20		SM, Siltli Kum	84
SK-1	18.50-18.95	Krem Kahve	19	NP	NP	NP	NP	6		SP-SM, Üniform Kum ve Az Silt ve Az Çakıl	83
SK-1	19.50-19.95	Krem Kahve	21	NP	NP	NP	NP	7		SP-SM, Üniform Kum ve Az Silt ve Az Çakıl	83
SK-2	1.50-1.95	Yeşil	18	36	22	14	-0.29	29		SC, Killi Kum ve Az Çakıl	7
SK-2	3.00-3.45	Yeşil Kahve	26	49	23	26	0.09	90		Cl. Orta Plastisiteli Kil	8
SK-2	4.50-4.95	Yeşil	42	53	25	29	0.58	98		CH. Yağlı Kil	9
SK-2	6.00-6.45	Gri	22	NP	NP	NP	NP	43		SM, Siltli Kum	22
SK-2	7.50-7.95	Gri	30	30	NP	NP	1.00	50	12	ML, Silt (Nonplastik)	26
SK-2	10.50-10.95	Kahve-Gri Kahve	40	35	31	4	2.81	83	16	ML, Düşük Plastisiteli Silt ve Az Kum	15
SK-2	12.00-12.45	Yeşil-Gri Kahve	34	33	NP	NP	1.05	65		ML, Silt (Nonplastik)	52
SK-2	13.50-13.95	Yeşil-Gri Kahve	23	NP	NP	NP	NP	16		SM, Siltli Kum	46
SK-2	14.50-14.95	Yeşil-Gri	22	NP	NP	NP	NP	15		SM, Siltli Kum	73
SK-2	17.00-17.45	Yeşil-Gri Kahve	22	NP	NP	NP	NP	32		SM, Siltli Kum	64
SK-2	18.50-18.95	Koyu Gri Kahve	23	NP	NP	NP	NP	13		SM, Siltli Kum	79
SK-2	19.50-19.95	Gri-Krem	18	NP	NP	NP	NP	6		SM, Siltli Kum	100
SK-3	1.50-1.95	Kahve	40	35	NP	NP	1.14	97	10	ML, Silt (Nonplastik)	6
SK-3	3.00-3.45	Kahve	42	38	NP	NP	1.10	99	12	ML, Silt (Nonplastik)	7
SK-3	4.50-4.95	Kahve-Gri	28	NP	NP	NP	NP	46		SM, Siltli Kum	9
SK-3	6.00-6.45	Kahve-Gri	23	NP	NP	NP	NP	26		SM, Siltli Kum	27
SK-3	7.50-7.95	Yeşil	32	35	NP	NP	0.90	95	12	ML, Silt (Nonplastik)	21
SK-3	8.00-8.50	Yeşil	40	56	24	31	0.49	96		CH. Yağlı Kil	---
SK-3	9.00-9.45	Yeşil-Gri	32	36	31	5	0.15	96	12	MI, Orta Plastisiteli Silt	34
SK-3	10.00-10.50	Yeşil Kahve	42	45	31	14	0.77	98		MI. Orta Plastisiteli Silt	---
SK-3	15.00-15.45	Gri-Krem Kahve	15	NP	NP	NP	NP	6		SW-SM, Düz. Dane Dağ. Kum ve Az Silt ve Az Çakıl	54
SK-3	20.00-20.45	Gri-Krem Kahve	16	NP	NP	NP	NP	6		SP-SM, Üniform Kum ve Az Silt ve Az Çakıl	75
SK-3	25.00-25.45	Gri-Krem	15	NP	NP	NP	NP	5		SP-SM, Üniform Kum ve Az Silt ve Az Çakıl	68
SK-3	30.00-30.50	Gri-Yeşil	32	35	31	5	0.27	96		MI. Orta Plastisiteli Silt	54

Tablo 3.4. Sondajlardan elde edilen örselenmiş numunelerin fiziksel özellikleri (derinlik sırası)

SK	Derinlik	Renk	w_n	w_L	w_p	PI	I_L	%FC	%Kil	Sınıf	$SPTN_{30}$
SK-1	1.50-1.95	Kahve	35	29	24	5	2.14	76	11	ML, Düşük Plastisiteli Silt ve Az Kum	9
SK-2	1.50-1.95	Yeşil	18	36	22	14	0.29	29		SC, Killi Kum ve Az Çakıl	7
SK-3	1.50-1.95	Kahve	40	35	NP	NP	1.14	97	10	ML, Silt (Nonplastik)	6
SK-1	3.00-3.45	Kahve- Krem	28	25	NP	NP	NP	44		SM, Siltli Kum	9
SK-2	3.00-3.45	Yeşil	-								
SK-3	3.00-3.45	Kahve	26	49	23	26	0.09	90		Cl. Orta Plastisiteli Kil	8
SK-1	4.50-4.95	Kahve- Krem	42	38	NP	NP	1.10	99	12	ML, Silt (Nonplastik)	7
SK-2	4.50-4.95	Yeşil	-								
SK-3	4.50-4.95	Kahve-Gri	26	NP	NP	NP	NP	44	11	SM, Siltli Kum	10
SK-1	5.00-5.50	Yeşil	42	53	25	29	0.58	98		CH. Yağlı Kil	9
SK-2	5.00-5.50	Yeşil - Gri	28	NP	NP	NP	NP	46		SM, Siltli Kum	9
SK-3	5.00-5.50	Koyu Yeşil- Gri	38	44	27	17	0.67	95		MI. Orta Plastisiteli Silt	---
SK-1	6.00-6.45	Gri	21	NP	NP	NP	NP	32		SM, Siltli Kum	20
SK-2	6.00-6.45	Kahve-Gri	22	NP	NP	NP	NP	43		SM, Siltli Kum	22
SK-3	6.00-6.45	Yeşil	23	NP	NP	NP	NP	26		SM, Siltli Kum	27
SK-1	7.50-7.95	Kahve	41	46	26	20	0.77	99		Cl. Orta Plastisiteli Kil	11
SK-2	7.50-7.95	Gri	30	30	NP	NP	1.00	50	12	ML, Silt (Nonplastik)	26
SK-3	7.50-7.95	Yeşil	32	35	NP	NP	0.90	95	12	ML, Silt (Nonplastik)	21
SK-1	8.00-8.50	Yeşil	40	56	24	31	0.49	96		CH. Yağlı Kil	---
SK-2	8.00-8.50	Yeşil-Gri	33	36	29	7	0.68	98	17	MI, Orta Plastisiteli Silt	18
SK-3	8.00-8.50	Yeşil-Gri	32	36	31	5	0.15	96	12	MI, Orta Plastisiteli Silt	34
SK-1	9.00-9.45	Yeşil	-								
SK-2	9.00-9.45	Kahve	42	45	31	14	0.77	98		MI. Orta Plastisiteli Silt	---
SK-3	9.00-9.45	Yeşil-Gri	34	37	31	6	0.47	97	15	MI, Orta Plastisiteli Silt	17
SK-1	10.50-10.95	Kahve-Gri	40	35	31	4	2.81	83	16	ML, Düşük Plastisiteli Silt ve Az Kum	15
SK-2	10.50-10.95	Yeşil-Gri	24	NP	NP	NP	NP	33		SM, Siltli Kum	46
SK-3	10.50-10.95	Yeşil-Gri	34	33	NP	NP	1.05	65		ML, Silt (Nonplastik)	52
SK-1	12.00-12.45	Koyu Yeşil- Gri	24	NP	NP	NP	NP	29		SM, Siltli Kum	49
SK-2	12.00-12.45	Yeşil-Gri	23	NP	NP	NP	NP	16		SM, Siltli Kum	46
SK-3	12.00-12.45	Kahve-Gri	21	NP	NP	NP	NP	16		SM, Siltli Kum ve Az Çakıl	68
SK-1	13.50-13.95	Yeşil-Gri	22	NP	NP	NP	NP	15		SM, Siltli Kum	73
SK-2	13.50-13.95	Kahve-Gri- Krem	15	NP	NP	NP	NP	6		SW-SM, Düz. Dane Dağ. Kum ve Az Silt ve Az Çakıl	54
SK-3	13.50-13.95	Kahve	18	NP	NP	NP	NP	20		SM, Siltli Kum	84
SK-1	14.50-14.95	Yeşil-Gri	22	NP	NP	NP	NP	32		SM, Siltli Kum	64
SK-2	14.50-14.95	Kahve-Gri	19	NP	NP	NP	NP	6		SP-SM, Üniform Kum ve Az Silt ve Az Çakıl	83
SK-3	14.50-14.95	Koyu Gri	23	NP	NP	NP	NP	13		SM, Siltli Kum	79
SK-1	15.00-15.45	Kahve	21	NP	NP	NP	NP	7		SP-SM, Üniform Kum ve Az Silt ve Az Çakıl	83
SK-2	15.00-15.45	Kahve-Gri- Krem	18	NP	NP	NP	NP	6		SM, Siltli Kum	100
SK-3	15.00-15.45	Kahve-Gri- Krem	16	NP	NP	NP	NP	6		SP-SM, Üniform Kum ve Az Silt ve Az Çakıl	75
SK-1	17.00-17.45	Kahve	15	NP	NP	NP	NP	5		SP-SM, Üniform Kum ve Az Silt ve Az Çakıl	68
SK-2	17.00-17.45	Yeşil-Gri	32	35	31	5	0.27	96		MI. Orta Plastisiteli Silt	54

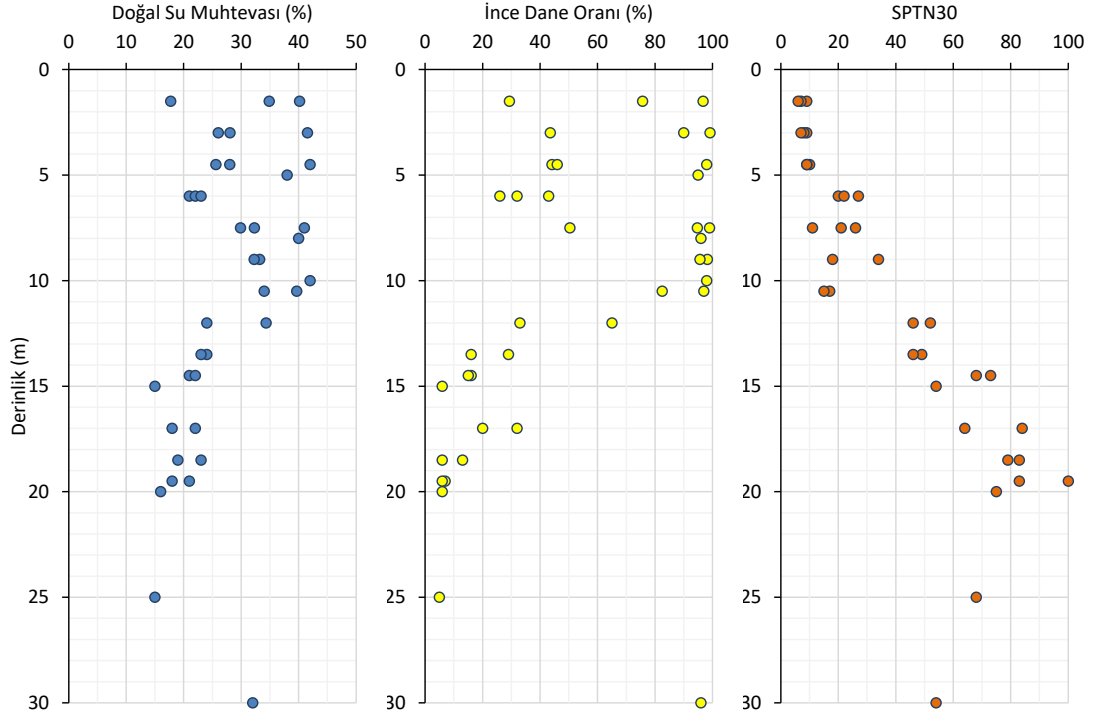
Tablo 3.4.a.'da SK-1 ve 2 nolu sondajların düzeltilmiş SPTN değerleri (N_{60}) verilmiştir. Tablo 3.4.b.'de CPT-2 ve 8 nolu sondalamalardan elde edilen koni uç dirençleri (q_c), Tablo 3.4.c.'de sürtünme dirençleri (f_s) ve Tablo 3.4.d.'de ise boşluk suyu basıncı ölçümleri (u_2) sunulmuştur. Yapılan sondajlardan elde edilen numuneler üzerinde gerçekleştirilen deney sonuçları (Tablo 3.3. ve 3.4.) değerlendirildiğinde ve arazide gerçekleştirilen 12 adet 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. Bu çakıllı kum tabakasının kalınlığının 13,00 metrelere vardığı ve dolayısı ile zemin yüzeyinden -25,00 m derinliğine kadar uzanmakta olduğu sondajlardan anlaşılmaktadır.



Şekil 3.4. Analizlerde kullanılan SPT ve CPT arazi sonuçları

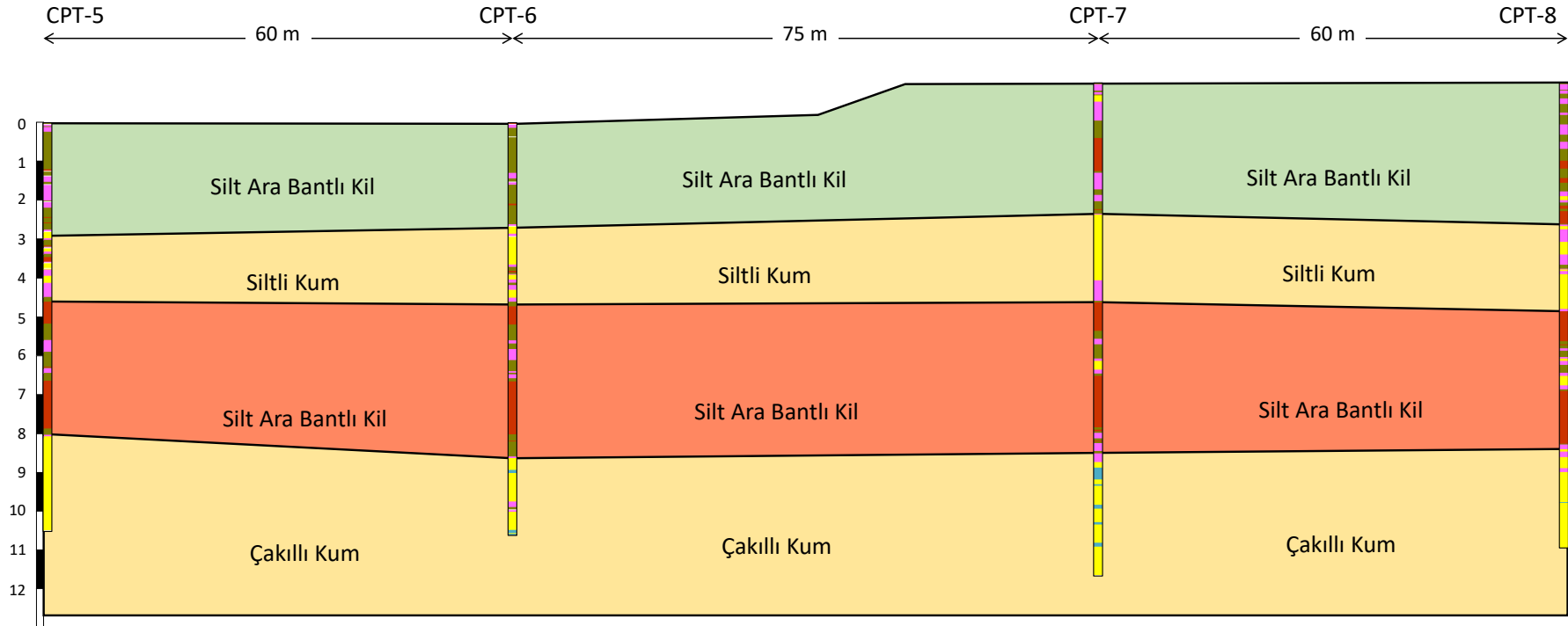
Şekil 3.5.'te SK-1, SK-2 ve SK-3 nolu sondajlara ait doğal su muhtevası (w_n), ince dane oranı ve $SPTN_{30}$ değerlerinin derinlik ile değişimi görülmektedir. Şekil 3.5. incelendiğinde; $SPTN_{30}$ değerinin ilk 5,00 metrede ortalama 8 - 10, 5,00 - 12,00 metreler arasında ortalama 20 olduğu ve 12,00 metreden sonra kuyu sonuna kadar olan birimlerde ise refüye varan darbe sayılarının bulunduğu görülmektedir. Doğal su

muhtevasının kumlu zeminlerde düştüğü, kili zeminlerde ise arttığı gözlemlenmektedir.



Şekil 3.5. Derinliğe bağlı olarak doğal su muhtevası, ince dane oranı ve $SPTN_{30}$ Değişimi

Şekil 3.6.'da verilerden elde edilen arazi zeminlerini karakterize eden enine kesit profili görülmektedir. Söz konusu kesit CPT-5, CPT-6, CPT-7 ve CPT-8 araştırma noktalarına karşılık gelmekte olup örnek alanın kuzeybatı-güneydoğu eksenini temsil etmektedir.



Şekil 3.6. Çalışma verilerinden elde edilen arazi zeminlerini karakterize eden idealize zemin kesiti

Örnek olarak kullanılan arazide farklı seviyelerden alınmış örselenmemiş numuneler üzerinde konsolidasyonlu - drenajsız (CU) üç eksenli hücre kesme deneyleri yürütülmüştür. Buradan elde edilen toplam gerilme ve efektif gerilme parametreleri Tablo 3.5.'te sunulmaktadır.

Tablo 3.5. CU deney sonuçları

SK	z (m)	Sınıf	w _n	e	ρ	S _r (%)	c (kPa)	φ (°)	c' (kPa)	φ' (°)	P (kPa)
1	5,25-5,40	MI	39	0,98	18,49	100	0	22	0	32	75
1	8,00-8,50	CH	41	0,1,07	17,94	100	24	20	0	32	110

BÖLÜM 4. HESAPLAMALAR

Hazırlanan tez kapsamında birbirine yakın konumda bulunan SK-1, SK-2, CPT-02 ve CPT-08 verileri kullanılmıştır. Kullanılan veriler ilk olarak Bölüm 2.3.2.'de belirtilen yöntemler kullanılarak elde hesaplanmış, ikinci olarak Louisiana Pile Design ve Geo5 programlarında çözülmüştür. Kazık boyu 9,00 m olarak sabitlenmiş, çap değişken tutularak 0,60 m, 0,80 m ile 1,00 m olacak şekilde tasarlanmıştır.

4.1. SPT Verileri ile Kazık Taşıma Gücü Hesabı

SPT verileri ile kazık taşıma gücü hesabı yapabilmek için Meyerhof ve Canadian Geotechnical Society'nin hesap yöntemlerinden faydalanılmıştır. Belirlenen örnek zeminden alınan SPT deneylerinin sonuçları EK 1 ve Ek 2'de gösterilmiştir.

4.1.1. SK1 SPT sonucuna göre kazık taşıma gücü hesabı

Meyerhof yöntemine göre Şekil 2.21.'de gösterilen bağlantıya göre zemin silt ve kazığın çakma kazık olduğu göz önüne alınırsa;

- Çevre sürtünmesi (f_s) = $2\bar{N}$,
- Uç direnci ($q_{uç}$) = $30 (L/R)N \leq 300N$ olarak hesaplanmaktadır.

\bar{N} : kazığın zemin içindeki boyunca SPT değerlerinin ortalamasını,

N : kazık uç seviyesindeki SPT değerlerini ifade eder.

Kazık boyu 9 m, kazık çapı 60 cm için;

Kazık uç alanı $A_b = 0,283 m^2$

$$\bar{N} = 9 \text{ ve } N = 14$$

Çevre Sürtünmesi;

$$f_s = 2 * \bar{N} = 2 * 9 = 18 \text{ kPa}$$

$$Q_s = p. L. f_s = 2 * \pi * 0,3 * 9 * 18 = 305,363 \text{ kN}$$

Uç Direnci;

$$q_{uç} = 30 \left(\frac{L}{R} \right) N = 30 * \left(\frac{9}{0,6} \right) * 14 = 6300 \text{ kPa}$$

$$q_{uç} \leq 300N = 300 * 14 = 4200 \text{ kPa} \quad \text{olduğu için } q_{uç} = 4200 \text{ kPa} \text{ alınır.}$$

$$Q_p = q_{uç} * A_b = 4200 * 0,283 = 1187,522 \text{ kN}$$

Toplam taşıma gücü;

$$Q_F = 1187,522 + 305,363 = 1492,885 \text{ kN} \text{ bulunmuştur.}$$

Benzer şekilde kazık boyu 9 m, kazık çapı 80 cm olarak tasarlanan kazığın toplam taşıma gücü 2518,301 kN, çap 100 cm olarak tasarlandığında ise kazığın toplam taşıma gücü 3477,743 kN olarak bulunmuştur.

Canadian Geotechnical Society yöntemine göre kazık boyu 9 m, kazık çapı 0,60 m olacak şekilde tasarlanan kazığın toplam taşıma gücü;

$$Q_F = m * N * A_b + n * \bar{N} * D * A_s = 400 * 14 * 0,283 + 2 * 9 * 0,6 * (\pi * 0,6)$$

$$Q_F = 1584,80 + 20,357 = 1603,72 \text{ kN} \text{ bulunmuştur.}$$

Kazık boyu 9 m, kazık çapı 80 cm olarak tasarlanan kazığın toplam taşıma gücü 2851,058 kN, çap 100 cm olarak tasarlandığında ise kazığın toplam taşıma gücü 4454,778 kN olarak bulunmuştur.

SPT1 verilerine göre yapılan hesaplamaların sonuçları Tablo 4.1.'de gösterilmektedir.

Tablo 4.1. SPT1 verilerine göre hesaplama sonuçları

Yöntem	Çap (cm)	Çevre sürtünmesi (kN)	Uç direnci (kN)	Taşıma gücü (kN)
Meyerhof	60	306	1187	1493
	80	407	2111	2518
	100	509	2969	3478
Canadian Geotechnical Society	60	20	1583	1604
	80	36	2815	2851
	100	57	4399	4456

4.1.2. SK2 SPT Sonucuna göre kazık taşıma gücü hesabı

Meyerhof yöntemine göre, SK2 SPT sonucundan faydalanarak yapılan hesaplar sonucunda kazık boyu 9 m, kazık çapı 60 cm olarak tasarlanan kazığın toplam taşıma gücü 1176,224 kN, kazık çapı 80 cm olarak tasarlandığında kazığın toplam taşıma gücü 1945,289 kN, çap 100 cm olarak tasarlandığında ise kazığın toplam taşıma gücü 2667,231 kN olarak bulunmuştur.

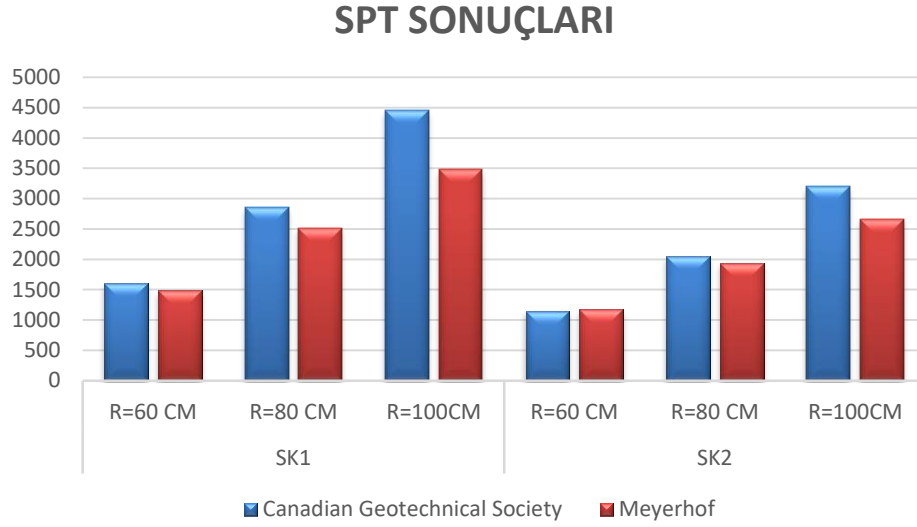
Canadian Geotechnical Society yöntemine göre yapılan hesaplamalar sonucunda kazık boyu 9 m, kazık çapı 60 cm olarak tasarlanan kazığın toplam taşıma gücü 1152,840 kN, kazık çapı 80 cm olarak tasarlandığında kazığın toplam taşıma gücü 2049,493 kN, çap 100 cm olarak tasarlandığında ise kazığın toplam taşıma gücü 3202,332 kN olarak bulunmuştur.

SPT2 verilerine göre yapılan hesaplamaların sonuçları Tablo 4.2.'de gösterilmektedir.

Tablo 4.2. SPT2 verilerine göre hesaplama sonuçları

Yöntem	Çap (cm)	Çevre sürtünmesi (kN)	Uç direnci (kN)	Taşıma gücü (kN)
Meyerhof	60	328	848	1176
	80	437	1508	1945
	100	547	2121	2668
Canadian Geotechnical Society	60	22	1131	1153
	80	39	2011	2050
	100	61	3142	3203

SK1 ve SK2 SPT sonuçlarının karşılaştırmalı grafiği Şekil 4.1.'de gösterildiği gibidir.



Şekil 4.1. SPT sonuçlarının karşılaştırılması

4.2. CPT Verileri ile Kazık Taşıma Gücü Hesabı

CPT ile kazık taşıma gücü hesabında Canadian Geotechnical Society, Schmertmann, DeKuitter – Beringen, Bustamante ve Gianeeselli (LCPC/LCP Metodu), Louisiana Pile Design ve Geo5 programından faydalanılmıştır.

4.2.1. CPT2 verilerine göre kazık taşıma gücü hesabı

Canadian Geotechnical Society yöntemine göre;

$$Q_f = q_c \cdot A_b + \bar{f}_c \cdot A_s \cdot L \quad \text{formülü kullanılmıştır.}$$

$D > 500$ mm olduğu için q_c en küçük değer alınmıştır.

f_c ortalama değer olarak alınmıştır.

Kazık boyu 9 m, kazık çapı 0,60 m olacak şekilde tasarlanan kazığın toplam taşıma gücü;

$$Q_f = 5710 \cdot 0,283 + 30 \cdot 9 \cdot 1,885 = 2123,402 \text{ kN olarak hesaplanmıştır.}$$

Kazık boyu 9 m, kazık çapı 80 cm olarak tasarlanan kazığın toplam taşıma gücü 3548,743 kN, çap 100 cm olarak tasarlandığında ise kazığın toplam taşıma gücü 5332,854 kN olarak bulunmuştur.

Schmertmann yöntemine göre;

- Kazık uç seviyesinden 0,7D-4D arasındaki en küçük değere q_{c1} ,
- Kazık uç seviyesinden 8D üstüne kadar olan kısımdaki en küçük değere q_{c2} ,
- Bu ikisinin ortalamasına da q_t denilmektedir.
- q_t maksimum 15 MPa'ı geçemez. Toplam taşıma gücü;

$Q_T = Q_S + Q_C = q_{uç} \cdot A_b + f \cdot A_s \cdot L$ formülü ile hesaplanmıştır.

Kazık boyu 9 m, çapı 0,60 m olacak şekilde tasarlanan kazığın toplam taşıma gücü;

$$q_{c1} = 0,559 MPa , q_{c2} = 16,149 MPa$$

$$q_{uç} = \frac{0,559 + 16,149}{2} = 8,354 MPa$$

$q_{uç} = 8,354 MPa < 15 MPa$ olduğu için $q_{uç} = 8,354 MPa$ kullanılır.

$$Q_C = 8354 * 0,283 = 2362,038 kN \text{ olur.}$$

Sürtünme direnci için killi zeminlerde 0,2 ile 1,25 arasında değişen α_c katsayısı tanımlanmaktadır. Örnek zeminde yapılan CPT deneyleri sonucu 8 metrede belirlenen α_c katsayısı değiştirilmiştir. Bu yüzden iki kademeli sürtünme direnci hesaplanmıştır.

$f = \alpha_c \cdot f_s$ formülü kullanılarak hesaplama yapılır.

$Q_S = f \cdot A_s \cdot L$ ile bulunmuştur.

-8 m için ortalama $f_s = 30 kPa$, α_c katsayısı 0,5

-8 - 9 m için ortalama $f_s = 34 kPa$, α_c katsayısı 1

$$Q_s = 30 * 0,5 * 8 * 1,885 + 34 * 1 * 1 * 1,885 = 290,283 \text{ kN}$$

$$Q_T = 2362,038 + 290,283 = 2652,321 \text{ kN bulunur.}$$

Kazık boyu 9 m, kazık çapı 80 cm olarak tasarlanan kazığın toplam taşıma gücü 4562,849 kN, çap 100 cm olarak tasarlandığında ise kazığın toplam taşıma gücü 7008,501 kN olarak bulunmuştur.

DeKuitert – Beringen yöntemine göre uç direnci;

$$- q_{uç} = N_c \cdot \frac{q_c}{N_k} \quad \text{formülü ile bulunmuştur.}$$

- N_c katsayısı için 9, N_k katsayısı için 17 değerleri kullanılmıştır.

- q_c değeri Schmertmann yöntemine benzer şekilde hesaplanmıştır.

- $q_{uçmaks}$ 15 MPa'ı geçemez.

$$q_{uç} = N_c \cdot \frac{q_c}{N_k} = 9 * \frac{8,354}{17} = 4,423 \text{ MPa} = 4423 \text{ kPa} \text{ olarak bulunmuştur.}$$

Çevre sürtünmesi;

$$- f = \beta \cdot \frac{q_{c(\text{çevre})}}{N_k} \text{ ile bulunur.}$$

- $\beta = 0,5$, $N_k = 20$ seçildiğinde öngörülen nihai kazık kapasitesine en yakın sonuçlar alınmaktadır.

- q_c Schmertmann yöntemine benzer şekilde bulunmuştur.

$$- f = \begin{cases} \frac{q_{c(\text{çevre})}}{300} (basınç) \\ \frac{q_{c(\text{çevre})}}{400} (çekme) \\ 120 \text{ kPa} \end{cases} \quad \text{çıkan en küçük değer tercih edilmiştir.}$$

$$f = 0,5 * \frac{8354}{20} = 208,850 \text{ kPa}$$

$$f_s = 30 \text{ kPa}$$

$$f_{maks} = 120 \text{ kPa} \quad \text{olduğu için seçilen } f_s = 30 \text{ kPa'dır.}$$

Toplam taşıma gücü;

$$Q_T = Q_s + Q_c = q_{uç} \cdot A_b + f \cdot A_s \cdot L = 44230 \cdot 0,283 + 30 \cdot 9 \cdot 1,885 = 1759,429 \text{ kN}$$

Benzer şekilde kazık boyu 9 m, kazık çapı 80 cm olarak tasarlanan kazığın toplam taşıma gücü 2889,304 kN, çap 100 cm olarak tasarlandığında ise kazığın toplam taşıma gücü 4302,480 kN olarak bulunmuştur.

Bustamante ve Gianeeselli yöntemine göre uç direnci $q_{uç} = k_b \cdot q_{eşdeğer}$ formülü ile bulunmuştur.

- k_b taşıma katsayısı Tablo 2.2.'den seçilmiştir.
- $q_{eşdeğer}$ kazık ucunun 1,5D altı ve 1,5D üstü arasındaki q_c 'lerin ortalaması olarak bulunmuştur.

$$q_{uç} = k_b \cdot q_{eşdeğer} = 0,6 \cdot 9946 = 5967,60 \text{ kPa}$$

Çevre sürtünmesi geçilen her katmanın zemin özellikleri, imalat yöntemi ve kazık türüne bağlı olarak belirlenmektedir. f_s Tablo 2.3., Tablo 2.4., Tablo 2.5. ve Şekil 2.23.'den faydalanılarak bulunmuştur.

$$f_s = 40 \text{ kPa}$$

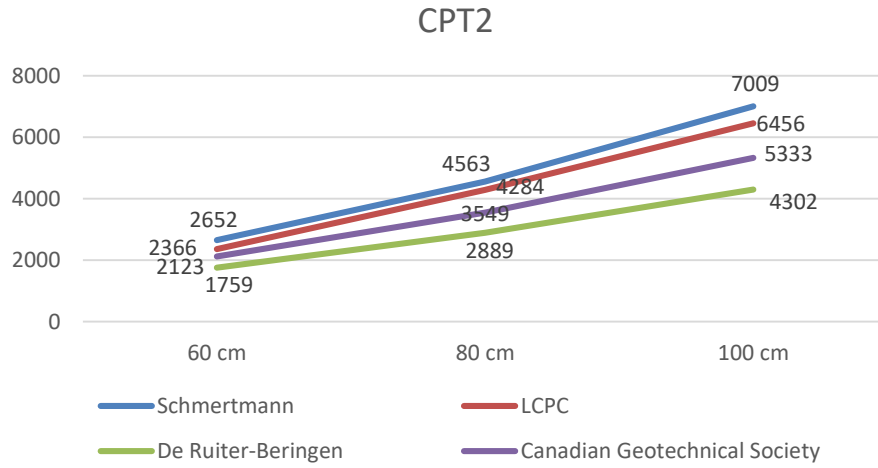
$$Q_T = Q_s + Q_c = q_{uç} \cdot A_b + f \cdot A_s \cdot L = 5967,60 \cdot 0,283 + 40 \cdot 9 \cdot 1,885 = 2365,883 \text{ kN}$$

Benzer şekilde kazık boyu 9 m, kazık çapı 80 cm olarak tasarlanan kazığın toplam taşıma gücü 4284,127 kN, çap 100 cm olarak tasarlandığında ise kazığın toplam taşıma gücü 6455,973 kN olarak bulunmuştur.

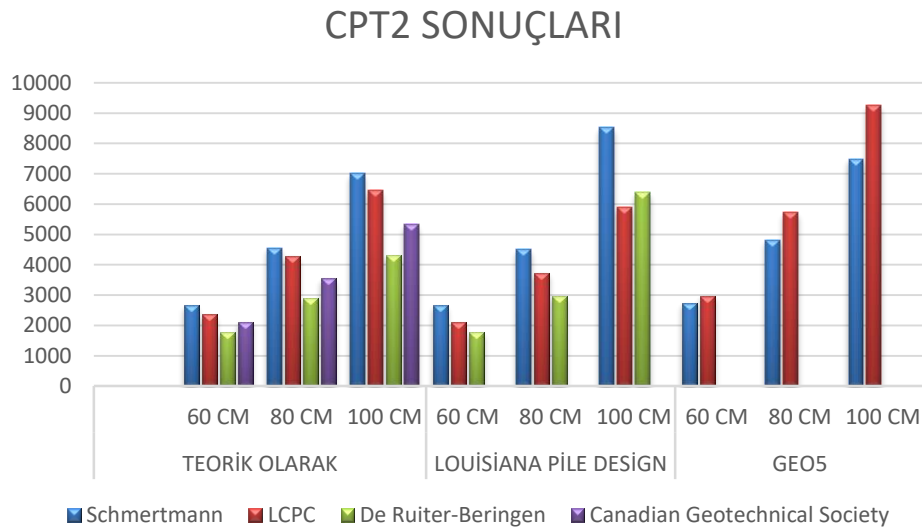
Teorik olarak hesaplanan CPT2 verilerine göre kazık taşıma gücü sonuçları Tablo 4.3.'te, grafikleri Şekil 4.2. ve Şekil 4.3.'te gösterilmiştir.

Tablo 4.3. CPT2 verilerine göre hesaplama sonuçları

Yöntem	Çap (cm)	Çevre sürtünmesi (kN)	Uç direnci (kN)	Taşıma gücü (kN)
Schmertmann	60	290	2362	2652
	80	387	4176	4563
	100	484	6525	7009
DeKuitert-Beringen	60	679	1687	2366
	80	679	2211	2890
	100	848	3454	4302
Bustamante ve Gianeselli	60	509	1250	1759
	80	905	3379	4284
	100	1131	5325	6456
Canadian Geotechnical Society	60	509	1614	2123
	80	679	2870	3549
	100	848	4485	5333



Şekil 4.2. CPT2 teorik sonuçlarına göre kazık taşıma gücü grafiği



Şekil 4.3. CPT2 sondajının farklı çaplardaki sonuçlarının karşılaştırılması

4.2.2. CPT8 verilerine göre kazık taşıma gücü hesabı

Canadian Geotechnical Society yöntemine göre yapılan hesaplamalar sonucunda kazık boyu 9 m, kazık çapı 60 cm olarak tasarlanan kazığın toplam taşıma gücü 2348,523 kN, kazık çapı 80 cm olarak tasarlandığında kazığın toplam taşıma gücü 3848,903 kN, çap 100 cm olarak tasarlandığında ise kazığın toplam taşıma gücü 5708,054 kN olarak bulunmuştur.

Schmertmann yöntemine göre yapılan hesaplamalar sonucunda kazık boyu 9 m, kazık çapı 60 cm olarak tasarlanan kazığın toplam taşıma gücü 1016,274 kN, kazık çapı 80 cm olarak tasarlandığında kazığın toplam taşıma gücü 1833,685 kN, çap 100 cm olarak tasarlandığında ise kazığın toplam taşıma gücü 3118,738 kN olarak bulunmuştur.

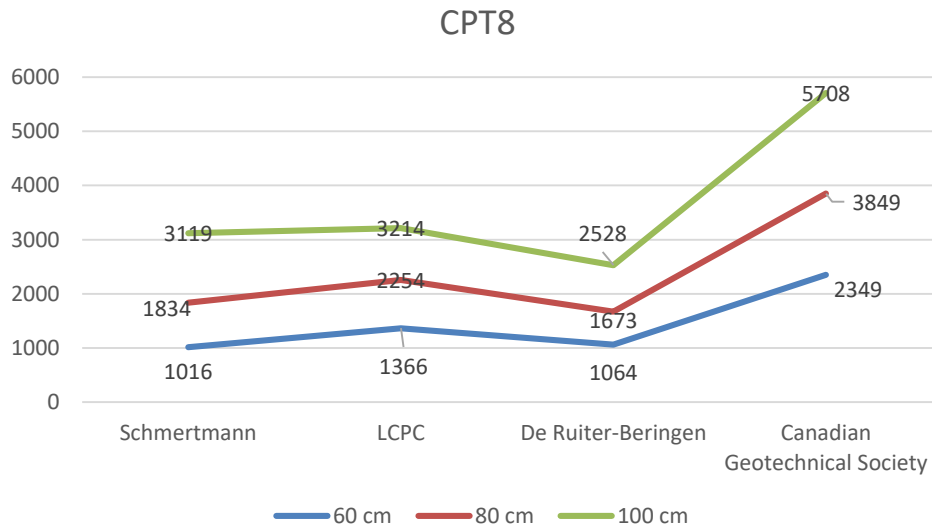
DeKuitert - Beringen yöntemine göre yapılan hesaplamalar sonucunda kazık boyu 9 m, kazık çapı 60 cm olarak tasarlanan kazığın toplam taşıma gücü 2348,523 kN, kazık çapı 80 cm olarak tasarlandığında kazığın toplam taşıma gücü 3848,903 kN, çap 100 cm olarak tasarlandığında ise kazığın toplam taşıma gücü 5708,054 kN olarak bulunmuştur.

Bustamante ve Gianeeselli (LCPC/LCP) yöntemine göre yapılan hesaplamalar sonucunda kazık boyu 9 m, kazık çapı 60 cm olarak tasarlanan kazığın toplam taşıma gücü 1366,329 kN, kazık çapı 80 cm olarak tasarlandığında kazığın toplam taşıma gücü 2254,105 kN, çap 100 cm olarak tasarlandığında ise kazığın toplam taşıma gücü 3214,321 kN olarak bulunmuştur.

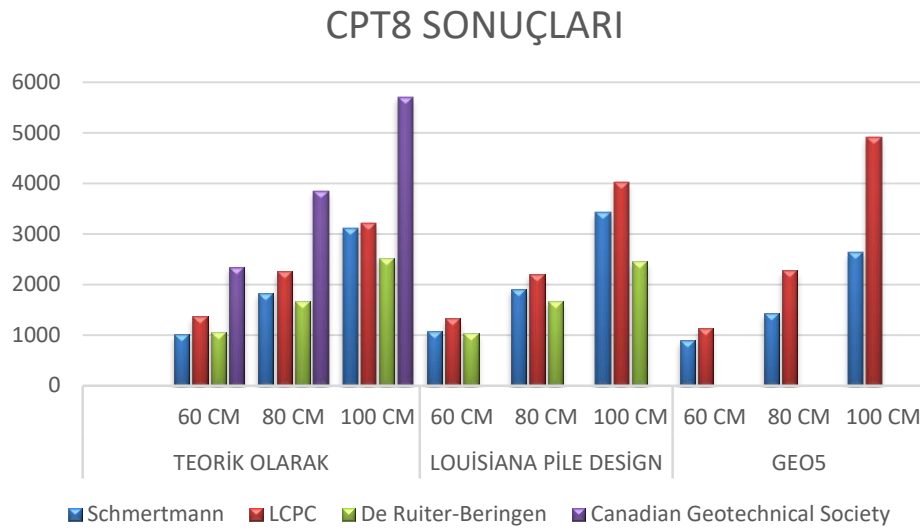
Yapılan teorik hesaplamaların sonuçları Tablo 4.4.'de, kazık taşıma gücü grafikleri de Şekil 4.4. ve Şekil 4.5.'te gösterilmiştir.

Tablo 4.4. CPT8 verilerine göre hesaplanan sonuçlar

Yöntem	Çap (cm)	Çevre sürtünmesi (kN)	Uç direnci (kN)	Taşıma gücü (kN)
Schmertmann	60	393	624	1017
	80	523	1311	1834
	100	654	2465	3119
DeKuitert-Beringen	60	679	688	1367
	80	959	2920	3879
	100	1223	1305	2528
Bustamante ve Gianeeselli	60	734	1645	2379
	80	905	1349	2254
	100	1131	2083	3214
Canadian Geotechnical Society	60	734	1614	2348
	80	979	2870	3849
	100	1223	4485	5708



Şekil 4.4. CPT2 teorik sonuçlarına göre kazık taşıma gücü grafiği



Şekil 4.5. CPT8 teorik sonuçlarına göre kazık taşıma gücü grafiği

4.2.2 Bilgisayar yazılımları ile analizler

Bu tez kapsamında Geo5 ve Louisiana Pile Design adlı yazılımlar kullanılmıştır. Geo5 programı, yaygın geoteknik mühendislik çözümlerinin yanında (şev stabilite, temeller, istinad duvarları), tüneller, tünel inşaatlarından dolayı oluşan yapısal hasarlar, kaya şevlerin duraylılık analizi gibi karmaşık uygulamaları da içeren oldukça kullanışlı bir yazılımdır. Louisiana Pile Design ise nihai kazık kapasitelerini belirlemek için kullanılan özel bir programdır.

4.2.2.1 Geo5 programıyla kazık taşıma gücü hesabı

Geo5 programına CPT2 verileri girilerek Schmertmann ve Bustamante-Gianeeselli (LCPC/LCP) yöntemleri ile hesap yapılmıştır. Geo5 programının sonuçlarına göre;

Schmertmann yöntemi ile yapılan hesaplamalar sonucunda kazık boyu 9 m, kazık çapı 60 cm olarak tasarlanan kazığın toplam taşıma gücü 2732,55 kN, kazık çapı 80 cm olarak tasarlandığında kazığın toplam taşıma gücü 4823,30 kN, çap 100 cm olarak tasarlandığında ise kazığın toplam taşıma gücü 7486,09 kN olarak bulunmuştur.

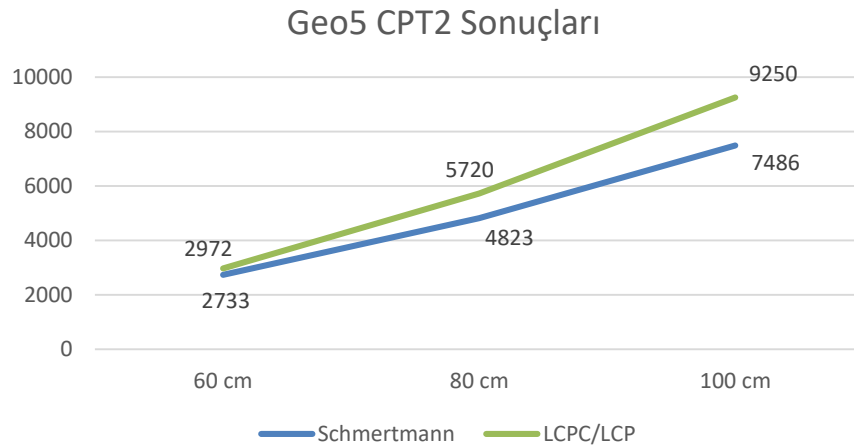
Bustamante ve Gianeeselli (LCPC/LCP) yöntemi ise yapılan hesaplamalar sonucunda kazık boyu 9 m, kazık çapı 60 cm olarak tasarlanan kazığın toplam taşıma gücünü 2972,17 kN, kazık çapı 80 cm olarak tasarlandığında kazığın toplam taşıma gücünü 5720,14 kN, çap 100 cm olarak tasarlandığında ise kazığın toplam taşıma gücünü 9249,85 kN olarak bulmuştur.

Geo5 yazılım programıyla CPT2 verilerine göre yapılan hesaplamalar Tablo 4.5.'te gösterilmiştir.

Tablo 4.5. CPT2 verilerine göre Geo5 programıyla hesaplama sonuçları

Yöntem Adı	Çap (cm)	Geo5 (kN)
Schmertmann	60	2733
	80	4823
	100	7486
LCPC	60	2972
	80	5720
	100	9250

Şekil 4.6.'da Geo5 programı yardımıyla çap arttıkça kazık taşıma gücünün değişim grafiği gösterilmiştir.



Şekil 4.6. Geo5 analiz programı yardımıyla kazık taşıma gücünün gösterilmesi

Geo5 programına CPT8 verileri girilerek Schmertmann ve Bustamante-Gianeeselli yöntemleri ile hesap yapılmıştır (Ek 6 ve Ek 7). Geo5 programının sonuçlarına göre;

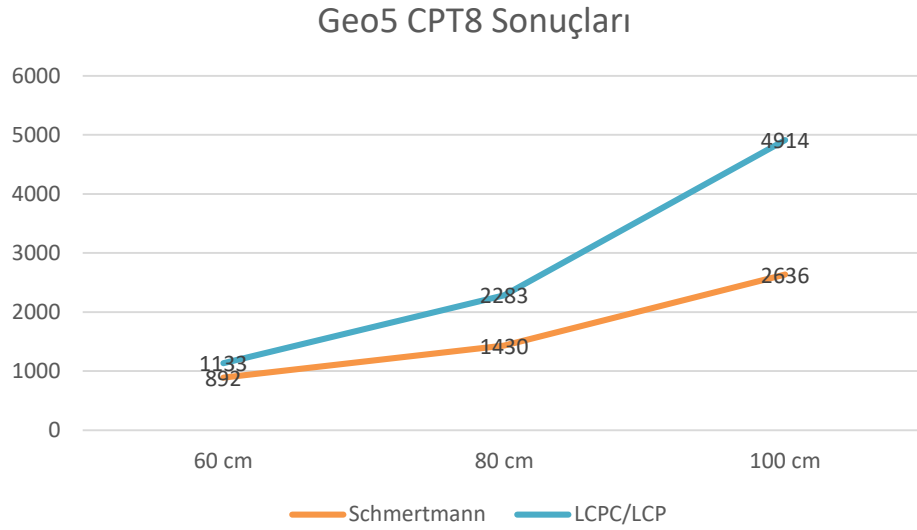
Schmertmann yöntemi ile yapılan hesaplamalar sonucunda kazık boyu 9 m, kazık çapı 60 cm olarak tasarlanan kazığın toplam taşıma gücü 891,99 kN, kazık çapı 80 cm olarak tasarlandığında kazığın toplam taşıma gücü 1430,20 kN, çap 100 cm olarak tasarlandığında ise kazığın toplam taşıma gücü 2636,12 kN olarak bulunmuştur.

Bustamante ve Gianeeselli (LCPC) yöntemi ile yapılan hesaplamalar sonucunda kazık boyu 9 m, kazık çapı 60 cm olarak tasarlanan kazığın toplam taşıma gücünü 1132,72 kN, kazık çapı 80 cm olarak tasarlandığında kazığın toplam taşıma gücünü 2282,77 kN, çap 100 cm olarak tasarlandığında ise kazığın toplam taşıma gücünü 4913,89 kN olarak bulmuştur.

Geo5 analiz programıyla CPT8 verileri kullanılarak yapılan hesaplamaların sonuçları Tablo 4.6.'de, grafikleri de Şekil 4.7.'de gösterilmektedir.

Tablo 4.6. CPT8 verilerine göre Geo5 programıyla hesaplama sonuçları

Yöntem	Çap (cm)	Geo5 (kN)
Schmertmann	60	892
	80	1430
	100	2636
LCPC/LCP	60	1133
	80	2283
	100	4914



Şekil 4.7. Geo5 analiz programı yardımıyla kazık taşıma gücünün gösterilmesi

4.2.2.2. Louisiana Pile Design programı ile kazık taşıma gücü hesabı

Louisiana Pile Design programına CPT2 verileri girilerek Schmertmann, DeKuiter – Beringen, Bustamante ve Gianeeselli (LCPC) yöntemleri ile taşıma gücü hesapları 60 cm, 80 cm ve 100 cm için yapılmıştır.

Schmertmann yöntemi ile yapılan işlemler sonucunda kazık boyu 9 m, kazık çapı 60 cm olarak tasarlanan kazığın toplam taşıma gücü 2648 kN, kazık çapı 80 cm olarak tasarlanan kazığın toplam taşıma gücü 4511 kN ve çap 100 cm olarak tasarlanan kazığın toplam taşıma gücü 8532 kN olarak hesaplanmıştır.

Bustamante ve Gianeeselli (LCPC/LCP) yöntemi ile yapılan işlemler sonucunda kazık boyu 9 m, kazık çapı 60 cm olarak tasarlanan kazığın toplam taşıma gücü 2108 kN (Şekil 4.9.), kazık çapı 80 cm olarak tasarlanan kazığın toplam taşıma gücü 3726 kN (Şekil 4.10.) ve çap 100 cm olarak tasarlanan kazığın toplam taşıma gücü 5884 kN (Şekil 4.11.) olarak hesaplanmıştır.

DeKuiter - Beringen yöntemi ise yapılan işlemler sonucunda kazık boyu 9 m, kazık çapı 60 cm olarak tasarlanan kazığın toplam taşıma gücü 1765 kN (Şekil 4.9.), kazık

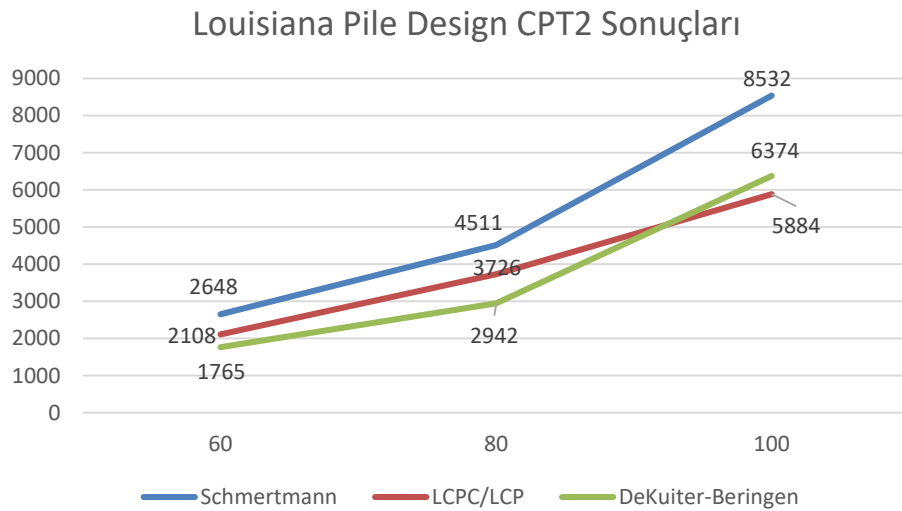
çapı 80 cm olarak tasarlanan kazığın toplam taşıma gücü 2942 kN (Şekil 4.10.) ve çap 100 cm olarak tasarlanan kazığın toplam taşıma gücü 6374 kN (Şekil 4.11.) olarak hesaplanmıştır.

Louisiana Pile Design yazılım programıyla yapılan hesaplamalar Tablo 4.7.'de gösterilmiştir.

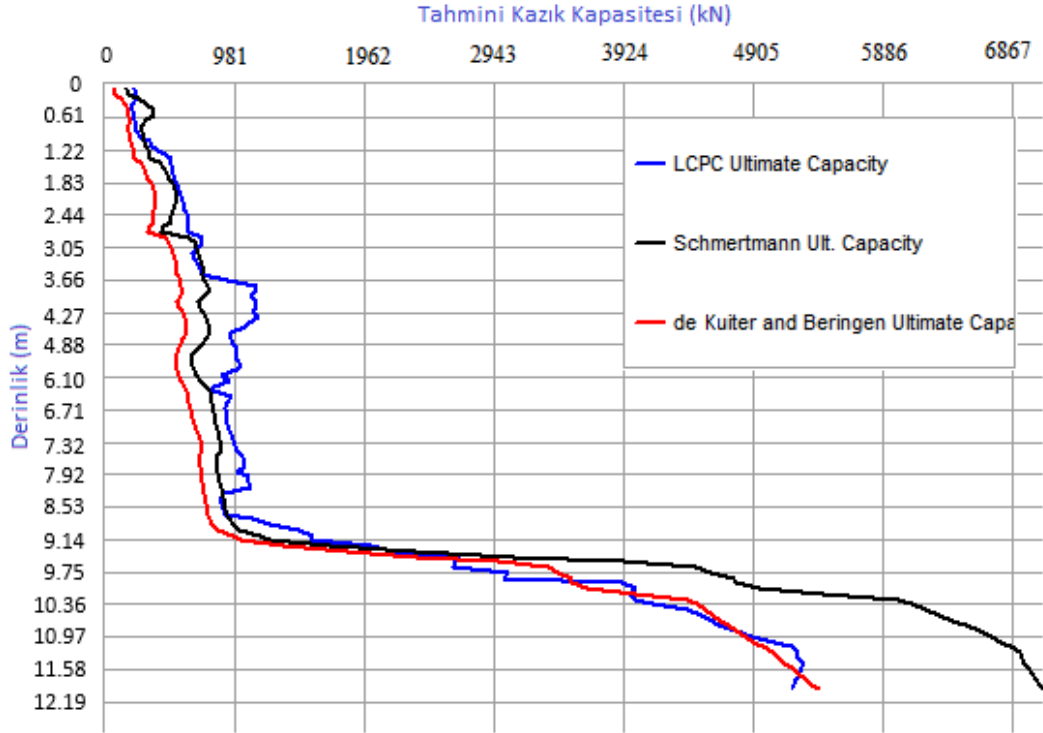
Tablo 4.7. CPT2 verilerine göre Louisiana Pile Design programıyla hesaplama sonuçları

Yöntem Adı	Çap	Louisiana Pile Design
Schmertmann	60	2648
	80	4511
	100	8532
LCPC	60	2108
	80	3726
	100	5884
DeKuitert-Beringen	60	1765
	80	2942
	100	6374

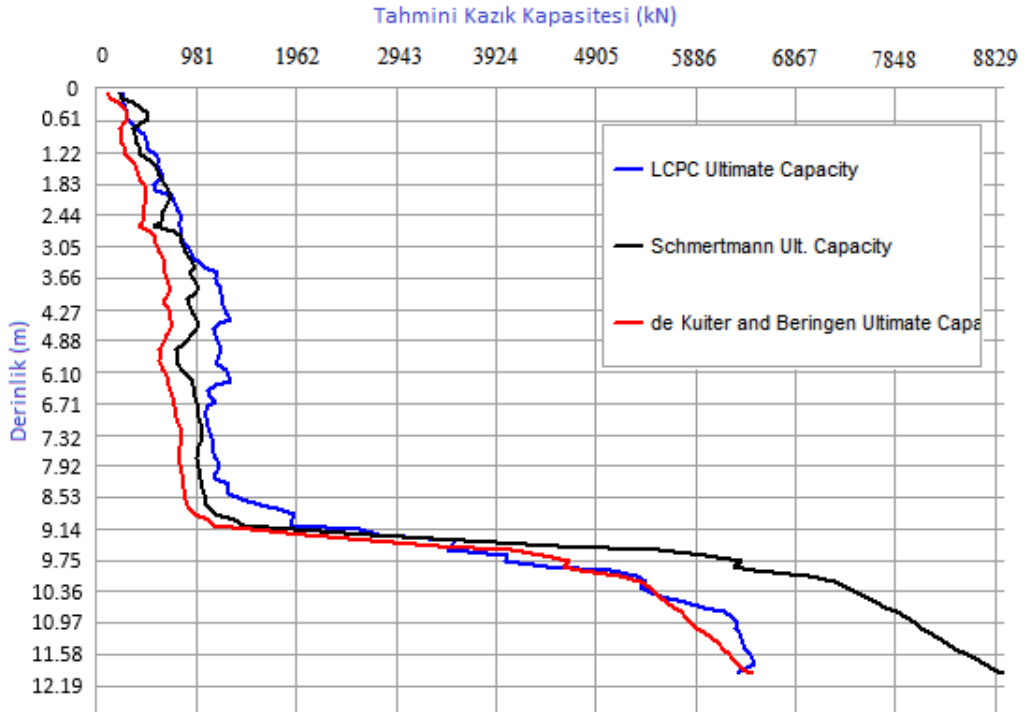
Şekil 4.8.'de Louisiana Pile Design programı yardımıyla çap arttıkça kazık taşıma gücünün değişim grafiği gösterilmiştir.



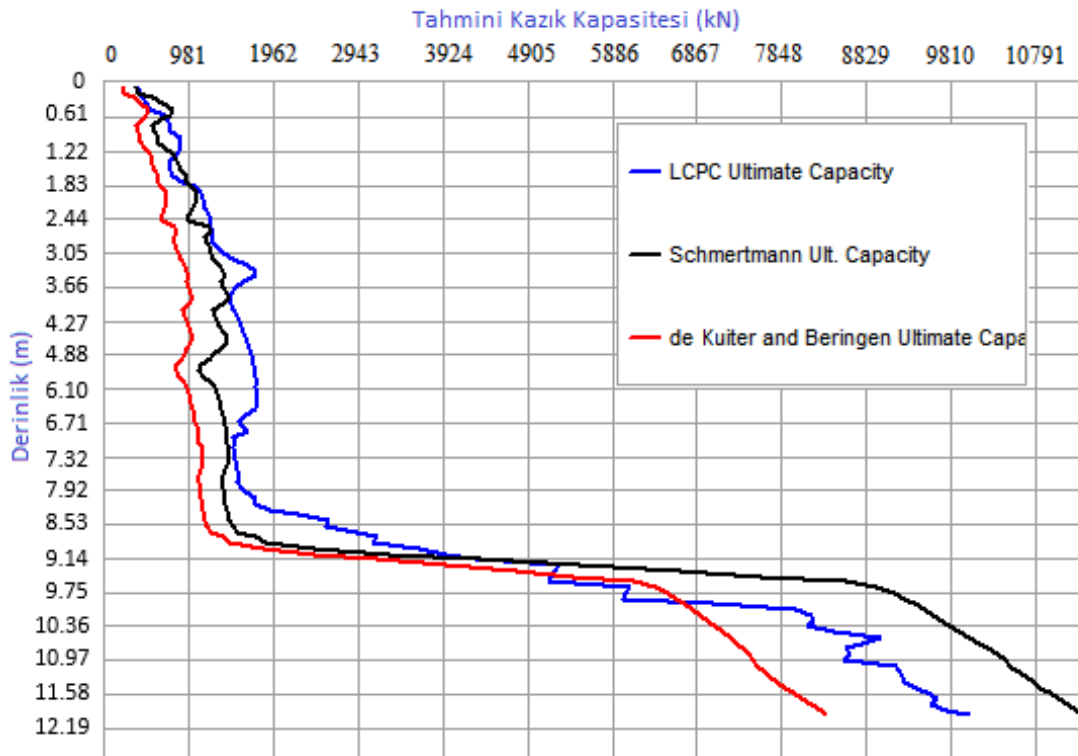
Şekil 4.8. Louisiana Pile Design analiz programı yardımıyla kazık taşıma gücünün gösterilmesi



Şekil 4.9. Louisiana Pile Design programına göre 60 cm çaplı kazıklar için sonuçlar



Şekil 4.10. Louisiana Pile Design programına göre 80 cm çaplı kazıklar için sonuçlar



Şekil 4.11. Louisiana Pile Design programına göre 100 cm çaplı kazıklar için sonuçlar

Louisiana Pile Design programına CPT8 verileri girilerek Schmertmann, DeKuiter – Beringen ve Bustamante ve Gianeeselli (LCPC/LCP) yöntemleri ile taşıma gücü hesapları 60 cm, 80 cm ve 100 cm için yapılmıştır.

Schmertmann yöntemi ile yapılan işlemler sonucunda kazık boyu 9 m, kazık çapı 60 cm olarak tasarlanan kazığın toplam taşıma gücü 1078 kN (Şekil 4.13.), kazık çapı 80 cm olarak tasarlanan kazığın toplam taşıma gücü 1912 kN (Şekil 4.14.) ve çap 100 cm olarak tasarlanan kazığın toplam taşıma gücü 3432 kN (Şekil 4.15.) olarak hesaplanmıştır.

Bustamante ve Gianeeselli (LCPC/LCP) yöntemi ile yapılan işlemler sonucunda kazık boyu 9 m, kazık çapı 60 cm olarak tasarlanan kazığın toplam taşıma gücü 1324 kN (Şekil 4.13.), kazık çapı 80 cm olarak tasarlanan kazığın toplam taşıma gücü 2206 kN (Şekil 4.14.) ve çap 100 cm olarak tasarlanan kazığın toplam taşıma gücü 4021 kN (Şekil 4.15.) olarak hesaplanmıştır.

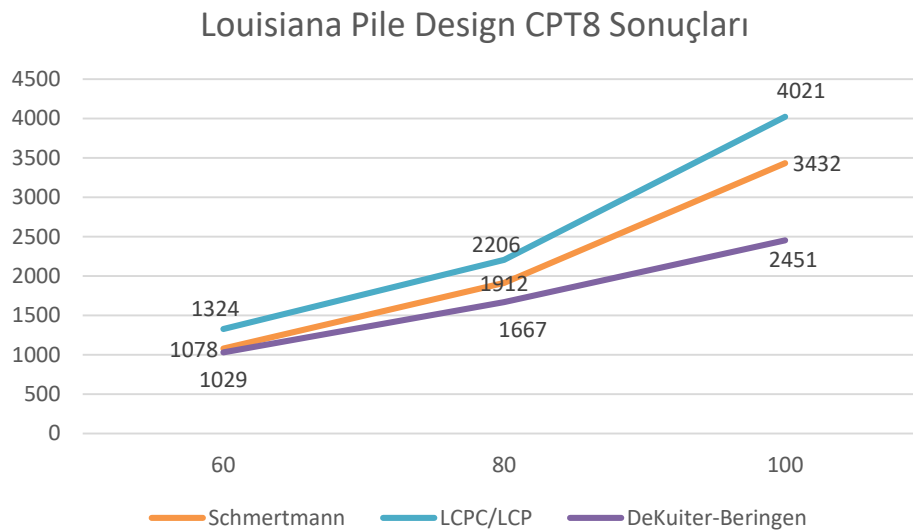
DeKuitter - Beringen yöntemi ise yapılan işlemler sonucunda kazık boyu 9 m, kazık çapı 60 cm olarak tasarlanan kazığın toplam taşıma gücü 1029 kN (Şekil 4.13.), kazık çapı 80 cm olarak tasarlanan kazığın toplam taşıma gücü 1667 kN (Şekil 4.14.) ve çap 100 cm olarak tasarlanan kazığın toplam taşıma gücü 2451 kN (Şekil 4.15.) olarak hesaplanmıştır.

CPT8 verileri kullanılarak yapılan hesapların sonuçları Tablo 4.8.'de gösterilmektedir.

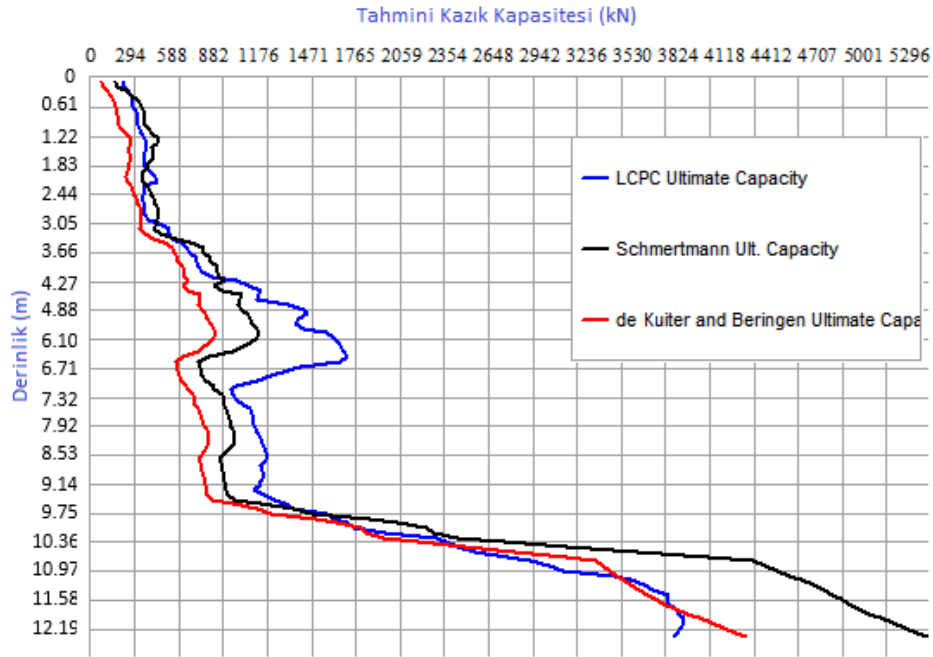
Tablo 4.4. CPT8 verilerine göre Louisiana Pile Design programıyla hesaplama sonuçları

Yöntem	Çap (cm)	Louisiana Pile Design (kN)
Schmertmann	60	1078
	80	1912
	100	3432
LCPC/LCP	60	1324
	80	2206
	100	4021
DeKuitter-Beringen	120	1029
	140	1667
	160	2451

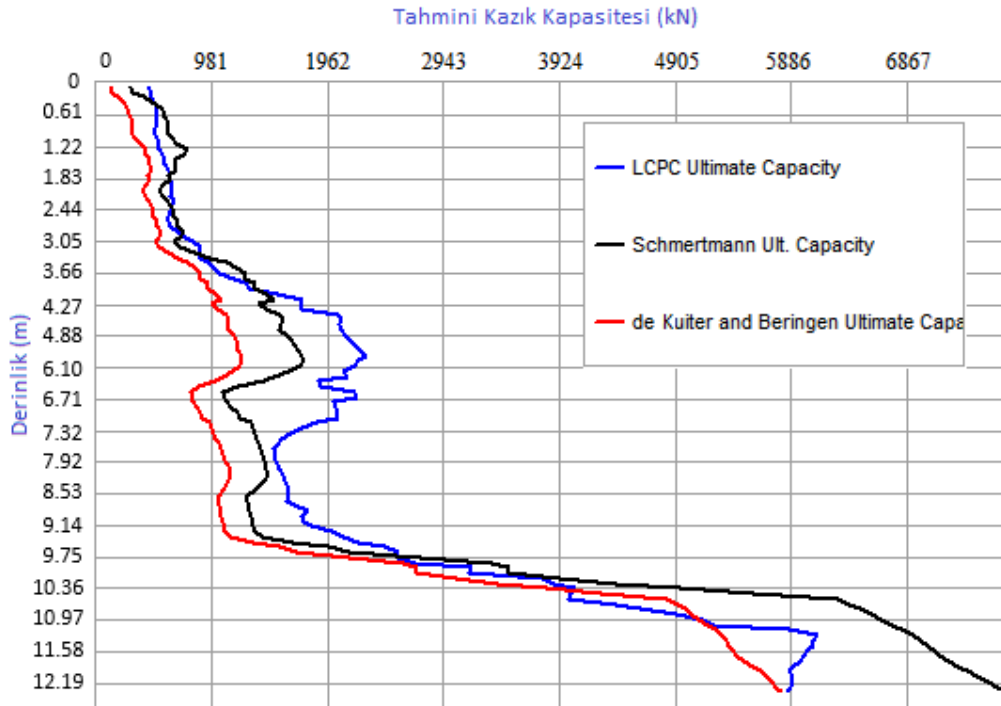
Şekil 4.12.'de Louisiana Pile Design programı yardımıyla çap arttıkça kazık taşıma gücünün değişim grafiği gösterilmiştir.



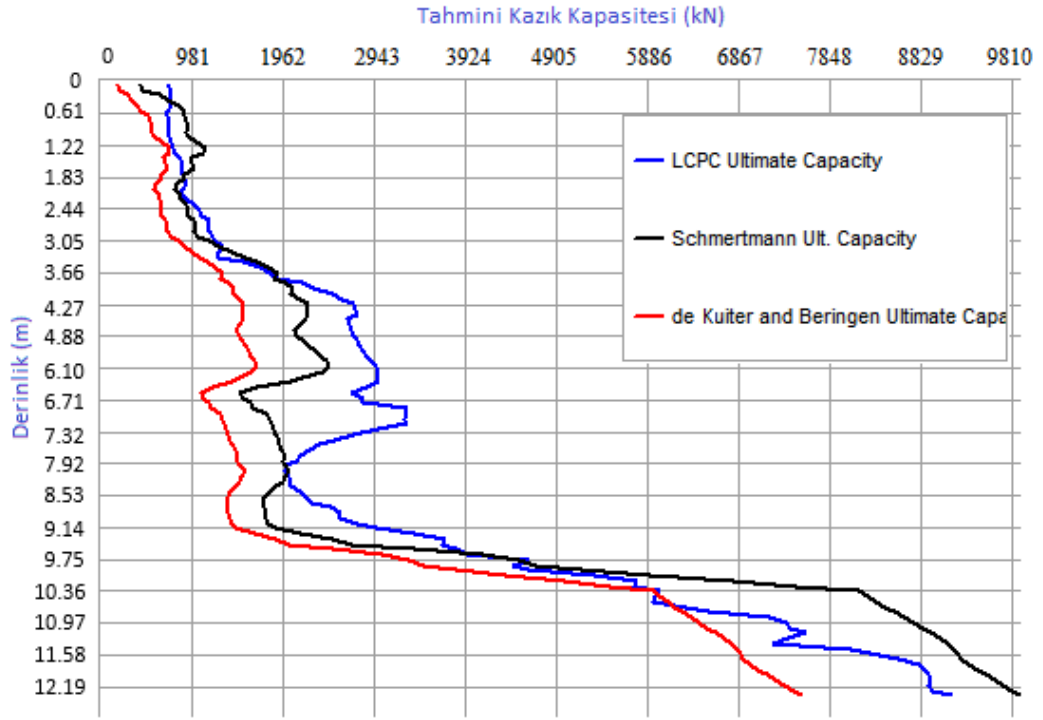
Şekil 4.12. Louisiana Pile Design analiz programı yardımıyla kazık taşıma gücünün gösterilmesi



Şekil 4.13. Louisiana Pile Design programına göre 60 cm çaplı kazıklar için sonuçlar

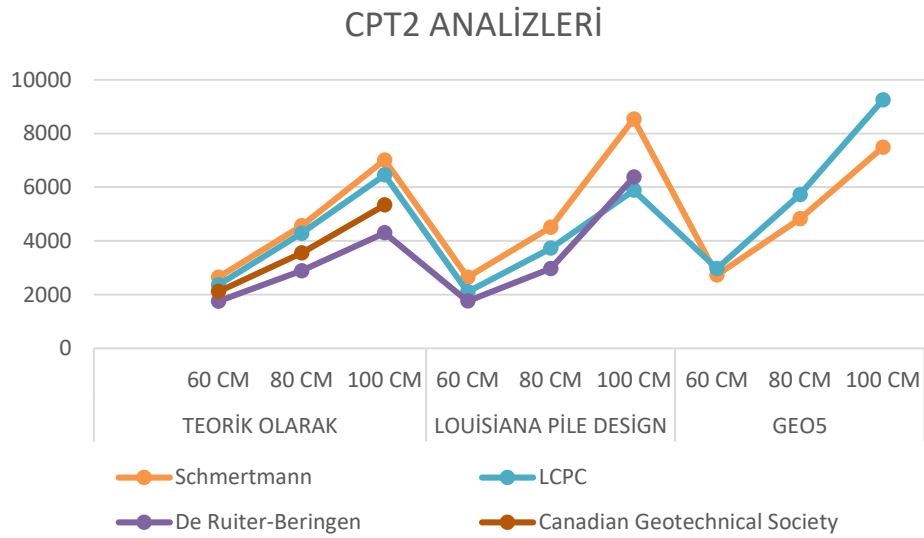


Şekil 4.14. Louisiana Pile Design programına göre 80 cm çaplı kazıklar için sonuçlar

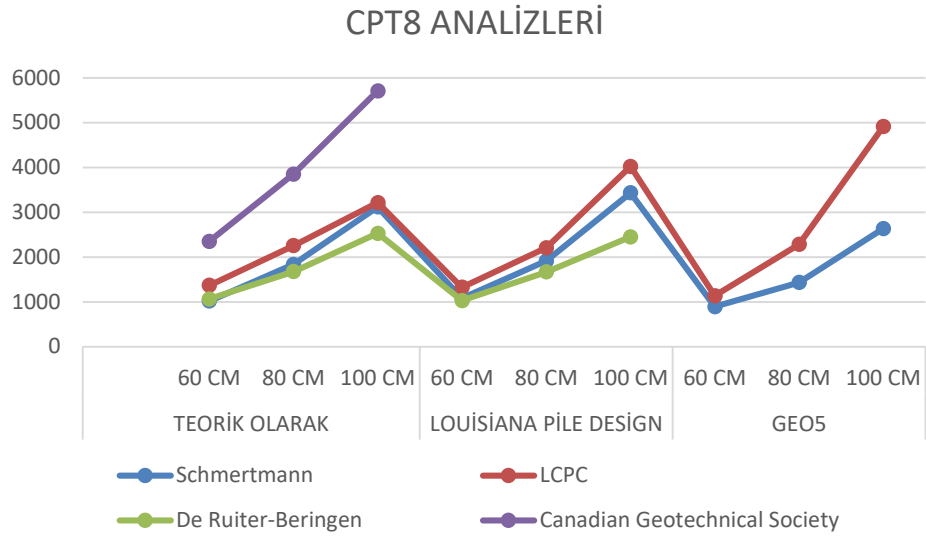


Şekil 4.15. Louisiana Pile Design programına göre 100 cm çaplı kazıklar için sonuçları

Farklı çözüm yöntemleri kullanılarak bulunan sonuçların grafikleri Şekil 4.16. ve Şekil 4.17. 'de karşılaştırılmalı olarak gösterilmektedir.



Şekil 4.16. CPT2 noktasında farklı çaptaki kazıklar için sonuçlar



BÖLÜM 5. SONUÇ

Bu tez kapsamında Adapazarı ovasının alüviyal zeminleri temsil eden bir yerde 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 literatürde önerilen yöntemler ve Louisiana Pile Design, Geo5 programları ile çözülmüştür. Boyu 9,00 m, çapı 60 cm, 80 cm ve 100 cm olarak değiştirilen dairesel betonarme bir kazığın, çakma suretiyle zemine yerleştirilmesi göz önüne alınıp nihai taşıma 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.

CPT2 ve CPT8 sonuçlarına bakıldığında;

- a) Teorik olarak hesaplanan değerler bilgisayar yazılımı ile elde edilmiş sonuçlarla karşılaştırılmış ve birbirine yakın değerler vermiştir.
- b) Schmertmann, LCPC, DeKuitter-Beringen ve Canadian Geotechnical Society yöntemlerinde aynı zemin üzerinde hesaplar yapılsa da DeKuitter-Beringen yöntemi daha emniyetli tarafta kalmıştır.
- c) Kazık çapının 60 cm, 80 cm ve 100 cm olarak arttırılarak yapılan analizlerde kazık çapı arttıkça kazığın taşıma gücünde arttığı gözlemlenmiştir.
- d) Kazık çapı artarken taşıma gücü hesapları arasındaki farklarda artmıştır. Bunun sebebi kazık çapı nisbetinde aşağıda etkilenen tabaka kalınlığının ortalamasıdır. Başka bir ifade ile çap arttıkça aşağıdaki sağlam çakıllı tabakanın etkisi öne çıkmaktadır.
- e) Canadian Geotechnical Society yöntemi diğer yöntemlere göre daha yüksek kazık taşıma kapasitesine ulaşmıştır. Bunun sebebi bu yöntem güvenlik

katsayısını 4 alırken diğ er yöntemler 2,5-3 aralığında almaktadır. Güvenlik katsayıları göz önüne alındığında sonuçlar daha yakın çıkmaktadır.

SK1 ve SK2 SPT sonuçlarına bakıldığında ise;

- a) Canadian Geotechnical Society ve Meyerhof yöntemlerinde sonuçlar birbirine yakın olmasına rağmen Meyerhof yöntemi daha emniyetli tarafta kalmıştır.
- b) Yakın arazi noktalarında yapılan CPT deneyi sonuçları ile karşılaştırıldığında aralarında ciddi farklar oluşmuştur. SPT deneyi ile daha düşük kazık kapasitesi hesaplanırken CPT deneyinde daha yüksek değerler çıkmıştır.

CPT ile yapılan analizlere göre daha düşük kapasiteler sunan SPT değerlendirmeleri; söz konusu SPT deneyinin CPT'ye nazaran bir takım zayıflıklarını akla 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

- American Petroleum Institute 1986. API Recommended Practice for Planning, Designing and Constructing Fixed Offshore Platforms, Washington, D.C.
- Bayar, T. 2011. Kazıklı temel sistemlerinin sonlu elemanlarla modellenmesi. Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi.
- Bol, E. 1996, Fore kazıklarda ankrajla iksa sistemlerinin belli zeminlerde uygulanması, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Adana.
- Bowles, J. E. 1996. Foundation Analysis and Design, McGraw-Hill, Singapore.
- Burland, J.B. 1973. Shaft Friction of Piles in Clay - a Simple Fundamental Approach, Ground Engineering.
- Bustamante, M., Gianeeselli, L. 1982. Pile Bearing Capacity Predictions by Means of Static Penetrometer CPT. Proceedings of the 2nd European Symposium on Penetration Testing, ESOPT-II, Amsterdam, Vol. 2, pp.493-500.
- Canadian Geotechnical Society 1985. Canadian Foundation Engineering Manual, 2nd Edition, Vancouver, Canada.
- Coduto, P. Donald 2005. Temel Tasarımı İlkeler ve Uygulamalar, Gazi Kitabevi, Ankara.
- Coyle, H. M. , Castello, R. R. 1981. New Design Correlations for pile design in sand, Journal of Geotechnical Engineering Division, ASCE.
- Das, M. B. 1999. Principles of Foundation Engineering, California.
- Das, M. Braja, 2014. Principles of Foundation Engineering, Cengage Learning.
- DeKuiters, J., Beringer F. L. 1979. Pile Foundations for Large North Sea Structures. Marine Geotechnology, Vol. 3, No. 3. Pp. 267-314.
- Düzceer, İ. R. 2002. Kazık yükleme deneyleri ile nihai kazık taşıma kapasitesinin belirlenmesi üzerine bir çalışma. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi.

- Genç, D. 2011. Zemin Mekaniği ve Temeller, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası.
- Gören, R. 2010. Çatalan içme suyu iletim hattında kazık temel uygulaması. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği, Yüksek Lisans Tezi.
- Kabaca, H. 2018. Kazıkların taşıma gücü ve oturma parametrelerinin incelenmesi, taşıma gücü için yeni bir metot önerisi. Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi.
- Meyerhof, G.G. 1976. Bearing Capacity and Settlement of Pile Foundations, Journal of Geotech. Engineering Division, ASCE.
- Odbay, O. 1995. Kazıklı temeller ve düşey yükler altında kazıklı temel sistemlerinin hesap ve analiz yöntemlerinin rasyonelleştirilmesi. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği, Yüksek Lisans Tezi.
- Önalp, A. 1982. İnşaat Mühendislerine Geoteknik Bilgisi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Yayınları.
- Önalp, A., Sert, S. 2016, Geoteknik Bilgisi III: Bina Temelleri, Güncelleştirilmiş 3. baskı, Birsen Yayınevi.
- Schmertmann, J. H. 1978. Guidelines for Cone Penetration Test, Performance and Desing, U.S. Department of Transportation, Report No. FHWA-TS-78-209, Washington, D.C.
- Şen, S. 2006. Kohezyonsuz zeminde ve kayaya soketli perde kazıkların taşıma gücü üzerine bir inceleme. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi.
- Terzaghi, K. 1984. Soil mechanics in engineering Practice, John Wiley and Sons, Inc., New York.
- Titi, H. H., Abu-Farsakh, M.Y. 2000. Evaluation of Bearing Capacity of Piles from Cone Penetration Test Data. Report No. FHWA/LA.99/334. Louisiana Transportation Research Center, Baton Rouge, Report No. FHWA-TS-78-209, Baton Rouge, LA.
- Toğrol, E., Tan O. 2003. Kazıklı Temeller, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- Uzuner, B. A. 1995. Temel Mühendisliğine Giriş, Derya Kitabevi.
- Üzel, S. 2011. Endüstriyel çelik binalarda kazık temellerin binanın dinamik davranışına olan etkisi. Gebze Yüksek Teknolojileri Enstitüsü, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Deprem ve Yapı Mühendisliği, Yüksek Lisans Tezi.

Vijyavergiya, V.N. and Fotch, J.A. 1972. A New Way to Predict Capacity of Piles in Clay,4th. Offshore Tech. Conf. Houston, TX.

Yıldırım, S. 2009. Zemin İncelemesi ve Temel Tasarımı, Birsen Yayınevi, İstanbul.

EKLER

Ek 1: SK1 SPT Sondaj Logu

Derinlik	Numune Derinlikleri	Numune No	SPT						Grafik	Litoloji	Açıklama	Derinlik
			Darbe					N ₆₀				
			0-15	15-30	30-45	N _{ort}	N ₆₀					
1										Nebati Toprak	1	
2	1,50 - 1,95	SPT - 1	4	3	3	6	3			Orta Plastik Kil	2	
3	3,00 - 3,45	SPT - 2	3	4	3	7	4			Orta Plastik Kil	3	
4											4	
5	4,50 - 4,95	SPT - 3	4	3	6	9	6			Killi Silt	5	
6	6,00 - 6,45	SPT - 4	9	11	16	27	37			Siltli Kum	6	
7											7	
8	7,50 - 8,00	SPT - 5	7	9	12	21	15			Killi Silt	8	
9	8,00 - 8,50	UD - 1	ALINDI									9
10	9,00 - 9,45	SPT - 6	13	16	18	34	R			Siltli Kum	10	
11	10,50 - 10,95	SPT - 7	6	8	7	15	11			Killi Silt	11	
12											12	
13											13	
14											14	
15											15	
16	15,00 - 15,45	SPT - 8	15	24	30	R	R			Çakıllı Kum	16	
17											17	
18											18	
19											19	
20											20	
21	20,00 - 20,45	SPT - 9	17	32	43	R	R			Çakıllı Kum	21	
22											22	
23											23	
24											24	
25											25	
26	25,00 - 25,45	SPT - 10	19	30	38	R	R			Siltli Kum	26	
27											27	
28											28	
29											29	
30	29,50 - 29,95	SPT - 11	14	28	26	R	R			Kuyu Sonu 30,00 m.	30	

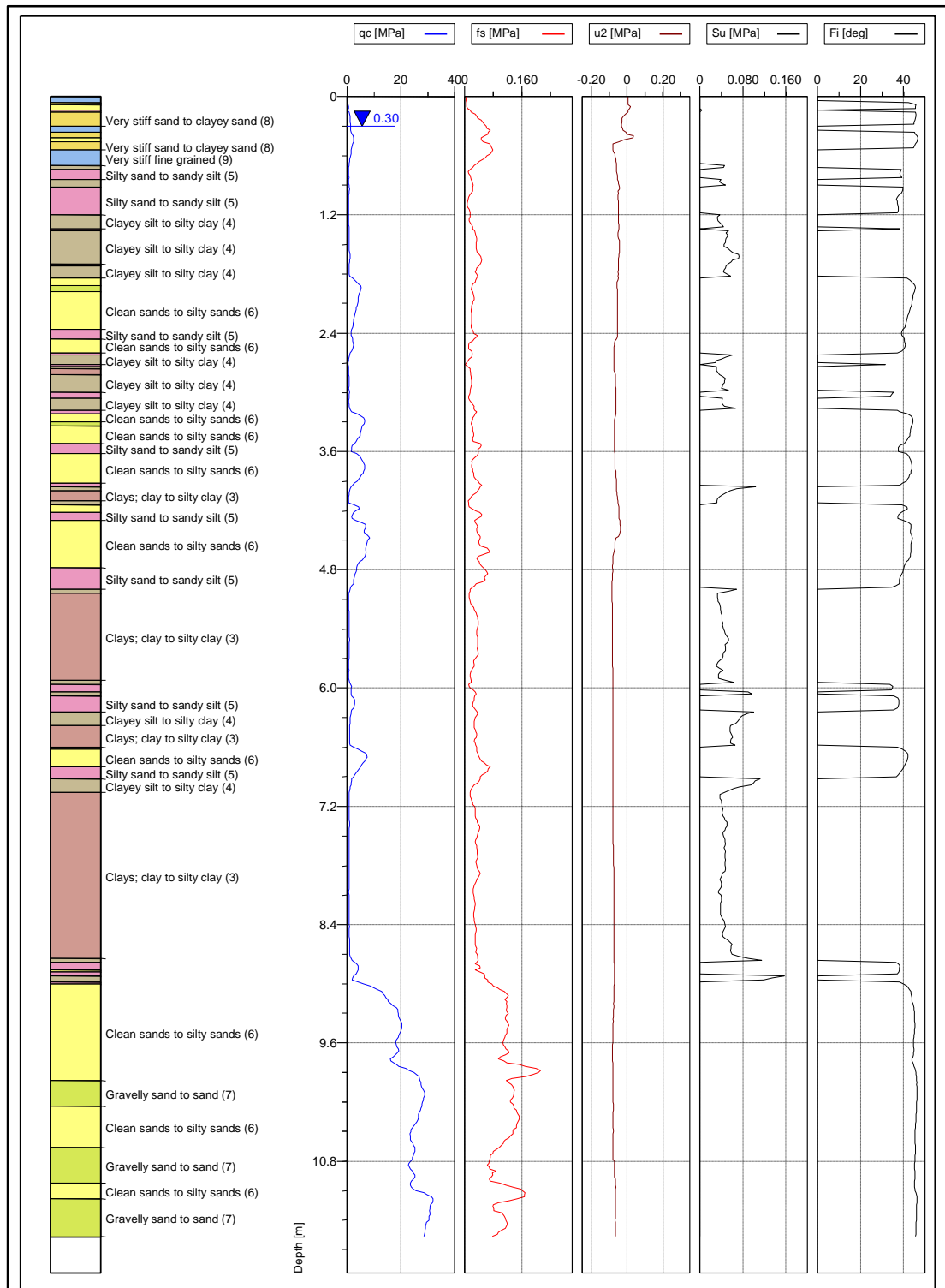
Ek 2: SK2 SPT Sondaj Logu

Derinlik	Numune Derinlikleri	Numune No	S P T						Grafik	Litoloji	Açıklama	Derinlik
			Darbe					N ₆₀				
			0-15	15-30	30-45	N _{ort}	N ₆₀					
1										Nebati Toprak	1	
2	1,50 - 1,95	SPT - 1	3	3	4	7	4				2	
3										YASS.	3	
4	3,00 - 3,45	SPT - 2	3	4	4	8	5			Orta Plastik Kil	4	
5	4,50 - 4,95	SPT - 3	4	4	5	9	6				5	
6	6,00 - 6,45	SPT - 4	8	9	13	22	14				6	
7											7	
8	7,50 - 8,00	SPT - 5	7	10	16	26	19			Killi Silt	8	
9											9	
10	9,00 - 9,45	SPT - 6	6	6	7	13	10				10	
11	10,50 - 10,95	SPT - 7	6	7	8	15	11			Siltli Kil	11	
12											12	
13	12,00 - 12,45	SPT - 8	14	18	34	R	R				13	
14	13,50 - 13,95	SPT - 9	11	17	29	46	R				14	
15											15	
16	15,00 - 15,45	SPT - 10	12	23	R	R	R				16	
17	16,50 - 16,95	SPT - 11	16	21	43	R	R				17	
18											18	
19	18,00 - 18,45	SPT - 12	19	32	47	R	R				19	

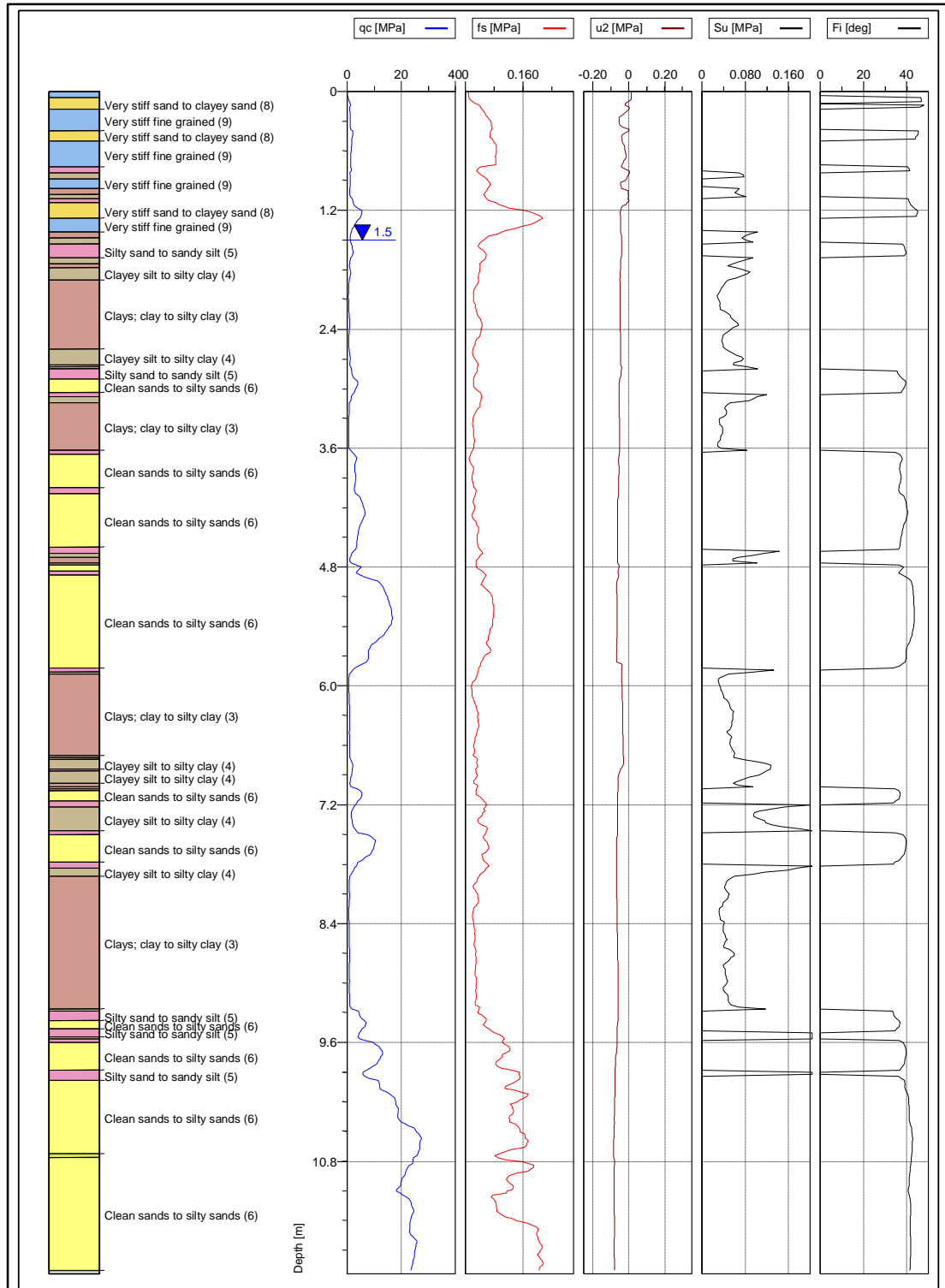
Ek 3: SK3 SPT Sondaj Logu

Derinlik	Numune Derinlikleri	Numune No	SPT						Grafik	Litoloji	Açıklama	Derinlik
			Darbe					N ₆₀				
			0-15	15-30	30-45	N _{ort}	N ₆₀					
1										Nebati Toprak	1	
2											2	
3											3	
4	1,50 - 1,95	SPT - 1	3	4	5	9	5			Siltli Kil	4	
5											5	
6											6	
7	3,00 - 3,45	SPT - 2	4	4	5	9	6				7	
8											8	
9											9	
10	4,50 - 4,95	SPT - 3	5	4	6	10	7				10	
11	5,00 - 5,50	UD - 1	ALINDI							Killi Silt	11	
12											12	
13											13	
14	6,00 - 6,50	SPT - 4	7	9	11	20	14				14	
15											15	
16	7,00 - 7,50	UD - 2	ALINDI								16	
17	7,50 - 7,95	SPT - 5	5	5	6	11	8			Orta Plastik Kil	17	
18											18	
19											19	
20	9,00 - 9,45	SPT - 6	7	8	10	18	14				20	
21											21	
22											22	
23	10,50 - 10,95	SPT - 7	7	8	9	17	13			Killi Silt	23	
24											24	
25											25	
26											26	
27	12,00 - 12,45	SPT - 8	13	17	29	46	R				27	
28											28	
29	13,50 - 13,95	SPT - 9	15	21	28	49	R			Siltli Kum	29	
30											30	
	14,50 - 14,95	SPT - 10	18	31	37	R	R					
	17,00 - 17,45	SPT - 11	22	34	R	R	R					
	18,50 - 18,95	SPT - 12	14	33	R	R	R			Siltli Kum		

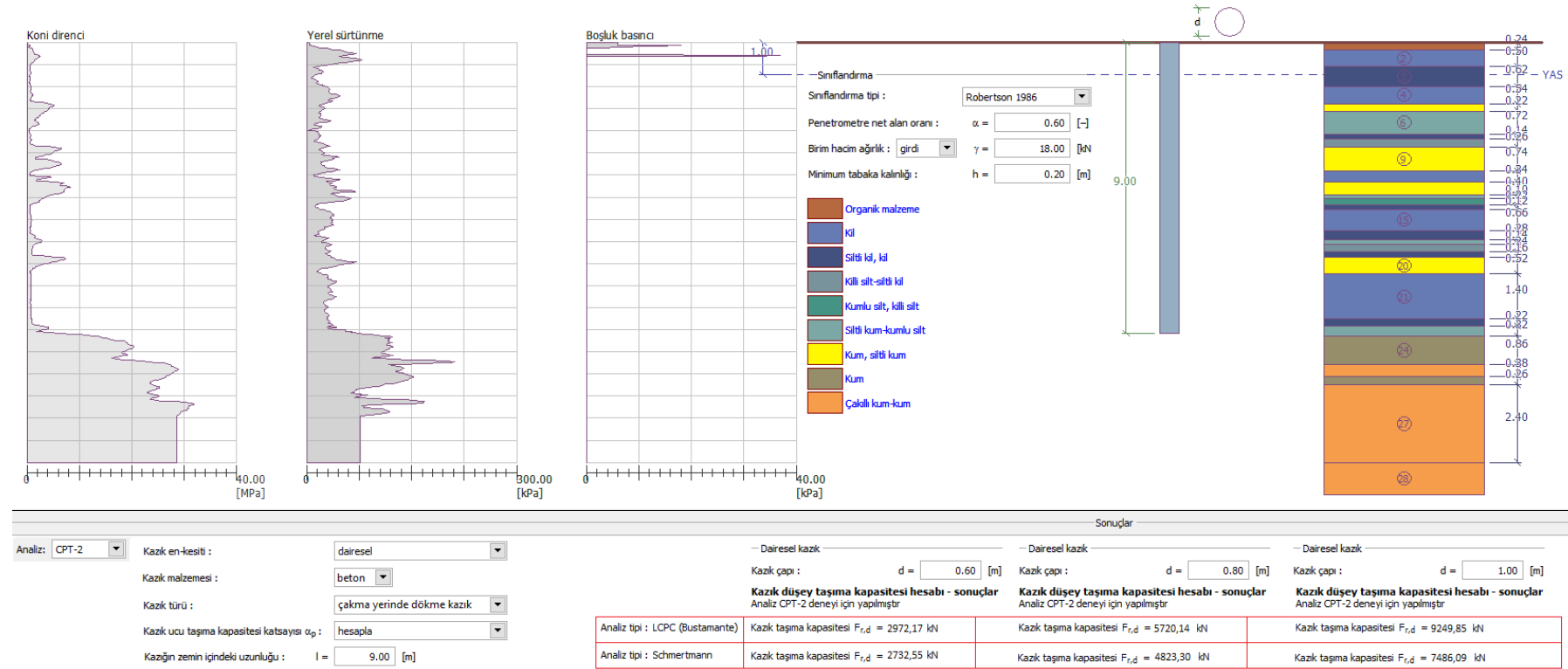
Ek 4: CPT2 Sondaj logu



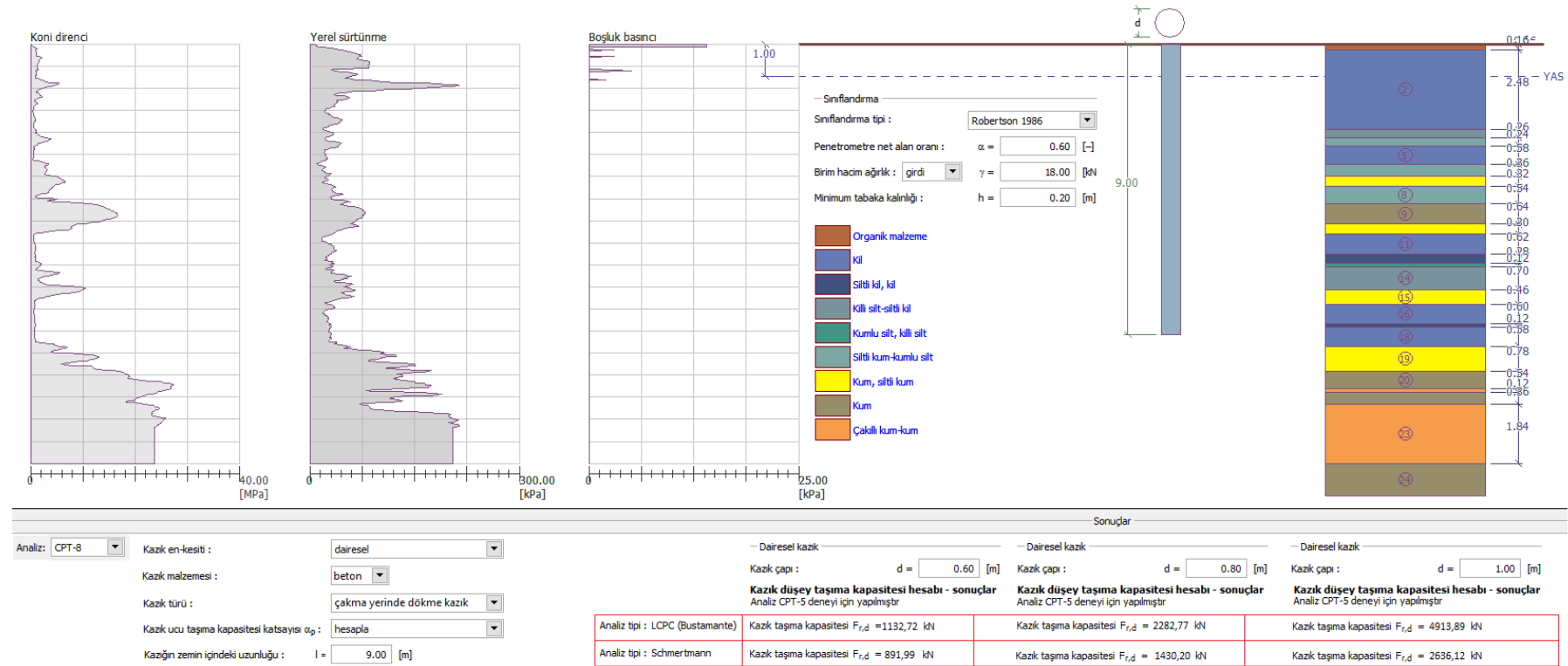
Ek 5: CPT8 Sondaj logu



Ek 6: CPT2 Geo5 Program Analiz Sonucu



Ek 7: CPT8 Geo5 Program Analiz Sonucu



ÖZGEÇMİŞ

Zeynep Süreyya Genç, 15.03.1990'da Balıkesir'de doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Balıkesir'de tamamladı. 2009 yılında Bandırma Şehit Mehmet Gönenç Lisesi'nden mezun oldu. 2009 yılında başladığı Sakarya Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nü 2013 yılında bitirdi. 2013 yılında Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Geoteknik Ana Bilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimine başladı. 2013-2014 yılları arasında Bandırma'da şantiye şefliği yaptıktan sonra 2014 yılında Yapı Denetim firması kurdu. Bugün hala aktif bir şekilde yapı denetim işini devam ettirmektedir.