

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

**ALÜVİYAL ORTAMDA KONİ PENETRASYON
DENEYİ İLE KAZIK TAŞIMA KAPASİTESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Sevde YELMER

Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
Enstitü Bilim Dalı : GEOTEKNİK
Tez Danışmanı : Doç. Dr. Sedat SERT

Temmuz 2020

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

ALÜVİYAL ORTAMDA KONİ PENETRASYON DENEYİ İLE KAZIK TAŞIMA KAPASİTESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Sevde YELMER

Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
Enstitü Bilim Dalı : GEOTEKNİK

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

**Doç. Dr.
Sedat SERT
Jüri Başkanı**

**Doç. Dr.
Ertan BOL
Üye**

**Dr. Öğr. Üyesi
İsa VURAL
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.

Sevde YELMER

21.07.2020

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans öğrenimim süresince her zaman beni yönlendiren, çok değerli bilgi ve deneyimleriyle her zaman öğrencisiyle iletişimini güçlü tutan, her daim destek olan, öğrencisi olmaktan gurur duyduğum çok değerli danışman hocam Doç. Dr. Sedat SERT'e çok teşekkür ederim.

Hayatımın her aşamasında yanımda olan, her türlü maddi ve manevi desteği benden hiçbir zaman esirgemeyen çok değerli aileme teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ	ix
TABLolar LİSTESİ.....	xii
ÖZET.....	xiv
SUMMARY	xv
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2.	
KAYNAK ARAŞTIRMASI	2
2.1. Temeller.....	2
2.2. Temellerin Sınıflandırılması.....	3
2.2.1. Yüzeysel temeller	4
2.2.1.1. Duvar altı temelleri	4
2.2.1.2. Tekil temeller	5
2.2.1.3. Birleşik kolon temeller.....	5
2.2.1.4. Sürekli temeller	6
2.2.1.5. Yayılı (radye) temeller	6
2.2.2. Derin temeller	7
2.2.2.1. Ayak (kuyu) temeller	8
2.2.2.2. Keson (kutu) temeller.....	8
2.2.2.3. Kazıklı temeller	11

BÖLÜM 3.

KAZIKLAR	12
3.1. Kazıkların Tarihçesi	12
3.2. Kazıkların İşlevleri	12
3.3. Kazıkların Kullanım Alanları	13
3.4. Kazık Seçimini Etkileyen Faktörler	15
3.5. Kazıkların Sınıflandırılması	15
3.5.1. Çalışma şekline göre kazıklar.....	16
3.5.1.1. Uç kazıkları	16
3.5.1.2. Sürtünme kazıkları	17
3.5.1.3. Kombine kazıklar	18
3.5.2. İmal edildikleri malzemeye göre kazıklar	18
3.5.2.1. Ahşap çakma kazıklar	18
3.5.2.2. Çelik çakma kazıklar.....	19
3.5.2.3. Betonarme kazıklar	19
3.5.3. Yapım yöntemine göre kazıklar	21
3.5.3.1. Çakma kazıklar.....	21
3.5.3.2. Delme kazıklar	21
3.5.4. Yükleri taşıma şekline göre kazıklar	22
3.5.4.1. Basınç kazıkları.....	22
3.5.4.2. Çekme kazıkları	22

BÖLÜM 4.

KAZIKLARIN TAŞIMA GÜCÜ HESABI.....	24
4.1. Düşey Statik Yükler Altında Kazıkların Taşıma Gücü	24
4.2. Tekil Kazıkların Düşey Taşıma Gücünün Laboratuvar Verileri ile Hesabı	26
4.2.1. Tekil kazıklarda uç taşıma gücü	27
4.2.1.1. Kohezyonlu zeminlerde kazık uç taşıma gücü.....	27
4.2.1.2. Kohezyonsuz zeminlerde kazık uç taşıma gücü.....	28
4.2.1.3. Kohezyonlu ve kohezyonsuz zeminlerde kazık uç direnci taşıma gücü yöntemleri	29

4.2.2. Tekil kazıklarda çevre sürtünmesi ile taşıma gücü.....	38
4.2.2.1. Kohezyonlu zeminlerde kazık çevre taşıma gücü.....	39
4.2.2.2. Kohezyonsuz zeminlerde çevre taşıma gücü	44
4.2.3. Kayaçlardaki kazıklarda taşıma gücü	46
4.2.4. Dinamik yükler altında tekil kazık kapasitesi.....	47
4.2.5. Kazık yükleme deneyi ile kazık kapasitesi.....	47

BÖLÜM 5.

KAZIK TAŞIMA GÜCÜNÜN ARAZİ DENEYLERİ İLE BULUNMASI	50
5.1. Standart Penetrasyon Deneyi (SPT) İle Kazık Taşıma Kapasitesi	50
5.2. Koni Penetrasyon Deneyi (CPT) İle Kazık Taşıma Kapasitesi	52
5.2.1. Bustamante ve Ganeselli (1982) (LCPC) yöntemi	54
5.2.1.1. Kazık birim uç direnci.....	54
5.2.1.2. Kazık birim çevre sürtünmesi	55
5.2.2. De Ruiter ve Beringen (1979) yöntemi	59
5.2.2.1. Kohezyonlu zeminlerde kazık birim uç direnci	59
5.2.2.2. Kohezyonsuz zeminlerde kazık birim uç direnci	59
5.2.2.3. Kohezyonlu zeminlerde kazık birim çevre sürtünmesi...	61
5.2.2.4. Kohezyonsuz zeminlerde kazık birim çevre sürtünmesi.	61
5.2.3. Schmertmann (1978) yöntemi	62
5.2.3.1. Kohezyonlu zeminlerde kazık birim çevre sürtünmesi...	62
5.2.3.2. Kohezyonsuz zeminlerde kazık birim çevre sürtünmesi.	63
5.2.4. Briaud ve Miran (1991) yöntemi	63
5.2.4.1. Kazık birim çevre sürtünmesi	63
5.2.5. DIN 4014 yöntemi	67
5.2.5.1. Kohezyonlu zeminlerde kazık birim uç direnci ve kazık birim çevre sürtünmesi	67
5.2.5.2. Kohezyonsuz zeminlerde kazık birim uç direnci ve kazık birim çevre sürtünmesi	67
5.2.6. Tümay ve Fakhroo yöntemi.....	68
5.2.6.1. Kazık birim uç direnci.....	68
5.2.6.2. Kazık birim çevre sürtünmesi	68

BÖLÜM 6.

YAZILIMLAR İLE KAZIK KAPASİTESİ HESABI.....	70
6.1. Lousiana Pile Design-Cone Penetration Test Program	70

BÖLÜM 7.

FARKLI BOY VE ÇAPA SAHİP KAZIKLARDA ELLE ÇÖZÜM.....	83
7.1. Adapazarı Örnek Kesitinde CPT ile Kazık Taşıma Kapasitesi	83
7.1.1. Adapazarı örnek kesitinde LCPC yöntemi ile kaplama borulu delme (Ftu) kazık taşıma kapasitesi.....	85
7.1.2. Adapazarı örnek kesitinde Schmertmann yöntemi ile kazık taşıma kapasitesi.....	86
7.1.3. Adapazarı örnek kesitinde De Ruiter ve Beringen yöntemi ile kazık taşıma kapasitesi.....	88
7.2. İzmir Örnek Kesitinde CPT İle Kazık Taşıma Kapasitesi.....	90
7.2.1. İzmir örnek kesitinde LCPC yöntemi ile kaplama borulu delme (Ftu) kazık taşıma kapasitesi.....	92
7.2.2. İzmir örnek kesitinde Schmertmann yöntemi ile kazık taşıma kapasitesi.....	93
7.2.3. İzmir örnek kesitinde De Ruiter ve Beringen yöntemi ile kazık taşıma kapasitesi.....	95

BÖLÜM 8.

TOPLAM KAZIK KAPASİTELERİ.....	98
8.1. Adapazarı Örnek Kesitinde Toplam Kazık Kapasitesi Sonuçları.....	98
8.2. İzmir Örnek Kesitinde Toplam Kazık Kapasitesi Sonuçları	101

BÖLÜM 9.

SONUÇ	104
-------------	-----

KAYNAKLAR	107
-----------------	-----

ÖZGEÇMİŞ	111
----------------	-----

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

$\bar{\sigma}_0$	: Kazık uç noktasındaki efektif düşey gerilme
ϕ'	: Zeminin efektif kayma direnci açısı
a_f	: Sürtünme dönüşüm katsayısı
A_p	: Kazık uç kesit alanı
A_s	: Kazık toplam çevre alanı
α_u	: Adezyon faktörü
B_p	: Katsayı (yanal yüklü kazık elastik çözümü)
c_u	: Drenajsız kayma direnci
d_c	: Şekil faktörü
D_f	: Gömme derinliği (genel olarak kazık boyu)
d_q	: Şekil faktörü
E_s	: Zeminin elastisite modülü
f_{sult}	: Birim alana düşen nihai çevre taşıma direnci
G_s	: Zeminin kayma modülü
$K_{o(OCR)}$	: Aşırı konsolide killerdeki yanal zemin basıncı katsayısı
K_o	: Yanal zemin basıncı katsayısı
k_c	: Taşıma gücü faktörü
K_s	: Yanal toprak basıncı katsayısı
L_b	: Kazığın sağlam zemine gömülme derinliği
L_D	: Bağıl yoğunluk
PI	: Plastisite indisi
I_r	: Rijitlik endeksi
I_{rr}	: Azaltılmış rijitlik endeksi
$\bar{N}_{55}$	: SPT- N_{55} değerlerinin ortalaması
$\bar{N}_{60}$	: Teorik serbest düşme enerjisinin %60'ına göre düzeltilmiş hali

N_c	: Taşıma gücü faktörü
N_q	: Taşıma gücü faktörü
N_γ	: Taşıma gücü faktörü
p_a	: Atmosfer basıncı
P_u	: Kazığın batma direnci
Q_{all}	: Güvenli kazık taşıma gücü
q'	: Kazık uç noktasındaki efektif düşey gerilme
q_c	: Kazık boyunca zemindeki tabaka değerlerinin ortalama q_c değeri
q_{c1}	: Kazık ucundan 0.7D-4D aşağıda min. uç dirençlerinin ortalaması
q_{c2}	: Kazık ucundan 8D yukarıda ölçülen uç dirençlerinin min. ortalaması
q_l	: Kazık uç direnci limit değeri
q_p	: Kazık uç taşıma kapasitesi
q_s	: Kazık çevre sürtünmesi
Q_{sult}	: Nihai çevre taşıma kapasitesi
$q_{eşd}$	: Eşdeğer uç direnci
Q_u	: Toplam kazık kapasitesi
q_u	: Kayanın serbest basınç mukavemeti
R_f	: Konik penetrasyon deneyi sürtünme oranı
s_c	: Temel şekil faktörü katsayısı
s_γ	: Temel şekil faktörü katsayısı
$\tan \delta$	: Zemin-kazık arası sürtünme açısı
W_L	: Likit limit
W_p	: Kazık öz ağırlığı
α_c	: Kohezyonlu zeminde sürtünme faktörü
α_s	: Kumlu zeminde sürtünme faktörü
γ'	: Dolgu altındaki kilin efektif birim hacim ağırlığı
μ_s	: Zeminin Poisson oranı
ΔL	: f sürtünme direncinin sabit olduğu kazık boyu
B	: Kazık çapı
c	: Kazık ucunu destekleyen zeminin kohezyonu
CPT	: Koni penetrasyon deneyi

D	: Kazık apı
f	: z derinliğindeki birim sürtünme direnci
FS	: Güvenlik faktörü
γ	: Zemin birim hacim ağırlığı kapasitesi faktörleri
L	: Kazık boyu
LPD	: Louisiana Pile Design
OCR	: Aşırı konsolidasyon oranı
Q_{ult}	: Son taşıma gücü
S	: Kazık ucunun batma miktarı
s	: Şekil faktörü
u_1	: Boşluk suyu basıncı
u_2	: Boşluk suyu basıncı
u_w	: Boşluk suyu basıncı
Z	: Yüzeyden derinlik
A	: Adezyon faktörü
B	: Sürtünme katsayısı
γ	: Zemin doğal birim hacim ağırlığı
Γ	: Zemin birim hacim ağırlığı
λ	: Adezyon katsayısı
σ	: Zemindeki toplam gerilme
η	: Verim katsayısı

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Temellerin sınıflandırılması.....	3
Şekil 2.2. Duvar altı temelleri	4
Şekil 2.3. a) Simetrik, b) simetrik olmayan tekil temel	5
Şekil 2.4. Dikdörtgen ve yamuk taban alanlı birleşik temellerin genel görünümleri	5
Şekil 2.5. a) Çift yönde, b) tek yönde sürekli sürekli temeller.....	6
Şekil 2.6. Yayılı temel.....	6
Şekil 2.7. Kirişsiz radye temel	7
Şekil 2.8. Rijit temel	7
Şekil 2.9. Ayak temeller.....	8
Şekil 2.10. Açık kesonlar	9
Şekil 2.11. Pnömatik (hava basınçlı) kesonlar	10
Şekil 2.12. Yüzen kesonlar	10
Şekil 2.13. Kazıklı temelli yapı.....	11
Şekil 3.1. Kullanılma amaçlarına göre kazık tipleri; (a), (b) uç kazığı, (c), (d) sürtünme kazığı, (e) çekme kazığı, (f) ankraj kazığı, (g) sıkıştırma kazığı	14
Şekil 3.2. Kazıkların sınıflandırılması	16
Şekil 3.3. Uç kazığı	17
Şekil 3.4. Sürtünme kazığı	17
Şekil 3.5. Kombine kazık.....	18
Şekil 3.6. Ahşap kazık.....	19
Şekil 3.7. Çelik çakma kazık.....	19
Şekil 3.8. Önceden dökme (prekast) kazıklar	20
Şekil 3.9. Yerinde dökme kazıklar	20
Şekil 3.10. Çakma kazıklar	21

Şekil 3.11. Delme kazıklar	21
Şekil 3.12. Basınç ve çekme kazıkları	23
Şekil 4.1. Bir kazığın yük iletme şekli	24
Şekil 4.2. Tekil kazıkların hesap yöntemlerinin sınıflandırılması	25
Şekil 4.3. Kazık yük mekanizması.....	27
Şekil 4.4. Meyerhof'un homojen kumda yerleşmiş kazıkta uç taşıma direncinin derinlikle değişimi	30
Şekil 4.5. N_q 'nun, L/D ve içsel sürtünme açısı ϕ' ile değişimi.....	36
Şekil 4.6. Kohezyonlu zeminlerdeki çakma kazıklar için tabakalı zeminlerde adezyon faktörü (α) önerisi.....	41
Şekil 4.7. λ metodunda adezyon katsayısının kazık boyuna göre değişimi	43
Şekil 4.8. Kumlarda yanall sürtünme direncinin derinlikle değişimi.....	45
Şekil 4.9. Kazık yükleme deneyi	48
Şekil 4.10. Kazık yükleme deneyi sonucu	49
Şekil 5.1. CPT ile kazık kapasitesi hesabı yöntemleri	54
Şekil 5.2. q_{esd} hesabı.....	55
Şekil 5.3. İnce daneli zeminlerde sürtünme eğrisi	58
Şekil 5.4. İri daneli zeminlerde sürtünme eğrisi	58
Şekil 5.5. De Ruiter ve Beringen (1979) yöntemi.....	60
Şekil 5.6. q_p değerleri için üst limit değerleri.....	60
Şekil 5.7. α_c değerleri	62
Şekil 5.8. α_s değerleri (a) elektrikli ve (b) mekanik koni	63
Şekil 5.9. Kil ve siltler için sürtünme direnci abağı.....	64
Şekil 5.10. Kum ve çakıllar için sürtünme direnci abağı	64
Şekil 6.1. Açılış ekranı	71
Şekil 6.2. Program ara yüzü	72
Şekil 6.3. About kısmı analiz yöntemlerinin anlatımı	72
Şekil 6.4. Data dosyasının programa aktarılması.....	73
Şekil 6.5. Adapazarı kesiti data verilerinin olduğu txt dosyası.....	73
Şekil 6.6. İzmir kesiti data verilerinin olduğu txt dosyası.....	73
Şekil 6.7. Adapazarı kesiti CPT verilerinin txt dosyasının aktarılması	74
Şekil 6.8. İzmir kesiti CPT verilerinin txt dosyasının aktarılması	74

Şekil 6.9. Plot Cone Data bölümünün aktifleştirilmesi.....	75
Şekil 6.10. Veri özelliklerinin girildiği pencere.....	75
Şekil 6.11. Adapazarı kesiti CPT veri grafikleri.....	76
Şekil 6.12. İzmir kesiti CPT veri grafikleri.....	76
Şekil 6.13. Adapazarı kesiti düzeltilmiş CPT verisi ve zemin içerikleri	77
Şekil 6.14. İzmir kesiti düzeltilmiş CPT verisi ve zemin içerikleri	77
Şekil 6.15. 80 cm çaplı kazıkta özelliklerin belirlenmesi	78
Şekil 6.16. Zeminle ilgili derinlik opsiyonları seçimi.....	78
Şekil 6.17. Adapazarı kesitinde 80 cm çaplı kazık için çözüm sonucu	79
Şekil 6.18. İzmir kesitinde 80 cm çaplı kazık için çözüm sonucu	79
Şekil 6.19. 100 cm çaplı kazıkta özelliklerin belirlenmesi	80
Şekil 6.20. Adapazarı kesitinde 100 cm çaplı kazık için çözüm sonucu	80
Şekil 6.21. İzmir kesitinde 100 cm çaplı kazık için çözüm sonucu	81
Şekil 6.22. 120 cm çaplı kazıkta özelliklerin belirlenmesi	81
Şekil 6.23. Adapazarı kesitinde 120 cm çaplı kazık için çözüm sonucu	82
Şekil 6.24. İzmir kesitinde 120 cm çaplı kazık için çözüm sonucu	82
Şekil 7.1. Robertson (1990) zemin sınıflandırması.....	83
Şekil 7.2. CPT Pro yazılımı ile Adapazarı PCPT-1 sonda logu ve zemin özellikleri	84
Şekil 7.3. CPT Pro yazılımı ile İzmir PCPT-3 sonda logu ve zemin özellikleri....	91
Şekil 8.1. Adapazarı PCPT-1 CPT logu el ile çözüm grafiksel gösterimleri.....	99
Şekil 8.2. Adapazarı PCPT-1 CPT logu program ile çözüm grafiksel gösterimleri.....	100
Şekil 8.3. İzmir PCPT-3 CPT logu el ile çözüm grafiksel gösterimleri.....	102
Şekil 8.4. İzmir PCPT-3 CPT logu program ile çözüm grafiksel gösterimleri.....	103

TABLolar LİSTESİ

Tablo 4.1. Kohezyonlu zeminlerde N_c faktörü önerileri	28
Tablo 4.2. Kohezyonsuz (iri daneli) zeminlerde N_q faktörü önerileri.....	29
Tablo 4.3. Meyerhof metoduna göre enterpolasyonla elde edilmiş değerler	30
Tablo 4.4. Boşlukların genişlemesi teorisine N_{σ} taşıma gücü kapasitesi faktörleri	33
Tablo 4.5. Vesic Teorisine Göre N_c 'nin $\phi=0$ olması durumunda l_{tr} ile değişimi...	34
Tablo 4.6. Janbu ve Vesic yönteminde N_c ve N_q taşıma gücü faktörleri.....	35
Tablo 4.7. Meyerhof, Hansen ve Vesic taşıma kapasitesi denklemleri için taşıma kapasitesi faktörleri	37
Tablo 4.8. Terzaghi metodunda kullanılan temel şekil faktörleri	38
Tablo 4.9. Kohezyonsuz (iri daneli) zeminlerde K_s/K_o önerileri.....	44
Tablo 4.10. Kohezyonsuz (iri daneli) zeminlerde kayma direnci açısının kazık - zemin sürtünme açısına oranı için kazık tipine bağlı öneriler ...	45
Tablo 4.11. Kayaların tipik serbest basınç mukavemetleri	46
Tablo 4.12. Kayaların tipik içsel sürtünme açıları	47
Tablo 5.1. q_s ve q_p değerleri	50
Tablo 5.2. LCPC taşıma gücü faktörü k_b	55
Tablo 5.3. LCPC metodunda kazık kategorileri.....	56
Tablo 5.4. İnce daneli zeminler için LCPC parametreleri	57
Tablo 5.5. İri daneli zeminler için L_{pc} parametreleri.....	57
Tablo 5.6. Şekil 5.9 ve 5.10.'daki eğrileri seçimine yönelik tablo	64
Tablo 5.7. Kohezyonlu zeminlerde birim uç direnci değerleri	67
Tablo 5.8. Kohezyonlu zeminlerde birim çevre direnci değerleri	67
Tablo 5.9. Kohezyonsuz zeminlerde birim uç direnci değerleri	67
Tablo 5.10. Kohezyonsuz zeminlerde birim çevre direnci değerleri	68
Tablo 7.1. LCPC yönteminde uç direnci hesap derinlikleri.....	85

Tablo 7.2. LCPC yönteminde kullanılan parametreler	85
Tablo 7.3. Adapazarı örnek kesitinde LCPC yöntemi el ile çözüm sonuçları	86
Tablo 7.4. Schmertmann yönteminde uç direnci hesap derinlikleri	86
Tablo 7.5. Adapazarı örnek kesitinde Schmertmann yöntemi el ile çözüm sonuçları(1).....	87
Tablo 7.6. Adapazarı örnek kesitinde Schmertmann yöntemi el ile çözüm sonuçları(2).....	88
Tablo 7.7. Adapazarı örnek kesitinde De Ruiter ve Beringen yöntemi el ile çözüm sonuçları(1)	89
Tablo 7.8. Adapazarı örnek kesitinde De Ruiter ve Beringen yöntemi el ile çözüm sonuçları(2)	89
Tablo 7.9. Lcpc yönteminin hesaplanacağı derinlikler	92
Tablo 7.10. Lcpc yöntemi kullanılan parametreler	92
Tablo 7.11. İzmir örnek kesitinde lcpc yöntemi el ile çözüm sonuçları	93
Tablo 7.12. Schmertmann yönteminde uç direncin hesaplanacağı derinlikler	93
Tablo 7.13. İzmir örnek kesitinde Schmertmann yöntemi el ile çözüm sonuçları(1).....	95
Tablo 7.14. İzmir örnek kesitinde Schmertmann yöntemi el ile çözüm sonuçları(2).....	95
Tablo 7.15. İzmir örnek kesitinde De Ruiter ve Beringen yöntemi el ile çözüm sonuçları(1)	97
Tablo 7.16. İzmir örnek kesitinde De Ruiter ve Beringen yöntemi el ile çözüm sonuçları(2)	97
Tablo 8.1. Adapazarı PCPT-1 CPT logu program ve el ile çözüm sonuçları	98
Tablo 8.2. İzmir PCPT-3 CPT logu program ve el ile çözüm sonuçları	101

ÖZET

Anahtar Kelimeler: Derin Temeller, Kazık Kapasitesi, Kazık Kapasitesi Hesabı Yöntemleri, CPT, CPT ile Kazık Kapasitesi

Bu çalışmada; derin temel türü olan kazıklı temellerin kohezyonlu ve kohezyonsuz zeminlerde taşıma kapasiteleri kazık uç direnci ve kazık çevre sürtünmesi için literatürde geliştirilmiş olan CPT deneyi bazlı yöntemler, tablolar ve eğriler kullanılarak elde edilmektedir.

Çalışmada, koni penetrasyon deneyi (CPT) verileri kullanılarak farklı tasarım yöntemleri ile elde edilen hesap sonuçlarının nasıl değişkenlik gösterdiği araştırılmıştır. İki farklı kesitte üç farklı çap ve üç farklı boy için analizler yürütülmüştür. Analizler, CPT deney sonuçlarını kullanan kazık taşıma kapasitesi hesap yöntemlerinden olan LCPC, De Ruiter ve Beringen, Schmertmann yöntemleri ve LPD-CPT programı ile yapılmış ve sonrasında el ve yazılım hesap sonuçları karşılaştırılmıştır.

Sonuçta, yöntemlerin kabullerindeki farklılıklar nedeniyle sonuçlarda büyük farklılıklar ortaya çıktığı görülmüştür. Buradan hareketle, birden fazla yöntemle hesap yapılması ve tecrübenin de işin içine katılması önerilir.

PILE CAPACITY WITH CONE PENETRATION TEST IN ALLUVIAL SOILS

SUMMARY

Keywords: Deep Foundations, Pile Capacity, Pile Capacity Calculation Methods, CPT, Pile Capacity with CPT

In this study; the capacities of piled foundations, which are deep foundation types, in cohesive and cohesionless soils, are obtained by using methods, tables and curves based on the CPT test developed in the literature.

In the study, it was investigated how the calculation results obtained with different design methods by using cone penetration test (CPT) data differ. Analyzes were conducted for three different diameters and three different lengths in two different sections. Analyzes were made with LCPC, De Ruiter and Beringen, Schmertmann methods and LPD-CPT program, which are pile capacity calculation methods using CPT test results, and then manual and software calculation results were compared.

As a result, it has been observed that large differences in results have occurred due to differences in acceptance of methods. Based on this, it is recommended to make calculations with more than one method and to include experience.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Geoteknik açıdan taşıma gücü, oturma ve sıvılaşma problemlerinin olması durumunda derin temeller daha ekonomik olan iyileştirme seçeneği sonrasında gündeme gelen bir alternatif çözümdür. Ülkemizde geoteknik incelemeler genellikle sondajlı olarak yapılmakta, kazık kapasiteleri de sondajlar sırasında yapılan standart penetrasyon deneyi sonuçları ve sondaj sırasında alınan örselenmemiş numuneler üzerinde laboratuvar da yapılan deneylerden elde edilen kayma direnci parametreleri kullanılarak hesaplanmaktadır. Bunun yanında koni penetrasyon deneyinde (CPT) sürekli ölçüm yapılması nedeniyle kazık kapasitesinin bu deney verileri ile hesaplanmasının daha uygun olduğu da bir gerçektir. Bu çalışmada amaç; Adapazarı gibi alüvyal kökenli zeminlere sahip bir ortam ile farklı zemine sahip İzmir’den alınan örnek ile kazık kapasitesinin koni penetrasyon deneyi ile hesabının farklı yöntemlerle karşılaştırmalı olarak ortaya konmasıdır.

Adapazarı zeminleri yatayda ve düşeyde aşırı değişimler göstermekle birlikte şehrin belli bölgelerini temsil eden kesitler ortaya konabilmektedir. SAÜ tarafından Adapazarı’nda yapılmış 500’den fazla CPT deneyi datası bulunmaktadır. Literatürde CPT deneyi datası ile kazık kapasitesine yönelik Schmertmann, De Ruiter ve Beringen, LCPC vb. gibi yöntemler bulunmakta ve LPD-CPT gibi yazılımlarla da kazık kapasitesi irdelenebilmektedir. Bu tez çalışmasında öncelikle CPT deneyi ile kazık kapasitesi hesabı yapan yöntemler ortaya konmuş, sonrasında iki farklı temsili kesitte elle çözüm yapan yöntemler ve LPD-CPT yazılımı kullanılarak farklı özellikteki kazıklar için kazık kapasiteleri hesaplanarak karşılaştırmalar yapılmıştır.

BÖLÜM 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Temeller

Temeller yapının direkt olarak en alt katında yer alan kolon ya da perdelerin yüklerini zemine aktaran yapının ayaklarıdır. Kolonlar ya da perdeler zemine doğrudan oturtulamazlar. Kolon boyutları yükleri taşıyabilecek kapasitede tasarlanmalıdır. Kolonlar dayanımı düşük zeminlere direkt olarak oturtulur ise zeminde, zemindeki dayanımdan çok daha fazla gerilmeler oluşturarak zımbalama yani saplanma tehlikesi meydana getirirler. Zeminde oluşacak gerilmenin azaltılması amacıyla, kolonların alt kısımları ile zemin arasında kolonun kesitinden daha büyük olarak tasarlanan boyutta betonarme temeller inşa edilir. Tüm üstyapı tiplerinde temel her zaman betonarme yapılır, bunun sebebi ise diğer bütün malzemelerin (çelik, ahşap gibi) dayanımının zemindeki ortam koşullarına dayanıklılık sağlamaya uygun olmamasıdır [1].

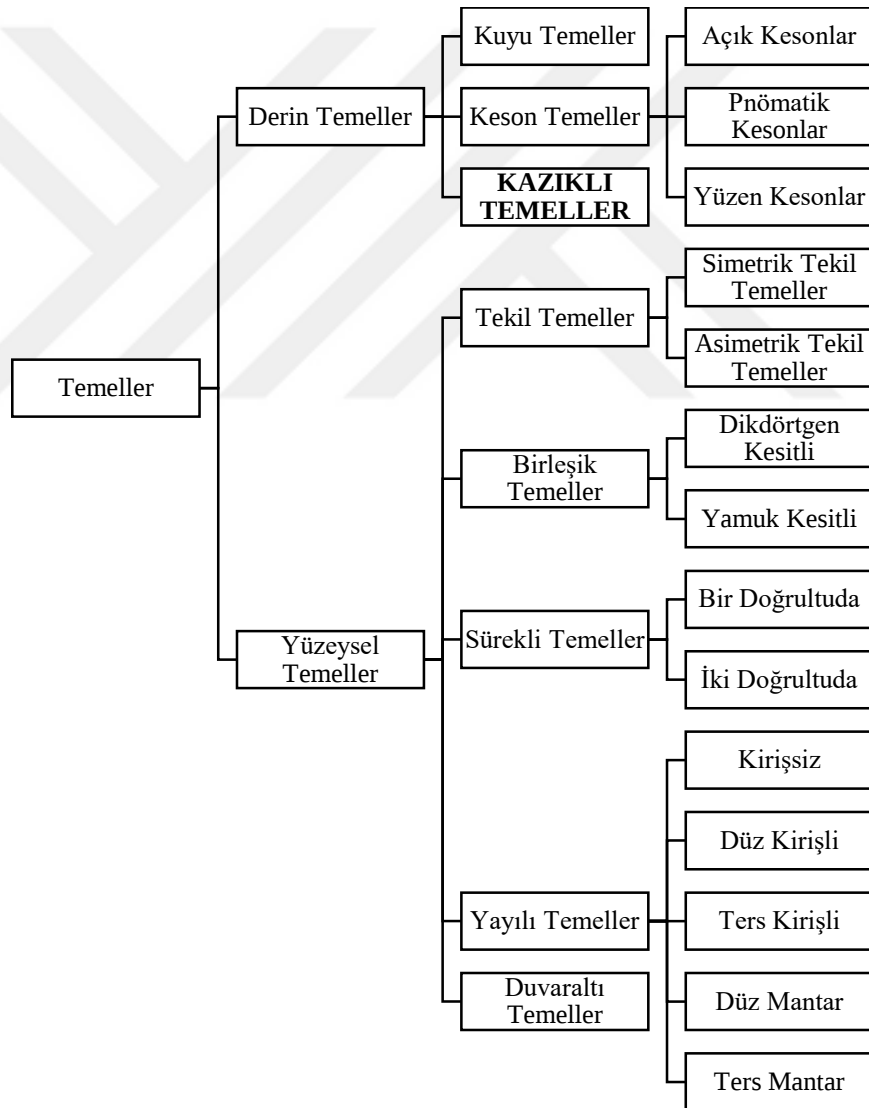
Temeller boyutları uygulanacakları zeminin özelliklerine yüksek oranda bağlıdır. Çünkü bazı zeminler sert iken bazıları yumuşak olmaktadır. Sert zeminler ıslanıp yumuşarken, bazen şişerek yüzeysel temelleri kaldırma riski taşıyabilirler, bazı göçebilir zeminlerde de temel zemin içine batabilir. Temel tasarımında amaç bütün olumsuz şartların ortadan kaldırılarak gerekli performansın sağlanmasıdır. Temel türü ve boyutu seçilirken, üzerine etkiyen yüklerin şiddeti, hangi çeşit yük olduğu, temele hangi elemanın mesnetlendiği, zemin koşulları gibi birçok faktör etkilidir. Yani temeller her ortamda ve her koşulda yeterli statik, dinamik vb. dayanımı sağlamalıdır [2].

Temel tasarımında en önemli iki unsur vardır;

- Yükleri taşıyan temelin göçmeye karşı yeterli güvenliği yani dayanımı sağlaması
- Temelde oluşan oturmalar ve farklı oturmaların, izin verilen ölçü içinde kalması

2.2. Temellerin Sınıflandırılması

Temeller genel olarak yüzeysel ve derin temeller olmak üzere ikiye ayrılırlar. Şekil 2.1.'de temellerin ayrımı şematik olarak gösterilmektedir.



Şekil 2.1. Temellerin sınıflandırılması

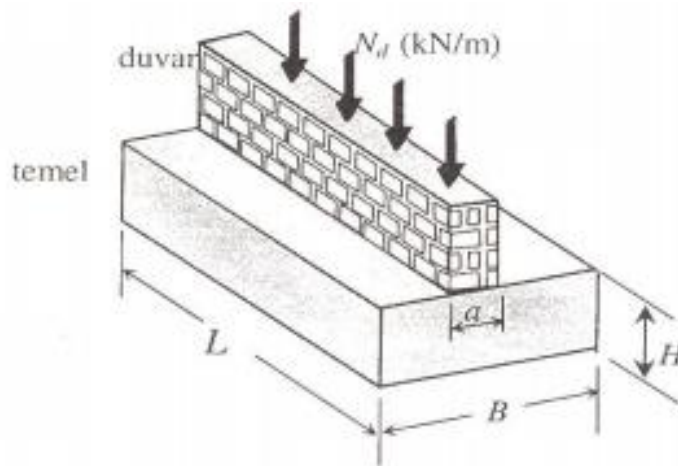
2.2.1. Yüzeysel temeller

Yüzeysel temeller, yapı yüklerinin görece düşük ve zemin özelliklerinin taşıma sınırları kapsamında yeterli olması durumunda geçerlidir. Bu temeller, kesinlikle don seviyesinin altına kadar indirilmelidir. Gömme derinliği, temelin küçük boyutundan az ise eğer yani $D_f \leq B$ ise temeller yüzeysel temel olarak adlandırılır. Yüzeysel temeller, kuru ortamda veya yer altı suyu altındaki zeminlerde uygulanabilirler [3]. Yüzeysel temeller aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir:

- Duvar altı temelleri
- Tekil temeller
- Sürekli temeller
- Birleşik temeller
- Yayılı (radye) temeller

2.2.1.1. Duvar altı temelleri

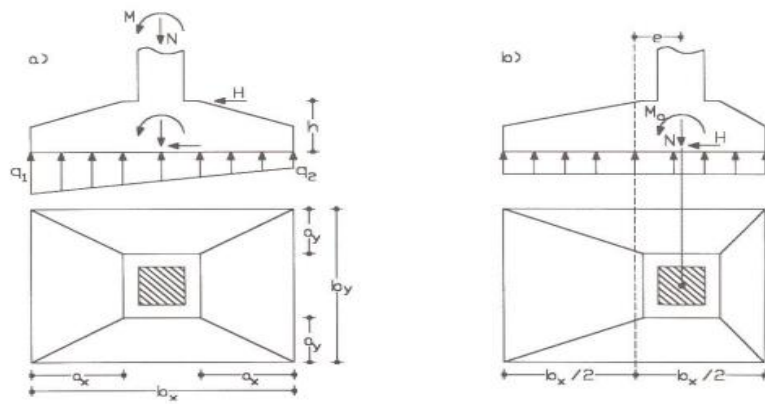
Bu temeller genel olarak kâgir yapıların taşıyıcı duvar alt kısımlarında kullanılırlar (Şekil 2.2.). Boyutlandırmada temel altında oluşan ve düzgün yayılı olarak kabul edilen zemin gerilmesi “net zemin dayanımını” geçmemelidir [4].



Şekil 2.2. Duvar altı temelleri [5]

2.2.1.2. Tekil temeller

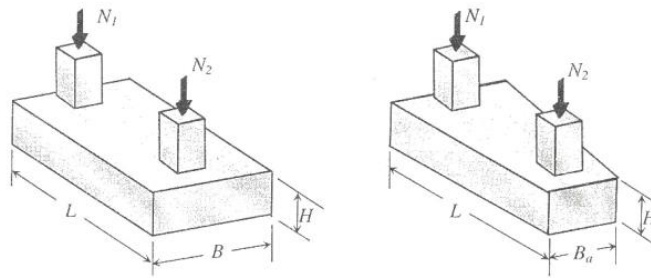
Binalarda, tüm kolonların altlarında yer alırlar. Betonarme olarak inşa edilen tekil temellerin amacı kolonların yüklerini daha geniş bir alana yayarak zemine aktarmaktır [6]. Münferit ya da ayak temel olarak da isimlendirilen bu temeller, görece iyi zeminlerde ve bina ağırlığının daha az olduğu durumlarda yapılır. Bunlar zemine, Şekil 2.3.'de görüldüğü gibi çoğunlukla kare ya da dikdörtgen, nadir olarak da daire veya çokgen taban olarak oturtulur [7].



Şekil 2.3. a) Simetrik, b) simetrik olmayan tekil temel [8]

2.2.1.3. Birleşik kolon temeller

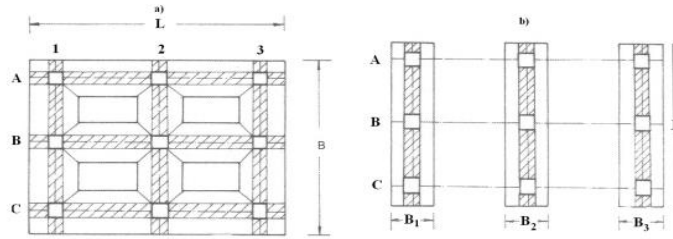
İki kolon birbirine yakın ya da yüklerinin büyük olduğu koşullarda bu kolonların temellerinin çakışma durumu vardır. Böyle durumlarda sürekli temel yapılamıyorsa, iki temel birleştirilerek Şekil 2.4.'deki gibi birleşik temel uygulanabilir [4].



Şekil 2.4. Dikdörtgen ve yamuk taban alanlı birleşik temellerin genel görüntüleri [5]

2.2.1.4. Sürekli temeller

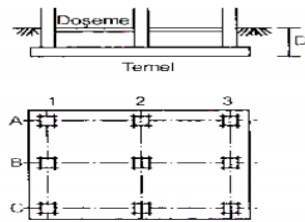
Eğer kolon veya perdelerin yükleri tek ya da iki yönde aynı temele taşıtılıyorsa ve aynı zamanda $L > 5B$ ise bu temeller sürekli temel olarak adlandırılır. Sürekli temeller zeminlerin özelliklerine göre Şekil 2.5.'teki gibi çift veya tek yönde sürekli olarak yapılırlar. Deprem yönetmeliğinde temellerin tüm durumlarda bağ kirişi ile desteklenmesi şartı yer almaktadır [9].



Şekil 2.5. a) Çift yönde, b) tek yönde sürekli sürekli temeller [9]

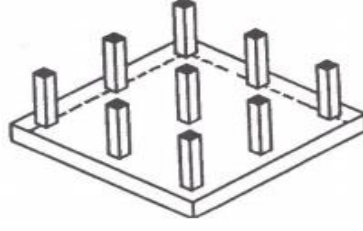
2.2.1.5. Yayılı (radye) temeller

Düşük taşıma güçlü ve yüksek sıkışabilirlikli zeminlerde, dolgu ortamlarda ya da perde duvarlarla kolonların birbirlerine oldukça yakın mesafede bulunduğu durumlarda tekil ve sürekli temeller yeterli olmayabilir. Dolayısıyla, bu gibi durumlarda yayılı temel tiplerinden birini seçerek uygulama yapmak gerekir. Şekil 2.6.'da yayılı teme le ait plan ve kesit görülmektedir [7].



Şekil 2.6. Yayılı temel [10]

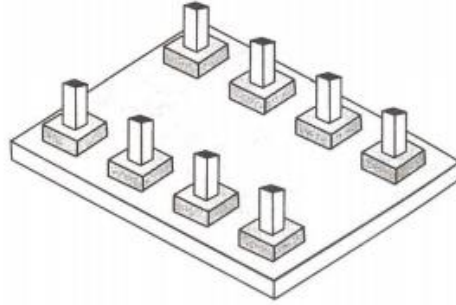
Kirişsiz (plak) radye temel, genel olarak duvarlar ya da kolonlar birbirine yakın mesafede ve yüklerinin az olduğu durumlarda kullanılır. Bodrum katlarda düz bir alan sağladıkları için bu temellerin uygulandığı yapıların bodrum katlarının kullanımı sağlıklı olmaktadır. Şekil 2.7.'de kirişsiz radye teme le ait şekil gösterilmektedir [3].



Şekil 2.7. Kirişsiz radye temel [9]

Kirişli radye temel, duvar veya kolonlar arasındaki mesafe fazla ise uygulanır. Kirişli radye temelde kirişlerin rijitliği artırıcı etkisinden dolayı plak kalınlığı azalır [7].

Kolon yüklerinin aşırı yüksek olduğu durumlarda bu yerlerde yüksek kesme kuvvetleri oluşur. Mantar şeklinde radye temel, kolon yüklerini daha geniş alana yayarak radye temele aktarabilmek için Şekil 2.8.'de görüldüğü gibi kolonların alt uç noktalarında kalınlık artırılarak inşa edilir. Dolayısıyla zımbalama sorununun ortadan kalkması sağlanır [5].



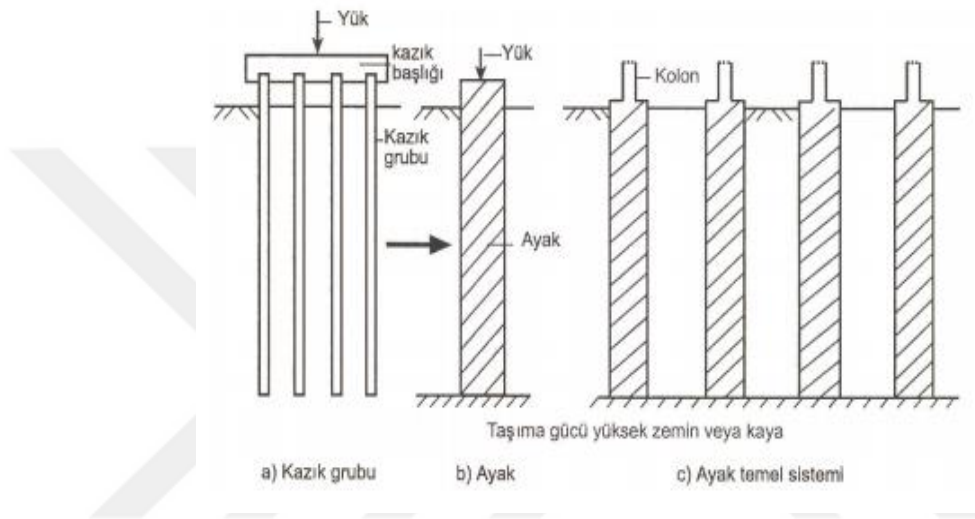
Şekil 2.8. Rijit temel [5]

2.2.2. Derin temeller

Genel olarak yüzeysel temellerin üst yapı yükünü taşıyamaması durumunda veya oturma değerlerinin sınırın üstünde olması ya da farklı oturmalarından kaynaklı durumlarda iyileştirme seçeneğinden sonra derin temeller tercih edilir [11].

2.2.2.1. Ayak (kuyu) temeller

Genel olarak betonarme olarak inşa edilirler. Ayaklar, Şekil 2.9.'daki görüldüğü şekliyle, kare biçimli ya da çan biçiminde yapılır. Açık temelin çukurunda uygulanan kuyu temellerin üst tarafları birbirlerine betonarme kirişler yardımıyla bağlanarak uygulanır [7].



Şekil 2.9. Ayak temeller [6]

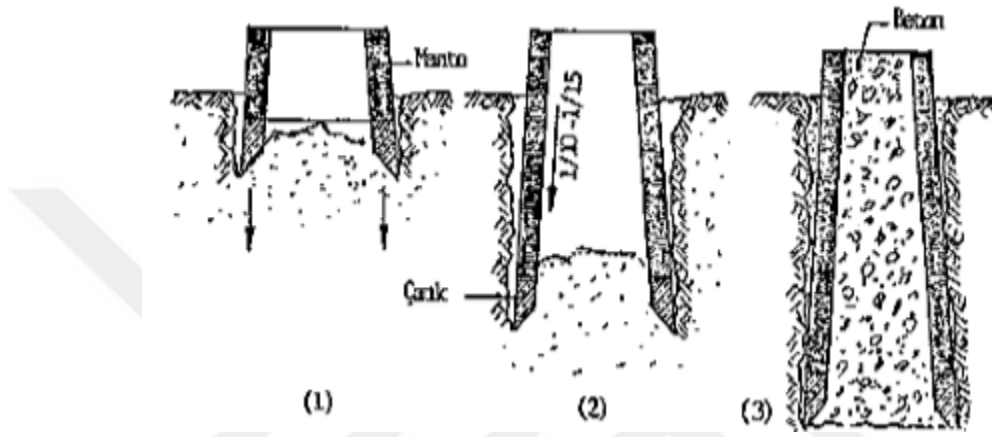
2.2.2.2. Keson (kutu) temeller

Keson temeller, zeminin üzerine içleri boşluk olacak şekilde uygulanır. Aynı zamanda ağırlığından faydalanılarak uygun görülen derinliğe indirilir. Genel olarak köprü ayaklarında, deniz fenerlerinde, dalga kıran gibi yapılarda inşa edilir [7].

Genel olarak; açık kesonlar, pnömomatik kesonlar ve yüzen kesonlar (yüzen sandıklar) şeklinde uygulanır.

Dairesel kesitli olan açık kesonların çapları 1,5-2,0 metredir. Çarıklar farklı malzemelerden yapılabilirler (betonarme çarık, ahşap çarık, demir çarık gibi) ve temelin üzerine yerleştirilirler. Çarık üzerine farklı malzemelerle duvar yapılır veya kalıba döküm sağlanır. Her 1,0- 1,5 m'de duvarın bağlantı bölgesini sağlamlaştırmak

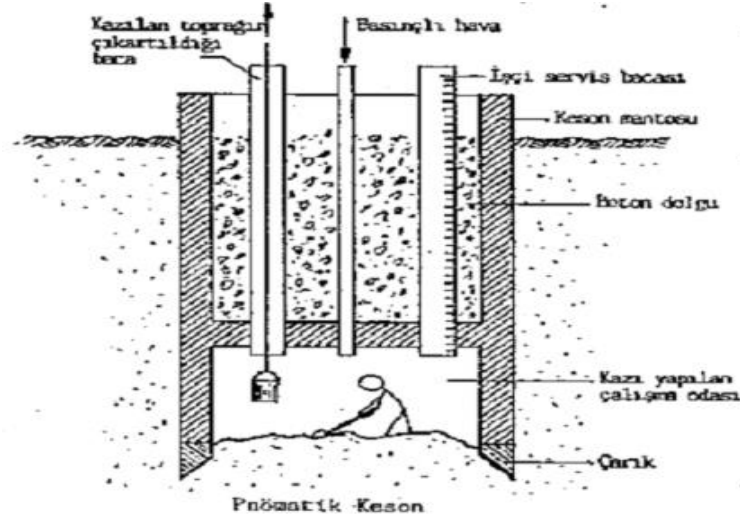
için hatıl uygulanır. Böylece sürekli kesonun içinde yer alan zemin kazılır ve dışarı çıkartılarak mantonun alt kısmı boşaltılmış olur. Ağırlığından dolayı aşağıya doğru inen kesonun üst seviyesi zemin yüzeyine inince tekrar aynı işleme devam edilerek sağlam tabakaya ulaşılmaya çalışılır. Sürtünmenin azalması için manto duvarının içeri yönde 1/10-1/15 eğimle daraltılıp devam etmesi gerekir. Şekil 2.10.'da açık kesonlara ait kesit gösterilmektedir [11].



Şekil 2.10. Açık kesonlar [12]

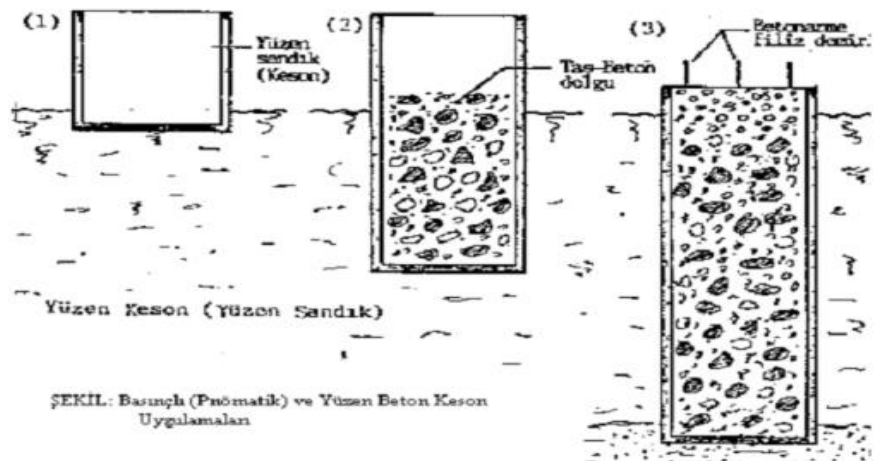
Pnömatik kesonlar, yeraltı suyu yüksek olan yerlerde uygulanır. Buradaki amaç imal edilecek temelin, kesonun altındaki çalışma odası yerindeki zemin suyunu yenebilecek hava basıncı ile doldurarak kuru ortam sağlanıp zemin kazım işlemi esnasında ağırlığından dolayı kesonun çökmesi ile sağlam kısma ulaşmasını sağlamaktır.

Çelikten, ahşaptan ya da betonarmeden imal edilebilen pnömatik kesonlar 30 m derinliğe kadar uygulanabilmektedir. Şekil 2.11.'de pnömatik kesona ait kesit gösterilmektedir [11].



Şekil 2.11. Pnömatik (hava basınçlı) kesonlar [12]

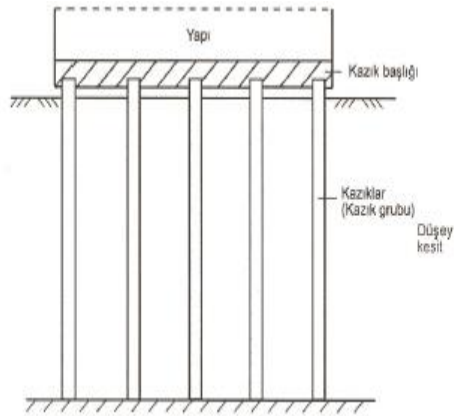
Yüzen kesonlar, tamamı su içerisinde yüzen balçık zeminlerde uygulaması yapılan kesonlardır. Bunlar “yüzen sandık” olarak da isimlendirilmektedirler. Hazırlığı dışarıda yapılan, alt ve yan tarafları kapalı olan beton sandık kesonlar, temel ya da sömel uygulaması istenilen noktaya getirilir ve yerleştirmesi yapılır. Kesonun içerisine farklı malzemeler konularak kendini tutamayan zeminde aşağı yönde çökmesi gerçekleştirilir. Uygun görülen dayanımı yüksek zemin tabakasına ulaşıldıktan sonra kesonun geri kalan boşluklarını doldurma işlemi yapılır. Böylece işlem son bulur. Şekil 2.12.’de yüzen kesonların kesiti yer almaktadır [11].



Şekil 2.12. Yüzen kesonlar [12]

2.2.2.3. Kazıklı temeller

Yapının yükü, zemine kazık ucundan sağlanan direnç ve kazığın yan yüzlerinde oluşacak sürtünmelerden kaynaklanarak iletilir. Zeminde birbirlerine yeterli aralık ve mesafede yerleştirilirler. Şekil 2.13.'de görüldüğü gibi kazıkların üst kısımları birbirine kazık başlığıyla bağlanır [7].



Şekil 2.13. Kazıklı temelli yapı [6]

Kazıklı temeller birçok kazıktan oluşabilir (kazık grubu). Kazıklar, silindirik ya da farklı şekillerde olabilirler. Ahşap, betonarme veya çelikten imal edilebilirler. Kazıklar ya hazır olarak zemine çakılırlar ya da zeminde çeşitli yollarla kaplamalı veya kaplamasız olarak uzun silindirik boşluk oluşturulması sonrasında içine donatı konularak ve içine beton dökülerek imal edilirler [6].

Kazıklı temeller yapım yöntemine göre, imal edildikleri malzemeye göre, yük alış şekline göre, uygulama şekline göre, yerleşim özelliklerine göre vb. gibi birçok şekilde sınıflandırmaya tabi tutulurlar. Kazıkların genel şekliyle sınıflandırmasına üçüncü bölümde yer verilmiştir.

BÖLÜM 3. KAZIKLAR

3.1. Kazıkların Tarihçesi

Kazıkların insanlık tarafından kullanımı yaklaşık 2000 yıllık bir yıllık geçmişe sahiptir. Büyük İskender ve Romalıların kazıkları kullandıkları bilinmektedir. Çin’de Hun İmparatorluğu (M.Ö.200-M.S.200) zamanında Çin’de de köprülerin inşasında kazıklar kullanılmıştır [1].

Sanayi devrimi sırasında buhar gücünün de etkisiyle yapım yöntemleri çok hızlı gelişme göstermiştir. Bu süreçte kazıkla ilgili malzemeler iyileştirilmiş ve daha uygun şekle getirilmiştir. 1890’larda ağaç yerine çelik ve donatılı beton kullanılmaya başlanmış, daha fazla dayanım sağlayabilecek kazıkların yapımı sağlanmış ve çakma cihazları geliştirilerek, kazıklara uygulama imkânı sağlanmıştır. Geliştirilen bu temel yapıları, bugünkü büyük yapıların birçoğunun yapımına imkân tanımıştır. Günümüzde kazıklı temeller oldukça zor zemin koşullarında dahi büyük yükleri taşıma kapasitesine sahiptirler. En önemli kazık kullanımına denizde yer alan petrol istasyonları örnek gösterilebilir. Bu kazıklar, 3 metreye kadar çapa sahip olabilirler. Aynı zamanda rüzgâr, deprem, dalga vb. gibi birçok başka etkene de karşı koymaktadırlar [13].

3.2. Kazıkların İşlevleri

Kazıklar, üst yapının yüklerini taşıma kapasitesi yüksek olan derin zemin tabakalarına aktaran ahşap, beton veya çelikten yapılan elemanları olan bir “derin temel” çeşididir.

Kazıklar, üst yapıdan aktarılan yüklerin yüzeysel temeller tarafından karşılanamayacağı durumlarda uygulanır. Yüzeysel temellerin kullanımının uygun olmadığı düşük kayma dirençli zeminlerde veya oturmanın fazla olması gibi durumlarda kazıklı temeller uygulanabilir. Kazıklar, temel elemanı olarak görev yaptıkları için üst yapı yüklerini zemine aktarırlar [14].

3.3. Kazıkların Kullanım Alanları

Kazıklar uygulamada bir çok farklı amaç için farklı şekillerde kullanılmaktadır (Şekil 3.1.).

Kazıklar, üst yapıdan aktarılan yükleri derinlerdeki sağlam tabakalara güvenli bir şekilde aktararak yeterli taşıma kapasitesine ulaşmak amacıyla uygulanabilirler. Bu kazıklar genel olarak uç kazıklarıdır.

Sürtünme kazıkları, üst yapıdan gelen yükleri zeminlere yanal sürtünme kuvveti yardımıyla aktarmak için kullanılırlar. Bu kazıklarda yük, kazık boyunca kazık cidarlarında oluşan sürtünme kuvvetleri ile aktarılır.

Kazıkların başka bir kullanım yöntemi; gevşek ve granüler türdeki zeminlerde taşıma kapasitesini artırmak amacıyla kazıkları zemine çakarak zemini kompakte etmektir. Bu tür kazıklar kompaksiyon kazıklarıdır.

Kazıklar, hidrostatik basınç ya da eğilme momenti etkisindeki yapılarda direnci sağlamak amacıyla ve bu sebeple oluşabilecek hasar ve yıkımların olmasını önlemek amacıyla eğimli olarak zemine çakılarak inşa edilebilirler. Yani çekme gerilmelerini karşılamak amacıyla uygulanırlar.

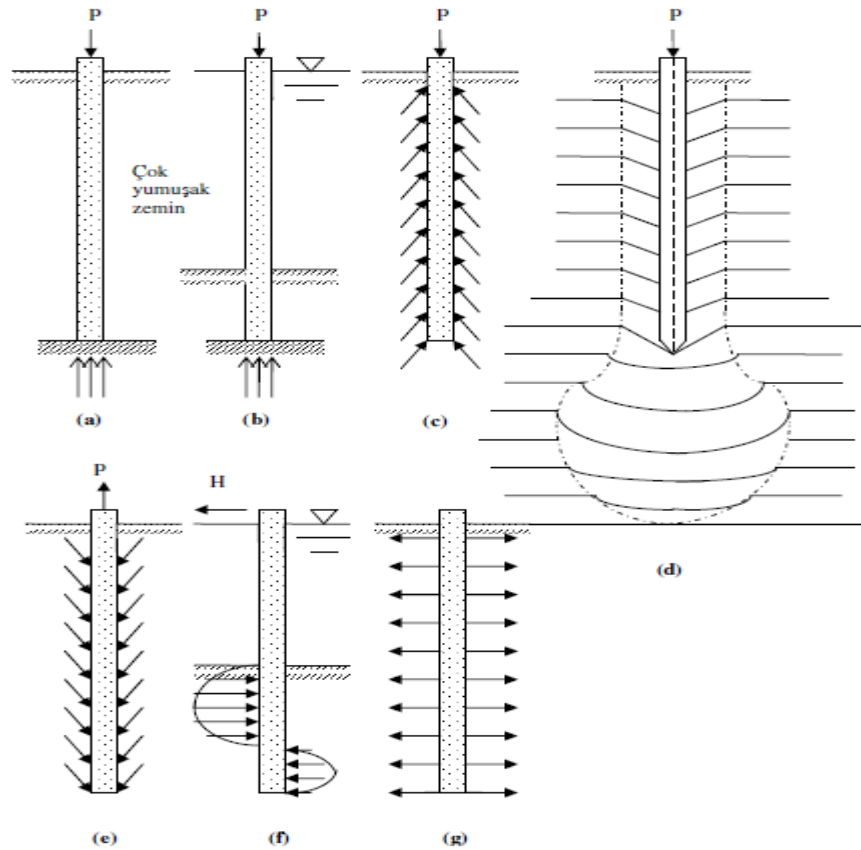
Kazıklar, erozyon bölgesinde (köprüler, kenarlar ve orta ayaklar gibi) üst yapının yüklerini erozyondan uzak olan etkilenmeyecek derinlikteki tabakalara taşıtmak için de uygulanabilirler.

Kazıklar, sahil bölgesine yapılacak yapılarda yüzen cisimlerin darbelerine karşı yapıları bu darbelerden korumak amacıyla uygulanabilirler. Bu kazıklar tampon kazıklardır ve yerleşimi sık bir şekilde inşa edilmektedir.

Kazıklar, üst yapıdan aktarılan çekme gerilmelerini taşıyabilmek için uygulanabilirler. Bu kazıklar ankraj kazıklarıdır.

Kazıklar, büyük hacimli ya da eğik kuvvetlerin zemine güvenli şekilde aktarılabilmesi için uygulanabilirler. Bu kazıklar eğik kazıklardır.

Kazıklar, kule, deniz platformu gibi deniz yapılarında ve yeraltı su seviyesi altındaki radye temellerde maruz kalınan kaldırma kuvvetlerinin etkisini karşılamak amacıyla uygulanabilirler. Bu kazıklar uzun kazıklardır [15].



Şekil 3.1. Kullanılma amaçlarına göre kazık tipleri; (a), (b) uç kazığı, (c), (d) sürtünme kazığı, (e) çekme kazığı, (f) ankraj kazığı, (g) sıkıştırma kazığı [16]

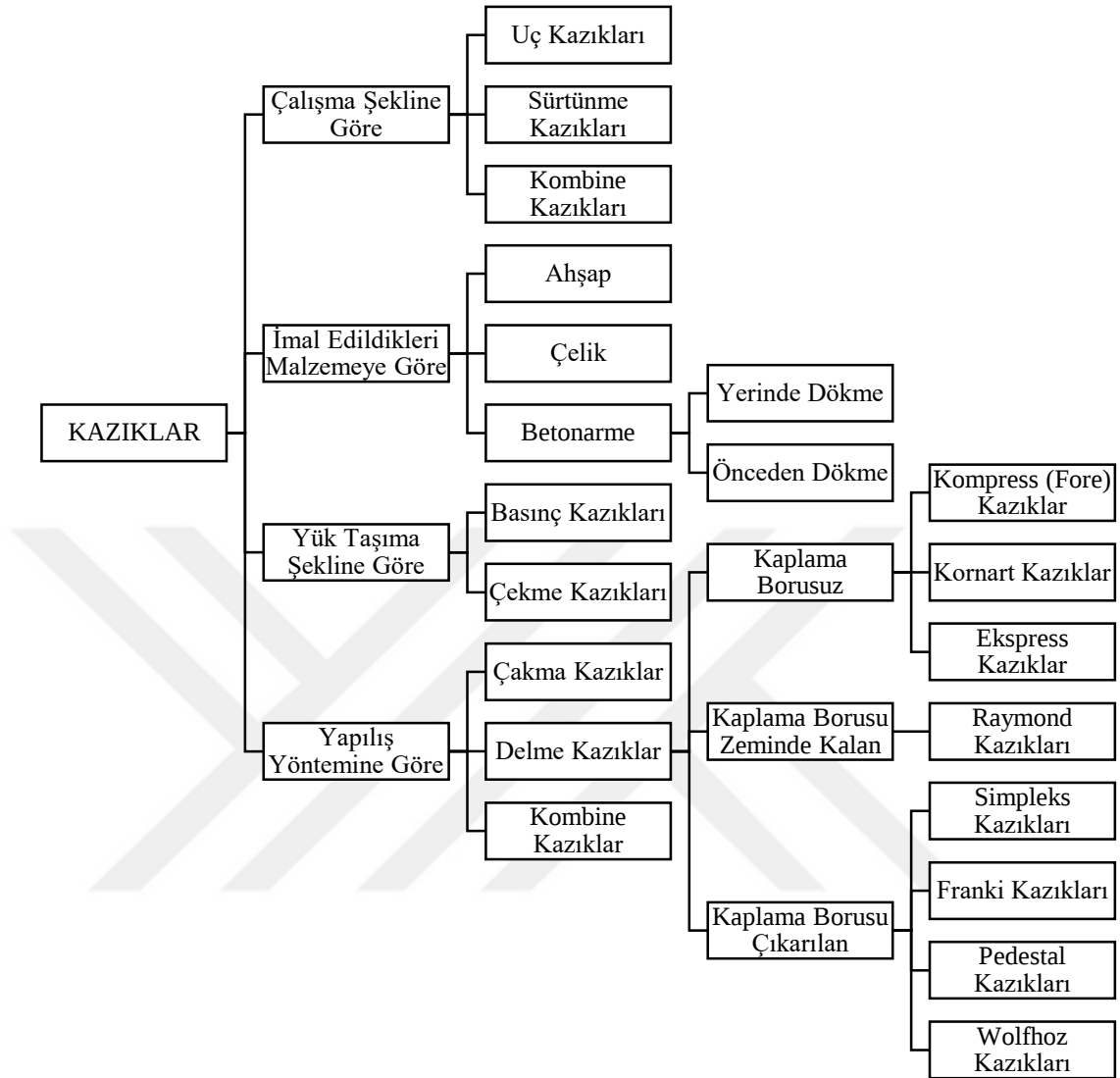
3.4. Kazık Seçimini Etkileyen Faktörler

Kazık seçiminde şu faktörler belirleyici rol oynamaktadır:

- Ekonomi
- Kazık boyu
- Zemin şartları
- Kazıkların hazırlanma şekli
- Kazıkların çakılma hızı
- Kazık başlarının kolay kesilmesi veya uygun olarak emniyete alınması
- Kazık sayısının artma kolaylığı
- Mevcut yere ilave kazık olmasında önceden imal edilmiş kazıkların özellikleri
- Eğimli yerlerde kazıkların belli açılarda çakılabilmesi hızı
- İşveren ile yüklenicinin tecrübe ve donanımı [17].

3.5. Kazıkların Sınıflandırılması

Birçok şekilde sınıflandırılabilen kazıklı temeller için örnek bir sınıflandırma Şekil 3.2.'de gösterilmektedir.



Şekil 3.2. Kazıkların sınıflandırılması

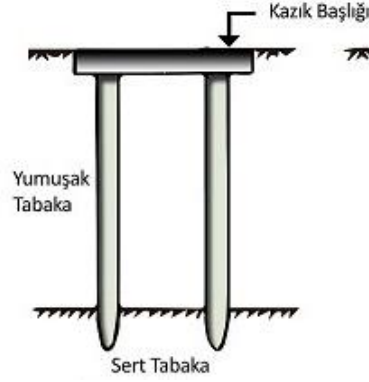
3.5.1. Çalışma şekline göre kazıklar

Kazıklar çalışma şekline göre uç kazıkları, sürtünme kazıkları ve kombine kazıklar olarak gruplandırılabilirler.

3.5.1.1. Uç kazıkları

Uç kazıkları yükün büyük bir bölümünü veya tamamını uç kısımlarıyla sağlam zemine aktarırlar. Şekil 3.3.'de görüldüğü gibi sağlam zemin en altta ve üstündeki

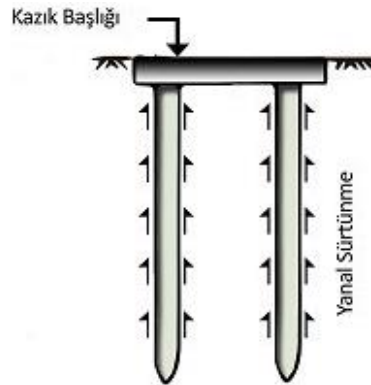
tabaka oldukça zayıf ise yükü uç kısımlarıyla taşıyan bu kazıkların kullanılması gereklidir [11].



Şekil 3.3. Uç kazığı [18]

3.5.1.2. Sürtünme kazıkları

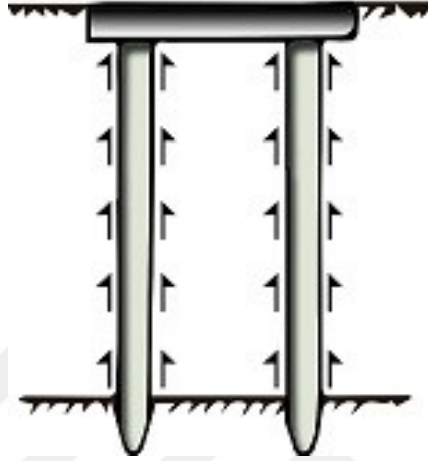
Sürtünme kazıkları, yükün tamamını yanal yüzeylerinde taşıyarak zemine aktaran kazıklardır. Şekil 3.4.'de gösterildiği gibi bu kazıklar, kohezyonsuz zeminlerde uygulanır. Çakım işlemi sırasında meydana gelen titreşim kumu sıkıştırarak kumun blok halinde davranmasını sağlar ve özellikle grup kazıklarında toplam kapasite tekil kazık kapasiteleri toplamından yüksek çıkabilir. [11].



Şekil 3.4. Sürtünme kazığı [18]

3.5.1.3. Kombine kazıklar

Kombine kazıklar üzerine gelen yüklerin bir kısmını kazığın uç kısmıyla, bir kısmını da yanal yüzeylerdeki sürtünme ile taşıyarak zemine aktaran kazıklar olarak adlandırılırlar. Şekil 3.5.'de kombine kazık gösterilmektedir [11].



Şekil 3.5. Kombine kazık [18]

3.5.2. İmal edildikleri malzemeye göre kazıklar

Kazıklar imal edildikleri malzemelere göre ahşap, çelik ve betonarme kazıklar olarak sınıflandırılabilirler.

3.5.2.1. Ahşap çakma kazıklar

Ahşap çakma kazıklar, Şekil 3.6.'da görüldüğü gibi uzun düz ağaç gövdelerinden kolaylıkla yapılırlar ve oldukça ekonomiktirler. Genellikle 20-25 cm çaplı ahşap kazık kapasitesi 20-30 tondur. Eğer kazık zemin içinde yer alıyorsa ve devamlı su seviyesi altındaysa problem teşkil etmez. Eğer su seviyesinin üstünde ise, ahşap kazığının ömrünün uzatılması amacıyla kimyasal maddelerle kaplanması gereklidir [19].



Şekil 3.6. Ahşap kazık [16]

3.5.2.2. Çelik çakma kazıklar

Çelik çakma kazıklarda amaç yüksek yük taşıma kapasitesine ulaşmaktır. Dairesel, H veya I şekillerinde uygulanabilirler. Kesiti daireysel olan kazıkların uçları kapalı veya açık olabilir. Genellikle içi betonlanır. Dış faktörlerden korumak amacıyla, dışları bitümlü malzemelerle kaplanabilir ya da betondan oluşan dış kaplamanın içine alınabilirler. Şekil 3.7.'de çelik çakma kazığa ait uygulama gösterilmektedir [19].



Şekil 3.7. Çelik çakma kazık [16]

3.5.2.3. Betonarme kazıklar

Betonarme kazıklar en yaygın kullanılan kazıklardır. Zemin içerisindeki sudan etkilenmezler, aynı zamanda istenilen uzunlukta imal edilebildiklerinden dolayı diğer kazıklardan üstündürler. Genellikle önceden dökme ve yerinde dökme kazıklar olarak uygulanmaktadır.

Şekil 3.8.'de örnek olarak gösterilen Önceden Dökme (Prekast) Betonarme Kazıklar genel olarak kare kesitli, daire kesitli ya da sekizgen şeklinde hazırlanırlar. Gerekli kazık boyu, çapı ve dayanım özellikleri sağlanacak şekilde prefabrike olarak imal edilir ve şantiye alanına nakil edilirler.

Tercihe göre ön germe uygulaması yapılabilmekte aynı zamanda kazıklar kaldırılırken meydana gelecek eğilme momentleri için yeterli dayanım sağlanabilmektedir. Kazık uçları çelik çarıklar ile ve kazık başları da çoğunlukla çelik yastıklar ile korunarak çakılırlar [16] .



Şekil 3.8. Önceden dökme (prekast) kazıklar [11]

Kılavuz veya kılıf olarak isimlendirilen koruma borusu, itilerek ya da çakılarak zemine yerleştirildikten sonra iç kısmı boşaltılarak donatı yerleştirilir ve daha sonrasında da beton dökümü gerçekleştirilir. Zeminin içerisinde imali gerçekleşen bu kazıklara yerinde dökme betonarme kazıklar denilmektedir. Şekil 3.9.'da yerinde dökme kazıkların uygulamasına yönelik örnek gösterilmektedir [11].



Şekil 3.9. Yerinde dökme kazıklar [11]

3.5.3. Yapım yöntemine göre kazıklar

Kazıklar yapım yöntemlerine göre delme ve çakma kazıklar olarak ikiye ayrılırlar.

3.5.3.1. Çakma kazıklar

Zemine çakılarak imal edilen kazıklardır. Ahşap, çelik, betonarme ya da öngermeli betondan tek seferde ya da parçalara ayrılmış olarak hazırlanabilirler. Şekil 3.10.'da çakma kazıklara ait uygulama örneği gösterilmektedir [11].



Şekil 3.10. Çakma kazıklar [11]

3.5.3.2. Delme kazıklar

Delme kazıklar, çakma kazıktaki gibi önceden imal edilerek zemine çakılmazlar. Önce zemin delinerek boşluk açılır ve buraya da temel malzemesi yerleştirilerek kazıkların imalatı yerinde yani zeminde yapılır. Şekil 3.11.'de fore kazık uygulamasına ait örnek gösterilmektedir.



Şekil 3.11. Delme kazıklar [20]

Kaplama borusuz kazıklar, kaplama borusu zeminde kalan kazıklar ve kaplama borusu çıkartılan kazıklar olmak üzere üçe ayrılırlar.

Kaplama borusuz delme kazıklar, yeraltı suyu bulunmayan ortamlarda kendini tutabilen zeminlerde kullanılabilirler. Kompres, Kornart ve Ekspres kazıkları kaplama borusuz kazıklara örnek olarak verilebilir

Kaplama borusu zeminde kalan delme kazıklar, gevşek, kendini tutamayan ortamlarda uygulanan kazıklardır. Raymond, Monotüp, Mac-Arthur, Mast, Stern, Jansen, Abalorenz, Benoto kazıkları bu kazık tipine örnek olarak verilebilir [11].

Kaplama borusu çıkarılan delme kazıklar, yer altı suyu altındaki gevşek zeminlerde tercih edilirler. Kalınlığı 1 cm ile 2 cm arasında değişen kaplama borusu zemin içine çakılarak içindeki boşluğa, eğer gerek duyuluyorsa betonarme donatı yerleştirilerek üzerine beton dökülür. Bu esnada kaplama borusu kademeli bir şekilde üst kısma çekilir. Simpleks, Franki, Pedestal ve Wolfholz kazıkları, kaplama borusu çıkarılan delme kazıklara örnek olarak gösterilebilir [11].

3.5.4. Yükleri taşıma şekline göre kazıklar

Yükleri taşıma şekline göre kazıklar basınç kazıkları ve çekme kazıkları olmak üzere ikiye ayrılırlar.

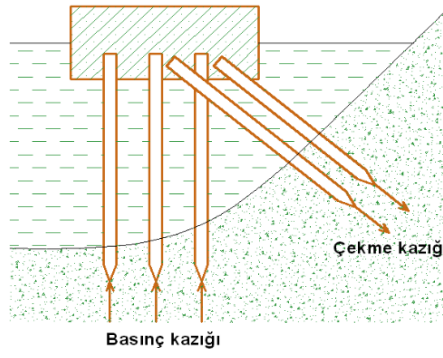
3.5.4.1. Basınç kazıkları

Basınç kazıklarının amacı yükleri eksenleri doğrultusunda zemine aktarmaktır.

3.5.4.2. Çekme kazıkları

Genel olarak eğik doğrultuda uygulanan sürtünme kazıkları olarak çekme kuvvetine çalışırlar. Kazıkların uygulaması zemine dikey ya da eğik konumda çakılarak

gerçekleştirilir. Şekil 3.12.'de basınç ve çekme kazıklarının uygulama şeması gösterilmektedir.

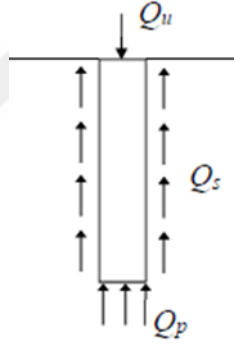


Şekil 3.12. Basınç ve çekme kazıkları [11]

BÖLÜM 4. KAZIKLARIN TAŞIMA GÜCÜ HESABI

4.1. Düşey Statik Yükler Altında Kazıkların Taşıma Gücü

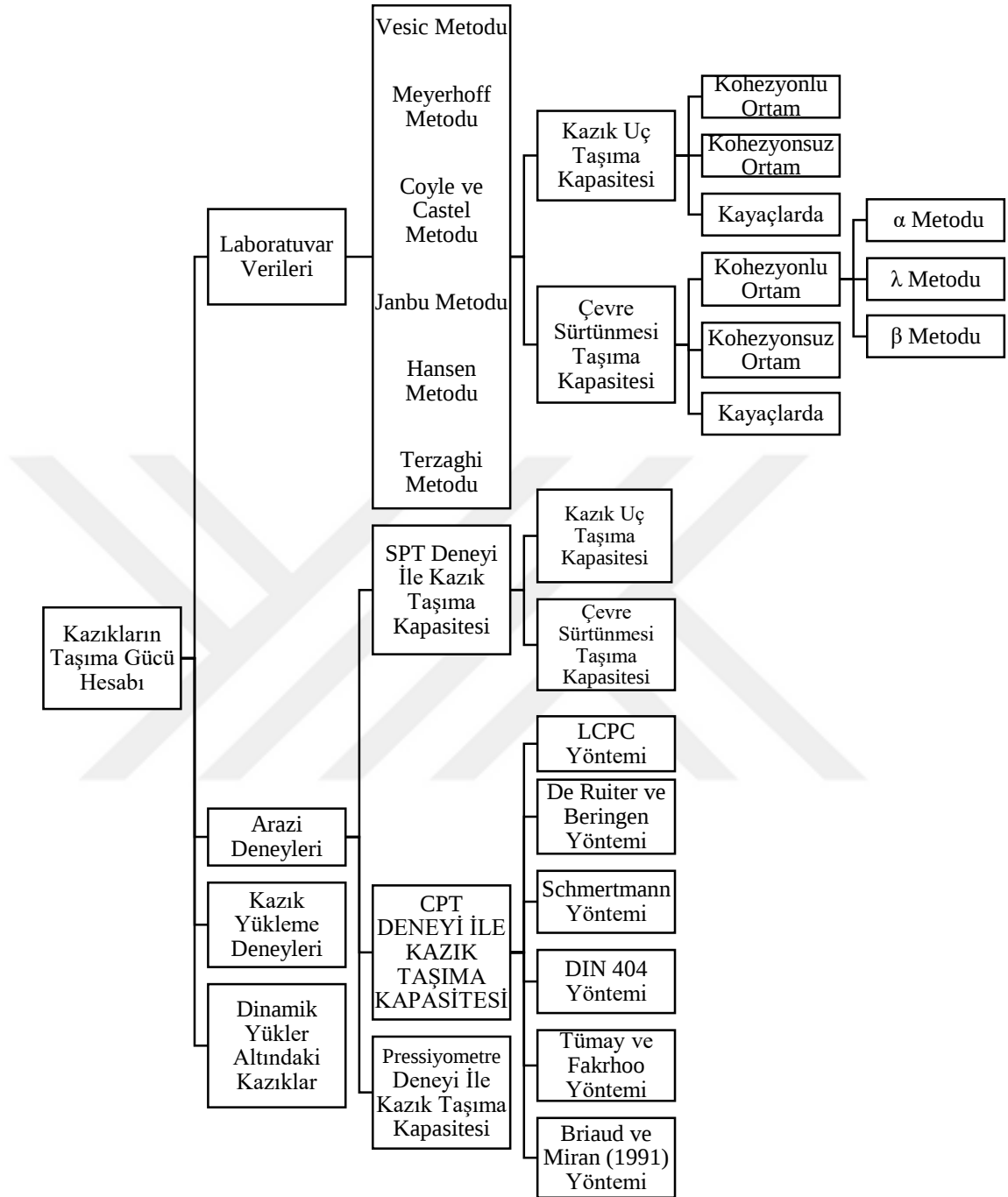
Kazığın taşıma gücünü belirleyen iki etken vardır; bunlar kazık-zemin etkileşimi ve kazık malzemesinin mukavemetidir. Kazık malzemesinin mukavemeti, kazığa uygulanan yüke karşı koyamıyorsa, kazık-zemin etkileşiminden elde edilen güç yeterli olsa da kazık göçmüş kabul edilir. Şekil 4.1.'de kazığın yük iletme biçimi gösterilmektedir [21].



Şekil 4.1. Bir kazığın yük iletme şekli [2]

Kazık taşıma gücü hesabı; arazi deneyleri ile korelasyon yöntemleri, laboratuvar verileri ile statik hesap yöntemleri, dinamik hesap yöntemleri ve kazık yükleme deneyi yöntemleri olmak üzere 4 şekilde yapılır. Bunlar yanında, son yıllarda gerçeğe yakın çözümler sunmasıyla dikkat çeken, kullanım alanı ve güvenilirliği artan sonlu eleman yazılımları ile de çözümlemeler yapılabilmektedir.

Kohezyonlu veya kohezyonsuz ortamda uç taşıma ve yüzey sürtünmesi hesaplarına göre kazık kapasitesi hesap yöntemleri sınıflandırması Şekil 4.2.'de gösterilmektedir.



Şekil 4.2. Tekil kazıkların hesap yöntemlerinin sınıflandırılması

Statik kazık hesabı yöntemleri, yüzeysel temelerde uygulanan kırılma hipotezine dayanır ve bu kazık formüllerinde kapasite, kazık ucunun zeminde karşılaşıacağı dirençle kazık çevre yüzeyinde oluşan sürtünme kuvvetlerinin toplamına eşittir.

Kazık taşıma gücü hesabı yapılırken çevre sürtünmesiyle uç direncinin aynı zamanda maksimum seviyeye ulaştığı kabul edilerek işlemler yapılır. Kazığın maksimum taşıma gücü aşılsa kazık göçmüş olarak ele alınır.

Kazık göçmesi; kazığın kendisine uygulanan yük artışına karşılık veremeyecek durumda olması ya da toplam oturma miktarının kazık çapının %10'una ulaşması olarak tarif edilebilir [9].

$$Q_u = Q_s + Q_p - W_p \quad (4.1)$$

Burada Q_u kazık maksimum taşıma gücünü, Q_s kazığın çevre sürtünmesini, Q_p kazığın uç direncini ve W_p kazık öz ağırlığını ifade etmektedir.

Kazığın güvenilir taşıma gücünün hesaplanabilmesi için maksimum taşıma gücü bir güvenlik katsayısına bölünür. Bu güvenlik katsayısı kazık imalat kalitesi ile zeminin özelliklerine bağlıdır. İmalattaki kalite ile zemin özelliklerinin belirlenme kolaylığı arttıkça güvenlik katsayısında azalma olur [21].

$$Q_{all} = \frac{Q_u}{FS} \quad (4.2)$$

Burada Q_{all} güvenli kazık taşıma gücünü, Q_u kazığın azami taşıma gücünü ve FS güvenlik faktörü ifade etmektedir.

4.2. Tekil Kazıkların Düşey Taşıma Gücünün Laboratuvar Verileri ile Hesabı

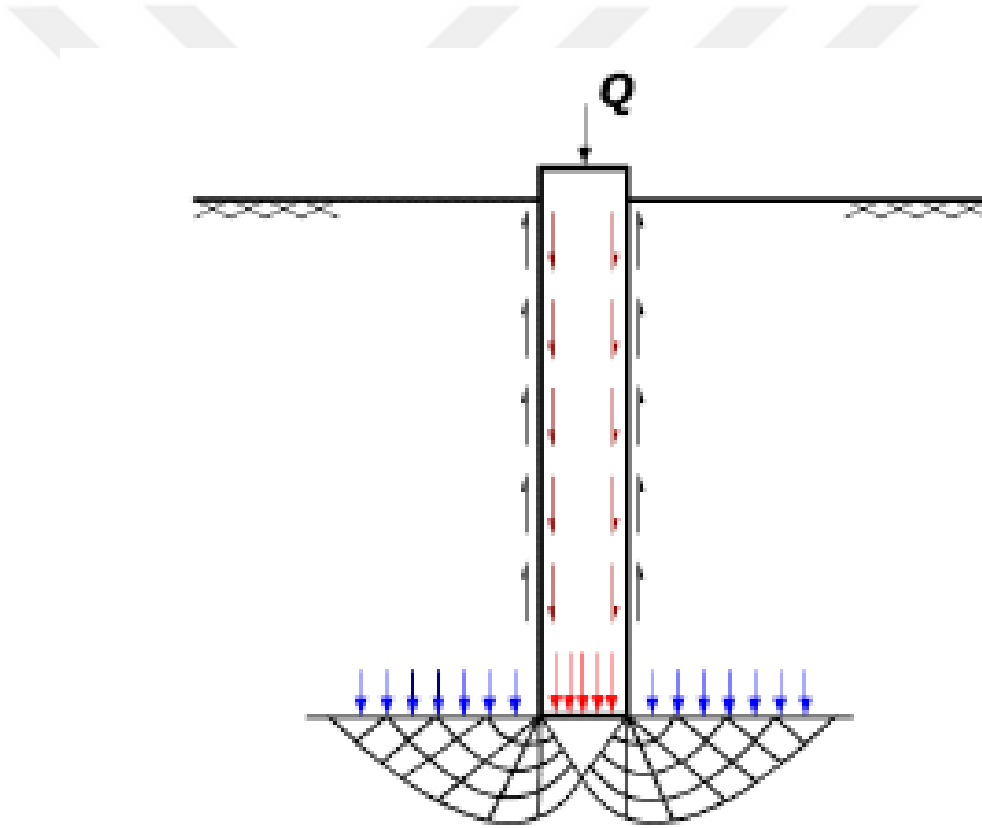
Tekil kazıklarda uç kazık taşıma kapasiteleri ile ilgili birçok metot vardır. Zeminleri kohezyonlu ve kohezyonsuz zeminler olarak sınıflandırarak Meyerhof, Vesic, Janbu, Coyle ve Costel, Terzaghi, Hansen gibi birçok metotla kazık taşıma kapasitesi hesabı yapılabilmektedir.

4.2.1. Tekil kazıklarda uç taşıma gücü

Kazık uç direnci genel olarak bağıntı 4.3.'teki gibi ifade edilebilir;

$$Q_P = q_P \times A_P = (c \times N_c + \sigma_v \times N_q + \gamma \times D \times N_\gamma) \times A_P \quad (4.3)$$

Burada A_P kazık uç kesit alanını, c zeminin kohezyonunu, q_P gerilme cinsinden birim uç taşıma gücünü (kN/m^2), σ_v düşey efektif gerilmeyi, γ zemin birim hacim ağırlığını ve D kazık çapını ifade etmektedir. N_c , N_γ , N_q taşıma gücü faktörleridir. Şekil 4.3.'de kazığın yük iletme mekanizmasına ait örnek gösterilmektedir.



Şekil 4.3. Kazık yük mekanizması [2]

4.2.1.1. Kohezyonlu zeminlerde kazık uç taşıma gücü

Kohezyonlu zeminlerdeki uç taşıma gücü hesabı için drenajsız kayma mukavemeti (c_u) kullanılır. Drenajsız durum için $\phi_u=0$ olur. Eğer içsel sürtünme açısı sıfır olursa

N_q değeri de sıfır olur. Dolayısıyla drenajsız kayma mukavemeti açısının $(\phi_u) = 0$ olması durumunda işlemler 4.4. ve 4. 5.'deki şekliyle ifade edilir.

$$Q_P = q_P \times A_P = (c \times N_c + \sigma_v \times N_q + \gamma \times D \times N_\gamma) \times A_P \quad (4.4)$$

$$Q_P = (c_u \times N_c) \times A_P = 9c_u \times A_P \quad (4.5)$$

Burada Q_P kazık ucu yük taşıma kapasitesini, c_u zeminin drenajsız kohezyonunu, N_c şekil ve derinlik faktörünü, q_P birim uç direncini ifade etmektedir.

Literatürde araştırmacıların yaptığı çalışmalar sonucunda suya doymun kohezyonlu zeminlerdeki kazık ile zemin özellikleri için Tablo 4.1.'de görüldüğü gibi bazı N_c taşıma gücü faktörlerinin kullanılması tavsiye edilmiştir [28].

Tablo 4.1. Kohezyonlu zeminlerde N_c faktörü önerileri [28]

Yöntem	N_c Taşıma Gücü Faktörü
ASSHTO	$q_{bult} \leq 3830 \text{ kPa}$ şartı ile ; $6.0 \left(1 + 0.2 \cdot \frac{L}{D} \right) \ll 9$
Canadian Foundation Engineering Manual	$D < 0,5 \text{ m}$ için $N_c = 9$ $D < 0,5 \text{ m} - 1,0 \text{ m}$ için $N_c = 7$ $D > 1,0 \text{ m}$ için $N_c = 6$
Skempton -Çakma kazıklar	$L > D \gg 3$ için $N_c = 9$ $N_c = 6,44 \cdot \ln(c_u) - 0,63 \cdot [\ln(c_u)]^2$
Skempton -Fore kazıklar	$25 \text{ kPa} \ll c_u \ll 190 \text{ kPa}$ $f_s \ll 4,0 \text{ MPa}$

4.2.1.2. Kohezyonsuz zeminlerde kazık uç taşıma gücü

Kohezyonsuz zeminlerde kazık uç direnci genel olarak aşağıdaki gibi bağıntı 4.6. ve 4.7. ile ifade edilebilir. Kohezyonsuz zeminlerde uç taşıma gücü, yüzeysel temellerdeki gibi “ D_f ” gömme derinliği kazık boyuna eşdeğer bir temel olarak ele alınarak hesaplanır. Kohezyon ($c=0$)’dır.

$$q_u = \bar{\sigma}_0 \times N_q \quad (4.6)$$

$$q_u = \gamma \times D_f \times N_q \quad (4.7)$$

Burada q_u birim alana düşen uç taşıma direncini (kN/m^2), $\bar{\sigma}_0$ kazık uç seviyesindeki düşey efektif gerilmeyi, N_q taşıma gücü faktörünü, γ zemin birim hacim ağırlığını ve D_f gömme derinliğini ifade etmektedir.

Kazıkların imal edilmiş yöntemlerinde kullanılması uygun görülen N_q taşıma gücü faktörünü Prakash ve Sharma Tablo 4.2.'deki şekilde ifade etmişlerdir [22].

Tablo 4.2. Kohezyonsuz (iri daneli) zeminlerde N_q faktörü önerileri [48]

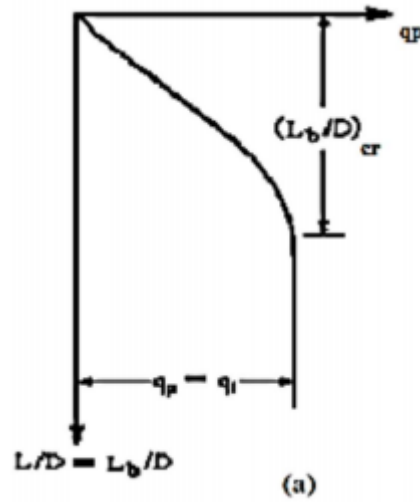
ϕ Kayma Açısı	20	25	28	30	32	34	36	38	40	42	45
N_q (Çakma Kazık)	8	12	20	25	35	45	60	80	120	160	230
N_q (Fore Kazık)	4	5	8	12	17	22	30	40	60	80	115

4.2.1.3. Kohezyonlu ve kohezyonsuz zeminlerde kazık uç direnci taşıma gücü yöntemleri

Tekil kazıklarda uç kazık taşıma kapasiteleri ile ilgili birçok metot vardır. Zeminleri kohezyonlu ve kohezyonsuz zeminler olarak sınıflandırarak Meyerhof, Vesic, Janbu, Coyle ve Costel, Terzaghi, Hansen gibi birçok metotla kazık taşıma kapasitesi hesabı yapılabilmektedir.

- Kumlu zeminde kazık uç direncinin Meyerhof metodu ile belirlenmesi

Meyerhof Metodunda uç direnç belirli bir derinliğe kadar artar fakat buradan sonra sabit kalır. L_b kazığın zemindeki gömülme derinliğidir, homojen zeminler için $L_b=L$ 'dir. Meyerhof Metodu eşitlik 4.8.'daki gibi yazılabilir. Şekil 4.4.'de homojen kumda uç taşıma gücünün derinlikle değişimi gösterilmektedir [23].



Şekil 4.4. Meyerhof'un homojen kumda yerleşmiş kazıkta uç taşıma direncinin derinlikle değişimi [52]

$$Q_p = A_p \times \bar{\sigma}_0 \times N_q \leq A_p \times q_l \quad (4.8)$$

$$q_l = 0,5 \times p_a \times N_q \times \tan \phi \quad (4.9)$$

Burada $\bar{\sigma}_0$ düşey efektif gerilmeyi, p_a atmosfer basıncını ($\approx 100 \text{ kN/m}^2$), ϕ efektif içsel sürtünme açısını, N_q taşıma gücü faktörünü, q_l kazık uç direnci limit değerini ve Q_p kazık uç taşıma gücünü ifade etmektedir.

Tablo 4.3.'de ise Meyerhof metoduna göre enterpolasyonla elde edilmiş içsel sürtünme açılarına ait değerler gösterilmektedir [23].

Tablo 4.3. Meyerhof metoduna göre enterpolasyonla elde edilmiş değerler [23]

İçsel Sürtünme Açısı ϕ	20	21	22	23	24	25	26	27	28
N_q	12,4	13,8	15,5	17,9	21,4	26,0	29,5	34,0	39,7
İçsel Sürtünme Açısı ϕ	29	30	31	32	33	34	35	36	37
N_q	46,5	56,7	68,2	91,0	96,0	115,0	143,0	168,0	194,0
İçsel Sürtünme Açısı ϕ	38	39	40	41	42	43	44	45	
N_q	231,0	276,0	346,0	420,0	525,0	650,0	780,0	930,0	

- Killi zeminde kazık uç direncinin Meyerhof metodu ile belirlenmesi

Meyerhof metoduna göre kilde kazık uç direnci aşağıdaki gibidir:

$$Q_P = A_P \times c_u \times N_c = 9c_u A_P \quad (4.10)$$

Burada c_u , kazık ucunun oturduğu zeminin drenajsız kohezyonu, N_c taşıma gücü faktörünü ve Q_P kazık uç taşıma gücünü ifade etmektedir.

- Kumda kazık uç direncinin Vesic metodu ile belirlenmesi

Vesic (1977), boşlukların genişlemesi teorisini ele alarak, kazık uç direnci için metot belirlemiş, efektif gerilme parametresini referans alarak uç direncini eşitlik 4.11.'daki gibi ifade etmiştir [23].

$$Q_P = A_P \times q_p \quad (4.11)$$

$$Q_P = A_P \times \bar{\sigma}_0 \times N_\sigma \quad (4.12)$$

$$\bar{\sigma}_0 = \left(\frac{1+2K_0}{3} \right) \times q' \quad (4.13)$$

Burada A_P kazık uç kesit alanını, q_p kazık uç taşıma gücünü, K_0 sükûnetteki zeminin basınç katsayısını, N_σ taşıma gücü kapasitesi faktörünü ve $\bar{\sigma}_0$ kazık uç noktasındaki efektif normal gerilmeyi ifade etmektedir.

$$N_\sigma = \frac{3 \times N_q}{(1+2K_0)} \quad (4.14)$$

Vesic teorisine göre;

$$N_\sigma = f \times (I_{rr})' \text{ dir.} \quad (4.15)$$

$$I_{rr} = \frac{I_r}{1 + I_r \times \Delta} \quad (4.16)$$

Burada I_{rr} azaltılmış rijitlik endeksini, N_σ taşıma gücü kapasitesi faktörünü ve I_r rijitlik parametresini ifade etmektedir.

$$I_r = \frac{E_s}{2 \times (1 + \mu_s) \times q' \times \tan \phi'} \quad (4.17)$$

$$I_r = \frac{G_s}{q' \times \tan \phi'} \quad (4.18)$$

Burada E_s zeminin elastisite modülünü, μ_s zeminin poisson oranını, G_s zeminin kayma modülünü ve Δ kazık ucu altında plastik bölgenin ortalama volumatik gerilmesini ifade etmektedir.

I_{rr} 'nin I_r 'ye olan bağlantısının hesabında aşağıdaki metotlar seçilebilir [26].

$$m = \frac{E_s}{P_a} \quad (4.19)$$

Burada P_a atmosfer basıncını ifade etmektedir ($\approx 100 \text{ kN/m}^2$).

$$m = \begin{cases} 100 - 200 & (\text{Gevşek zeminlerde}) \\ 200 - 500 & (\text{Orta sertlikte zeminlerde}) \\ 500 - 1000 & (\text{Sert zeminlerde}) \end{cases}$$

$$\mu_s = 0.1 + 0.3 \left(\frac{\phi' - 25}{20} \right) \quad 25^\circ \leq \phi' \leq 45^\circ \text{ için} \quad (4.20)$$

$$\Delta = 0,005 \times \left(1 - \frac{\phi' - 25}{20} \right) \times \frac{q'}{P_a} \quad (4.21)$$

Tablo 4.4.'de I_{rr} ve ϕ' değerlerine karşılık gelen N_σ değerleri verilmiştir

Tablo 4.4. Boşlukların genişlemesi teorisine N_σ taşıma gücü kapasitesi faktörleri

ϕ'	I_{rr}									
	10	20	40	60	80	100	200	300	400	500
25	12.12	15.95	20.98	24.64	27.61	30.16	39.70	16.6 1	52.24	57.06
26	13.18	17.47	23.15	27.30	30.69	33.60	44.53	52.51	59.02	54.62
27	14.33	19.12	25.52	302 1	34.06	37.37	49.8	59.045	66.56	73.04
28	15.57	20.91	28.10	33.40	3 7.75	41.51	55.11	66.29	14.93	82.40
29	16.90	22.85	30.90	36.87	41.79	46.05	62.27	74.30	84.21	92.80
30	18.24	24.95	33.95	40.66	46.21	51.02	69.43	33.14	94.48	104.33
31	19.88	27.22	37.27	44.71	51.03	56.46	77.31	92.90	105.84	117.11
32	21.55	29.68	40.88	49.00	56.30	52.41	85.96	103.66	118.39	131.24
33	23.34	32.34	44.80	5420	62.05	58.92	95.46	115.51	132.24	146.87
34	25.28	35.21	49.05	59.54	68.33	76.02	105.90	128.55	147.51	164.12
35	27.36	38.32	53.67	65.36	75.17	83.78	117.33	142.89	164.33	133.16
36	29.60	41.68	58.68	77.69	82.62	92.24	129.87	159.65	182.85	200.40
37	32.02	45.31	64.13	78.57	90.75	101.48	143.61	175.95	203.23	227.26
38	34.63	49.24	70.03	86.05	99.60	111.56	158.65	194.94	225.62	252.71
39	37.44	53.50	76.45	9420	109.24	122.54	175.11	215.78	250.23	280.71
40	40.47	58.10	33.40	103.05	119.74	114.52	193.13	238.62	277.26	311.50
41	43.74	63.07	90.96	112.68	131.18	147.59	212.84	263.67	206.94	345.34
42	47.27	68.46	99.16	123.16	143.64	161.33	234.40	291.13	339.52	382.53
43	51.08	74.30	108.08	134.56	157.21	177.36	257.99	321.22	375.28	423.39
44	55.20	80.62	117.76	146.97	172.00	194.31	233.80	354.20	414.51	468.28
45	59.66	87.48	12828	160.48	188..12	212.79	312.03	390.35	457.57	517.58

- Kilde Kazık Uç Direncinin Vesic Metodu ile Belirlenmesi

Suya doymun killerde, kazık ucu taşıma gücü kapasitesi aşağıdaki eşitlik ile gösterilir:

$$Q_P = A_P \times c_u \times N_c \quad (4.22)$$

Drenajsız durumda ($\phi=0$) için N_c aşağıdaki eşitliktedir.

$$N_c = \frac{4 \times [\ln(I_{rr})+1]}{3} + \frac{\pi}{2} + 1 \quad (4.23)$$

Eğer hacimde değişiklik yoksa; $\Delta = 0 \rightarrow I_{rr} = I_r$ olur.

$$l_r = 347 \left(\frac{c_u}{p_\alpha} \right) - 33 \leq 300 \quad (4.24)$$

$$I_r = \begin{cases} \text{Kum} & = 70 - 150 \\ \text{Silt ve kil (drenajlı durumlar)} & = 50 - 100 \\ \text{Kil (drenajsız durumlar)} & = 100 - 200 \end{cases}$$

şeklinde gösterilebilir.

N_c 'nin $\phi=0$ olması durumunda I_{rr} ile değişimi Tablo 4.5.'de verilmiştir.

Tablo 4.5. Vesic Teorisine Göre N_c 'nin $\phi=0$ olması durumunda I_{rr} ile değişimi

I_{rr}	N_c
10	6.97
20	7.90
40	8.82
60	9.36
80	9.75
100	10.04
200	10.97
300	11.51
400	11.89
500	12.19

- Kazık uç direncinin Janbu metodu ile belirlenmesi

Kazıklı temellerdeki genel taşıma kapasitesi bağıntısı, şekil faktörü ile dilatasyon açısına bağlı olarak aşağıdaki 4.25. bağıntısı ile elde edilmektedir.

$$Q_P = A_P \times (c \times N_c \times d_c + \eta \times q \times d_q \times N_q + 0,5 \times \gamma' \times B_P \times N_\gamma) \quad (4.25)$$

Burada Q_P kazık ucunun yük taşıma kapasitesini, A_P kazık ucunun alanını, c zeminin kohezyonunu, N_c, N_γ, N_q taşıma kapasitesi faktörlerini, d_c şekil faktörünü, η katsayısı, d_q şekil faktörünü, q sürşarj yükünü, γ' efektif birim hacim ağırlığı, B_P katsayısı (yanal yüklü kazık elastik çözümü) ifade etmektedir.

Janbu (1976) metodundaki N_q değeri aşağıda yer alan 4.26.'deki bağıntıyla bulunmaktadır. Aynı şekilde d_c ve d_q değerleri de Hansen metodundan N_c, N_q, N_γ değerleri de Tablo 4.6.'den alınır ve taşıma gücü belirlenir [51].

$$N_q = (\tan \phi + \sqrt{1 + \tan^2 \phi})^2 \times \exp(2 \times \psi \times \tan \phi) \quad (4.26)$$

Burada ϕ içsel sürtünme açısını ifade etmektedir.

Janbu denklemlerindeki taşıma kapasitesi faktörleri N_c , N_q , N_γ Tablo 4.6.'dan bulunabilir.

Tablo 4.6. Janbu ve Vesic yönteminde N_c ve N_q taşıma gücü faktörleri

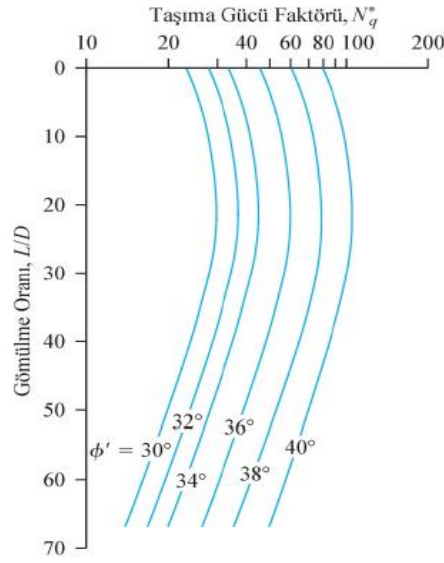
ϕ	Janbu			$I_{rr} = 10$	Vesic			
	$\Psi = 75$	90	105		50	100	200	500
0	$N_q = 1.00$	1.00	1.00	$N_q = 1.00$	1.00	1.00	1.00	1.00
	$N_c = 5.74$	5.74	5.74	$N_c = 6.97$	9.12	10.04	10.97	12.19
5	1.50	1.57	1.64	1.79	2.12	2.28	2.46	2.71
	5.69	6.49	7.33	8.99	12.82	14.69	16.69	19.59
10	2.25	2.47	2.71	3.04	4.17	4.78	5.48	6.57
	7.11	8.34	9.70	11.55	17.99	21.46	25.43	31.59
20	5.29	6.40	7.74	7.85	13.57	17.17	21.73	29.67
	11.78	14.43	18.53	18.83	34.53	44.44	56.97	78.78
30	13.60	18.40	24.90	18.34	37.50	51.02	69.43	104.33
	21.82	30.14	41.39	30.03	63.21	86.64	118.53	178.98
35	23.08	33.30	48.04	27.36	59.82	83.78	117.34	183.16
	31.53	46.12	67.18	37.65	84.00	118.22	166.15	260.15
40	41.37	64.20	99.61	40.47	93.70	134.53	193.13	311.50
	48.11	75.31	117.52	47.04	110.48	159.13	228.97	370.04
45	79.90	134.87	227.68	59.66	145.11	212.79	312.04	517.60
	78.90	133.87	226.68	53.66	144.11	211.79	311.01	516.60

- Kazık uç direncinin Coyle ve Castello metodu ile belirlenmesi

Coyle ve Castello (1981), kumlu ortamda 24 adet kazık yükleme testini gerçekleştirmişler ve sonuçlarından kumlar ile ilgili 4.27.'deki bağıntıyı elde etmişlerdir. Şekil 4.5.'de ise N_q 'nın, L/D ve içsel sürtünme açısı ϕ' ile değişimi gösterilmektedir [23].

$$Q_p = \bar{\sigma}_0 \times N_q \times A_p \quad (4.27)$$

Burada Q_p kazık uç taşıma kapasitesini, $\bar{\sigma}_0$ efektif düşey gerilmeyi, N_q taşıma gücü faktörünü ve A_p kazık ucunun alanını ifade etmektedir.



Şekil 4.5. N_q 'nun, L/D ve içsel sürtünme açısı ϕ' ile değişimi [24]

- Kazık uç direncinin Hansen metodu ile belirlenmesi

Hansen Metodunda kazıklı temellerde uygulanan taşıma gücü kapasitesi aşağıdaki bağıntıda gösterildiği gibidir:

$$Q_p = A_p \times (c \times N_c \times d_c + \eta \times N_q \times q \times d_q + 0,5 \times \gamma' \times B_p \times N_\gamma) \quad (4.28)$$

Burada Q_p kazık uç taşıma kapasitesini, A_p kazık ucunun alanını, c kohezyonu, N_c, N_γ, N_q taşıma gücü faktörlerini, d_c şekil faktörünü, η katsayısını, d_q şekil faktörünü, q sürşarj yükünü, γ' efektif birim hacim ağırlığını ve B_p katsayısını (yanal yüklü kazık elastik çözümü) ifade etmektedir.

η , bu metotta 1 alınır. Hansen (1967) yönteminde d_c ve d_q uygun koşullarda aşağıdaki denklemlerle bulunabilir. N_c ve N_q değerleri de Tablo 4.7.'den alınmaktadır [51].

$$\frac{L}{B} \leq 1 \text{ için;}$$

$$d_q = 1 + 2 \times \tan \phi \times (1 - \sin \phi)^2 \times \frac{L}{B} \quad (4.29)$$

$$d_c = 1 + 0,4 \times \frac{L}{B} \quad (4.30)$$

$$\frac{L}{B} > 1 \text{ için;}$$

$$d_q = 1 + 2 \times \tan \phi (1 - \sin \phi)^2 \times \tan^{-1} \frac{L}{B} \quad (4.31)$$

$$d_c = 1 + 0,4 \times \tan^{-1} \frac{L}{B} \quad (4.32)$$

Burada ϕ içsel sürtünme açısını ve d_q şekil faktörünü ifade etmektedir.

Tablo 4.7. Meyerhof, Hansen ve Vesic taşıma kapasitesi denklemleri için taşıma kapasitesi faktörleri [51]

ϕ	N_c	N_q	$N_{\gamma(H)}$	$N_{\gamma(M)}$	$N_{\gamma(V)}$	N_q/N_c	$2 \tan \phi (1 - \sin \phi)^2$
0	5,14	1,0	0,0	0,0	0,0	0,195	0,000
5	6,49	1,6	0,1	0,1	0,4	0,242	0,146
10	8,34	2,5	0,4	0,4	1,2	0,296	0,241
15	10,97	3,9	1,2	1,1	2,6	0,359	0,294
20	14,83	6,4	2,9	2,9	5,4	0,431	0,315
25	20,71	10,7	6,8	6,8	10,9	0,514	0,311
26	22,25	11,8	7,9	8,0	12,5	0,533	0,308
28	25,79	14,7	10,9	11,2	16,7	0,570	0,299
30	30,13	18,4	15,1	15,7	22,4	0,610	0,289
32	35,47	23,2	20,8	22,0	30,2	0,653	0,276
34	42,14	29,4	28,7	31,1	41,0	0,698	0,262
36	50,55	37,7	40,0	44,4	56,2	0,746	0,247
38	61,31	48,9	56,1	64,0	77,9	0,797	0,231
40	75,25	64,1	79,4	93,6	109,3	0,852	0,214
45	133,73	134,7	200,5	262,3	271,3	1,007	0,172
50	266,50	318,5	567,4	871,7	761,3	1,195	0,131

- Kazık uç direncinin Terzaghi metodu ile belirlenmesi

Kazıklı temeller için kazık uç taşıma kapasitesi Terzaghi metodu ile Hansen metoduna benzer olarak aşağıdaki bağıntı 4.33. ile ifade edilmektedir.

$$Q_P = A_P \times (c \times N_c \times s_c + q \times N_q + 0,5 \times \gamma' \times s_\gamma \times N_\gamma) \quad (4.33)$$

Burada Q_p kazık ucunun yük taşıma kapasitesini, A_p kazık ucu alanını, c kazık ucunu destekleyen zeminin kohezyonunu, N_c, N_γ, N_q taşıma kapasitesi faktörlerini, s_c temel şekil faktörü katsayısını, q sürşarj yükünü, γ' efektif birim hacim ağırlığı, s_γ temel şekil faktörü katsayısını ifade etmektedir.

Bu metottaki temel şekil faktörleri olan s_c ve s_γ temel kesitine bağlıdır ve Tablo 4.8.'den, N_c ve N_q değerleri ise Tablo 4.7.'den alınmaktadır. N_c ve N_q değerlerinin bulunması amacıyla aşağıda verilen bağıntılar kullanılır [51].

$$N_q = \frac{a^2}{[2\cos^2(45+\frac{\phi}{2})]} \quad (4.34)$$

$$a = e^{(0,75\pi - \frac{\phi}{2}) \times \tan \phi} \quad (4.35)$$

$$N_c = (N_q - 1) \times \cot \phi \quad (4.36)$$

$$N_\gamma = \frac{(\tan \frac{\phi}{2})}{[(K_{py}/\cos^2 \phi) - 1]} \quad (4.37)$$

Burada ϕ içsel sürtünme açısını ifade etmektedir.

Tablo 4.8. Terzaghi metodunda kullanılan temel şekil faktörleri [51]

Temel Şekli	S_c	S_γ
Şerit Temel	1,0	1,0
Daire Kesitli Temel	1,3	0,6
Kare Kesitli Temel	1,3	0,8

4.2.2. Tekil kazıklarda çevre sürtünmesi ile taşıma gücü

Kazıkların yan yüzleri ile taşıyabilecekleri maksimum yük olan çevre sürtünmesi bağıntı 4.38. ile ifade edilmektedir [28].

$$Q_s = \sum P \times \Delta L \times f \quad (4.38)$$

Burada p kazık çevre uzunluğunu, ΔL sürtünme direncinin sabit olduğu kazık boyunu ve f_z derinliğindeki birim sürtünme direncini ifade etmektedir.

4.2.2.1. Kohezyonlu zeminlerde kazık çevre taşıma gücü

Kohezyonlu zeminlerde çevre taşıma gücü hesabı genellikle aşağıda yer alan bağıntı 4.39. ile ifade edilmektedir.

$$Q_{sult} = f_{sult} \times A_s \quad (4.39)$$

Burada Q_{sult} nihai çevre taşıma kapasitesi (kN), A_s kazık toplam çevre alanı (m^2) f_{sult} birim alan düşen nihai çevre taşıma direncidir (kN/m^2).

Birim alandaki çevre sürtünme direnci yani f_{sult} değerinin hesaplanabilmesi için çeşitli araştırmacıların önerdiği farklı metotlar vardır ve bu metotlardan bulunan değerler nihai taşıma gücü değerleri olarak ifade edilebilir. Eğer gerekli görülürse emniyetli taşıma gücü için emniyet katsayısına bölünebilir [28].

- α metodu;

Toplam gerilmelerden yola çıkan α (alfa) metodunda kohezyonlu zeminlerdeki çevre taşıma gücü, kazığın kohezyonlu zemine yapışması yani adezyonu sonucunda oluşur. Birim alandaki sürtünme direnci denklemi aşağıdaki bağıntı 4.40.'deki gibi ifade edilebilir [28].

$$f_{sult} = \alpha \times c_u \quad (4.40)$$

Burada f_{sult} birim alana düşen nihai çevre taşıma direnci (kN/m^2), c_u drenajsız kayma direncini (kN/m^2) ve α adezyon faktörünü (birimsiz) ifade etmektedir.

$$Q_s = \alpha \times s \times c_u \times A_s \quad (4.41)$$

Burada Q_s toplam çevre sürtünmesi değerini, A_s kazık toplam çevre alanını (m^2), c_u drenajsız kayma direncini (kN/m^2), s şekil faktörünü (sabit kesitli kazıklarda $s=1,0$, teleskopik kazıklarda $s=1,2$) ve α adezyon faktörünü (birimsiz) ifade etmektedir.

Adezyon faktörü; zemin örselenmesi, kazık imalat şekli, kohezyonlu zeminin sertliğine bağlı olarak değişkenlik gösterir. Genellikle, zeminin iyi olması durumunda, çakma kazıklardaki çakma işlemi sırasında zeminin örselenmesiyle adezyon faktörü değeri azalır. Amerikan Petrol Enstitüsü aşağıda yer alan Koşullara göre çakma kazıklar için adezyon faktörlerini önermiştir [32].

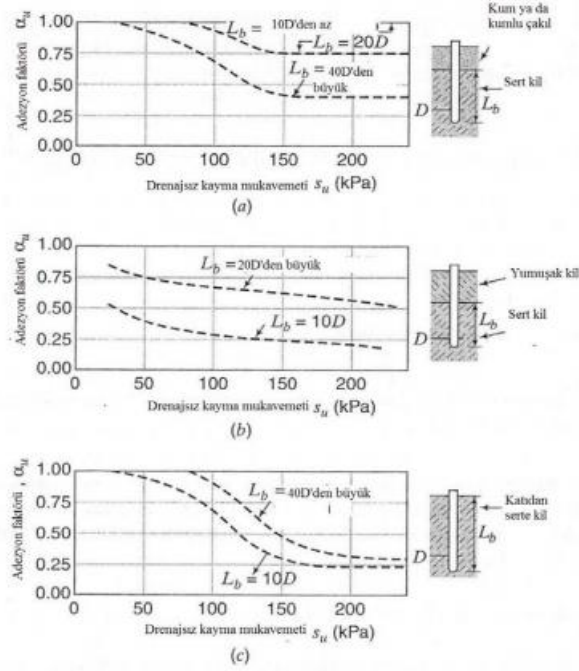
$$c_u \leq 25 \text{ kPa}; \alpha_u = 1,00 \quad (4.42)$$

$$25\text{kPa} \leq c_u \leq 75\text{kPa}; \alpha_u = 1 - \left(\frac{c_u - 25}{90} \right) \quad (4.43)$$

$$c_u \geq 75\text{kPa}; \alpha_u = 0,50 \quad (4.44)$$

Burada c_u drenajsız kayma direncini (kN/m^2) ve α_u adezyon faktörünü (birimsiz) ifade etmektedir.

Tomlinson tarafından yapılan çalışmaya göre tabakalı zeminlerde yer alan çakma kazıklar için adezyon faktörü Şekil 4.6.'deki grafikler kullanılarak bulunmaktadır.



Şekil 4.6. Kohezyonlu zeminlerdeki çakma kazıklar için tabakalı zeminlerde adezyon faktörü (α) önerisi [33]

Delme (fore) kazıklarda ise “ α_u ” adezyon katsayısı O’Neill ile Reese tarafından yapılan çalışmalar sonucunda aşağıdaki bağıntılar 4.45. ve 4.46. ile ifade edilmektedir [34].

$$\frac{c_u}{p_a} \leq 1,5 ; \alpha_u = 0,55 \quad (4.45)$$

$$1,5 \leq \frac{c_u}{p_a} \leq 2,5 ; \alpha_u = 0,55 - 0,1 \times \left(\frac{c_u}{p_a} - 1,5 \right) \quad (4.46)$$

Burada c_u drenajsız kayma direnci (kN/m^2), p_a atmosfer basıncını ($101,3 \text{ kN/m}^2$) ve α_u adezyon faktörünü (birimsiz) ifade etmektedir.

Delme (fore) kazıklardaki “ α ” adezyon faktörü için kullanılan yöntemlerden biri de Kulhawy ile Jackson yöntemidir. 106 tane kazık üzerinde yapılmış deney sonuçlarından çıkan sonuçlarla aşağıda yer alan bağıntı 4.47. elde edilmiştir [31].

$$\alpha = 0,21 + 0,25 \times \left(\frac{p_a}{c_u} \right) \leq 1,00 \quad (4.47)$$

Burada α adezyon faktörünü (birimsiz), c_u drenajsız kayma mukavemetini (kN/m^2), p_a atmosfer basıncını ($101,3 \text{ kN/m}^2$) ifade etmektedir.

- β metodu;

Burland tarafından öne sürülen bu metotta efektif gerilmeler yani drenajlı durum ele alınarak hesaplar yapılır. İnce daneli zeminlerdeki bu durum uzun süreli davranış için belirlenmiştir. Drenajlı yani efektif durumdaki killerin aynı daneli zeminlerde olduğu gibi davranış göstereceği kabulü yapılır ve sürtünme direnci aşağıdaki bağıntı 4.48. ile ifade edilebilir [36].

$$f_{\text{sult}} = \beta \times \bar{\sigma}_0 \quad (4.48)$$

Burada f_{sult} birim alan düşen nihai çevre taşıma direncini (kN/m^2), β sürtünme katsayısını (birimsiz), $\bar{\sigma}_0$ hesap yapılan derinlikteki efektif gerilmeyi (kN/m^2) ifade etmektedir.

$$\beta = K_o \times \tan \delta \quad (4.49)$$

Burada β sürtünme katsayısını (birimsiz), K_o sükunetteki yanal zemin basıncı katsayısını (birimsiz) ve δ kazık - zemin arası sürtünme açısını ($^\circ$ derece) ifade etmektedir.

“ δ ” açısı zemin kayma direnci açısına eşit ($\delta=\phi'$) alınabilir.

$$K_o = 1 - \sin \phi' \quad (4.50)$$

Burada K_o killerdeki yanal zemin basıncı katsayısını (birimsiz) ve ϕ' zeminin efektif kayma direnci açısını ($^\circ$ derece) göstermektedir.

Yukarıda yer alan bağıntı normal konsolide killer için geçerli iken aşağıda yer alan bağıntı 4.51. ise aşırı konsolide killer için Meyerhof tarafından geliştirilmiştir [29].

$$K_{o(OCR)} = (1 - \sin \phi') \times \sqrt{OCR} \quad (4.51)$$

Burada $K_{o(OCR)}$ aşırı konsolide killerdeki yanal zemin basıncı katsayısını (birimsiz), ϕ' zeminin efektif kayma direnci açısını ($^{\circ}$ derece) ve OCR aşırı konsolidasyon oranını (birimsiz) ifade etmektedir.

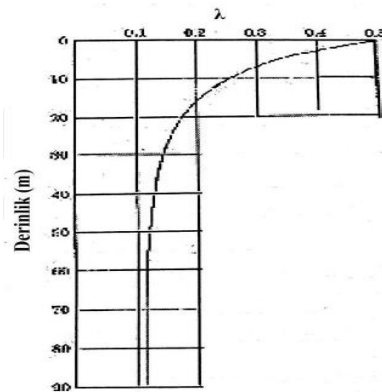
- λ (Lambda) metodu;

Aşırı konsolide killerde yer alan çakma kazıklarda imalat aşamasında zeminde oluşabilecek deplasmanın zemindeki pasif itkiyi hareketlendireceği düşünülerek geliştirilen λ (Lambda) metodu, Vijayvergiya ile Fotch tarafından öne sürülmüştür. Bu metottaki çevre sürtünmesi direnci aşağıdaki bağıntıda 4.52. ile ifade edilmektedir [37].

$$f_{sult} = \lambda \times (\sigma_o' + 2c_u) \quad (4.52)$$

Burada λ adezyon katsayısını (birimsiz), σ_o' kazık boyunca ortalama efektif gerilmeyi (kN/m^2), c_u kazık boyunca ortalama drenajsız kayma mukavemetini (kN/m^2) ifade etmektedir.

Adezyon katsayısı (λ)'nın kazık boyu ile değişimi Şekil 4.7.'da yer almaktadır.



Şekil 4.7. λ metodunda adezyon katsayısının kazık boyuna göre değişimi [37]

4.2.2.2. Kohezyonsuz zeminlerde çevre taşıma gücü

İri daneli, başka bir ifadeyle kohezyonsuz zeminlerdeki çevre sürtünmesi direnci, düşey efektif gerilmeye bağlı yanal toprak basıncı hesabındaki gibidir ve aşağıdaki eşitlik 4.53. ile ifade edilebilir [28].

$$f_{\text{sult}} = \sigma_o' \times K_s \times \tan \delta \quad (4.53)$$

Burada f_{sult} birim alan düşen nihai çevre taşıma direncini (kN/m^2), σ_o' hesaplanan tabakaya ait ortalama düşey efektif gerilmeyi (kN/m^2), K_s yanal toprak basıncı katsayısını (birimsiz) ve $\tan \delta$ zemin-kazık arası sürtünme açısını ($^\circ$ derece) ifade etmektedir.

K_s yanal toprak basıncının belirlenebilmesi için ilk olarak K_o sükunetteki toprak basıncı katsayısının belirlenmesi gerekir.

$$K_o = 1 - \sin \phi \quad (4.54)$$

Burada K_o sükunetteki yanal toprak basıncı katsayısını ve ϕ zeminin kayma direnci açısını ifade etmektedir.

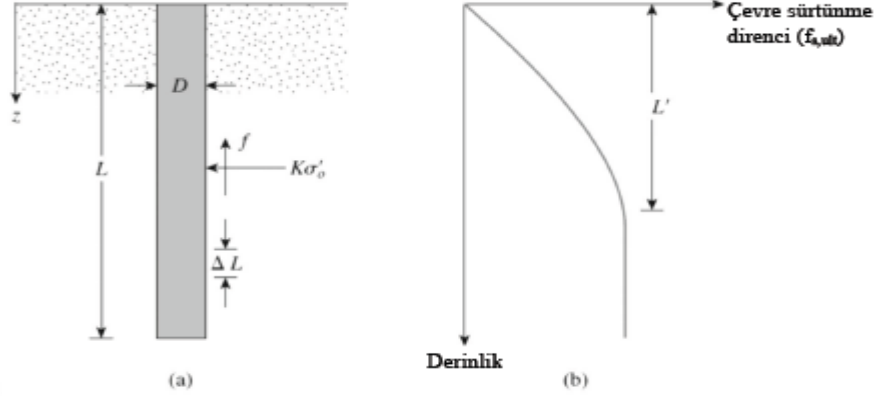
K_s yanal toprak basıncı katsayısının sükunetteki toprak basıncı katsayısına oranı kazık imal ediliş biçimine bağlıdır ve Tomlinson'un sunduğu önerilerle aşağıdaki Tablo 4.9.'da yer almaktadır.

Tablo 4.9. Kohezyonsuz (iri daneli) zeminlerde K_s/K_o önerileri [28]

Kazık İmalatı	K_s/K_o
Çakma Kazıklar (Büyük sıkıştırma)	1-2
Çakma Kazıklar (Küçük sıkıştırma)	0,75-1,25
Fore Kazıklar	0,75-1,00
Su Jeti ile İmal Edilen Kazıklar	0,50-0,70

İri daneli, başka bir ifadeyle kohezyonsuz zeminler içerisindeki kazıklarda Şekil 4.8.'de görüldüğü gibi yanal sürtünme direncinin kritik bir değere ulaştıktan sonra artmadığı ve en büyük sınır değerine $10 D - 20 D$ (D ; kazık çapı) arasında ulaşıldığı

belirtilmiştir. Dolayısıyla gevşek kumlardan sıkı kumlara doğru yol aldıkça 10 D ile 20 D arasındaki bir değer seçilmesi uygun olur [29].



Şekil 4.8. Kumlarda yanal sürtünme direncinin derinlikle değişimi [30]

Kazık-zemin arası sürtünme açısı olan “ δ ”, zeminin kayma direnci açısına bağlı olarak Tablo 4.10.’de verilmiştir [31] .

Tablo 4.10. Kohezyonsuz (iri daneli) zeminlerde kayma direnci açısının kazık - zemin sürtünme açısına oranı için kazık tipine bağlı öneriler [28]

Kazık Tipi	Kazık-Zemin Sürtünme Açısı
Pürüzsüz(veya kaplanmış) Çelik Kazık	0,5 Ø-0,7 Ø
Pürüzlü(Veya nervürlü) Çelik Kazık	0,7 Ø-0,9 Ø
Betonarme Çakma Kazık	0,8 Ø-1,0 Ø
Betonarme Fore(Delme) Kazık	1,0 Ø
Ahşap Kazık	0,8 Ø-0,9 Ø

Birim alandaki gerilme değeri hesaplanır ve daha sonra bu gerilme değeri aşağıdaki bağıntıda yer alan şekliyle yani toplam kazık sürtünme kapasitesi olarak bulunur.

$$Q_{sult} = f_{sult} \times A_s \quad (4.55)$$

Burada Q_{sult} nihai çevre taşıma kapasitesini (kN), A_s kazık toplam çevre alanını (m^2) ve f_{sult} birim alana düşen nihai çevre taşıma direncini (kN/m^2) ifade etmektedir.

Gereken Koşulda emniyetli taşıma gücünü bulmak için Q_{sult} değeri güvenlik sayısına bölünebilir.

4.2.3. Kayaçlardaki kazıklarda taşıma gücü

Kaya kazıklı temellerin uygulanabileceği derinlikteyse, yapı yükünü kaya zemine aktarabilir. Böyle durumlarda kayanın taşıma kapasitesini ele almak gerekir. Kaya ortamdaki kazıkların taşıma kapasitesi için bağıntı 4.56. geçerlidir [23].

Kayaca oturan kazıklarda uç direnci,

$$q_p = q_u \times (N_\phi + 1) \quad (4.56)$$

$$N_\phi = 2 \times (\tan 45)^\phi \quad (4.57)$$

Burada q_p kayaç uç direncini, q_u kayanın serbest basınç mukavemetini ve ϕ drenajlı içsel sürtünme açısını ifade etmektedir.

q_u genel olarak araziden alınan kayalarda uygulanan laboratuvar deneyleri ile elde edilir. Fakat numunelerin çaplarının küçük olmasından dolayı bağıntı 4.58.'da gösterilen azaltma tavsiye edilir [23].

$$q_{u(\text{tasarım})} = \frac{q_{u\text{lab}}}{5} \quad (4.58)$$

q_u değerinin laboratuvar ortamında saptanmasında geçerli karot çapı büyük etki yapar ve ölçülen değer 1/5' ini kullanmak aynı zamanda güvenlik için $GS = 3$ almak uygun olabilir. Aşağıdaki Tablo 4.11. ve Tablo 4.12.'de kayalarla ilgili değerler gösterilmektedir [23].

Tablo 4.11. Kayaların tipik serbest basınç mukavemetleri [23]

Kaya Tipi	Q_u (MN/m ²)
Kumtaşı	70-140
Kireçtaşı	105-210
Şeyl	35-70
Granit	140-210
Mermer	60-70

Tablo 4.12. Kayaların tipik içsel sürtünme açıları [23]

Kaya Tipi	İçsel Sürtünme Açısı ϕ'
Kumtaşı	37-45
Kireçtaşı	30-40
Şeyl	10-20
Granit	40-50
Mermer	25-30

4.2.4. Dinamik yükler altında tekil kazık kapasitesi

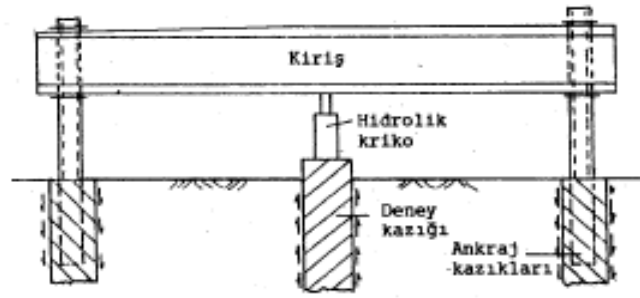
Çakma kazıklarda kazık zemine çakılırken zemin bu batmaya karşı direnç gösterir. Gösterilen bu direnç için geliştirilen birçok formül bulunmaktadır. Bu formüllerin amacı genellikle çekicin kinetik enerjiyi kazığa aktarması durumuna dayanmaktadır. Çekiçle uygulanan E enerjisi değerinin kazığı çakma sırasında kaybedilen enerji değeri ve enerji kayıplarının toplamına eşit olduğu kabulü üzerine birçok bağıntı vardır. Bunlardan biri basitçe bağıntı 4.59. ile ifade edilmektedir [2].

$$E = P_u \times s + \Delta E \quad (4.59)$$

Burada $+\Delta E$ enerji kaybını, P_u kazığın batma direncini ve s kazık ucunun batma miktarını ifade etmektedir.

4.2.5. Kazık yükleme deneyi ile kazık kapasitesi

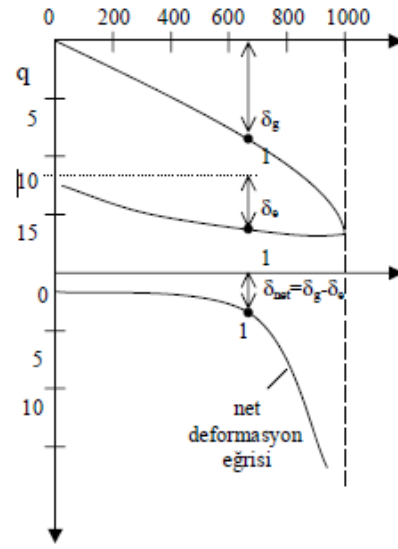
Kazık taşıma gücünün elde edilebilmesi için en güvenli olduğu düşünülen yöntem kazık yükleme deneyidir. Deney düzeneği en basit haliyle Şekil 4.11.'de gösterilmektedir. Kazık yükleme deneyi sonucunda kazık kapasitesi öngörülen değerden farklıysa kazık boyutlarının değiştirilmesi gerekebilir. Ek olarak kazık yapılacak zeminin önceden tespiti yapılamamış özelliğinin elde edilebilmesi olanağını sağlaması açısından yararlıdır. Kazık yükleme deneyleri, analitik yöntemler ve kazık çakma formülleriyle hesaplanan kazık kapasitelerinin doğruluğunu teyit etmek için kullanılabilir. Kazık yükleme deneylerinin birçok faydasının olması her ortam ve Koşulda doğru sonuç verecekleri anlamı taşımaz [2].



Şekil 4.9. Kazık yükleme deneyi [2]

Kazığa aktarılabacak yükün tarif şekli aşağıdaki şartnameler ya da ASTM tarafından tarif edilmektedir.

- Yük aşamalı bir şekilde ve her aşamada tasarım yükünün %20'si ile %25'i düzeyinde olacak şekilde uygulanır.
- Son yük ölçüsü tasarımdaki yükün 2 katı olarak tanımlanır. Birinci yüklemede bu değere (%200 tasarım yükü) ulaşılır ve ikinci seviyede yükleme göçme yüküne kadar sürer.
- Tasarımdaki yük genel olarak tanımlanan belli bir oturma seviyesindeki yükün yarısıdır ve oturma seviyesi genellikle 25 mm olarak alınır.
- Şekil 4.12.'de genel yükün oturma ile ilişkisi gösterilmektedir. Yükleme %20 artışlarla sağlanırken boşaltma ise 5 kademede gerçekleştirilir. Şekil 4.12.b'de kazığa uygulanan yük kademelerine denk gelen net oturma miktarları görülmektedir. Belli bir noktada örneğin 1 noktasında net oturma = $\delta_g - \delta_e$ ile bulunabilir.
- Kazık taşıma gücünde yukarıda anlatılan yöntemlerden en az ikisinden çıkacak veriler kullanılmalıdır. Aynı zamanda yerel tecrübeye dayalı bilgilerin önemi de ihmal edilmemelidir [2].



Şekil 4.10. Kazık yükleme deneyi sonucu [2]

BÖLÜM 5. KAZIK TAŞIMA GÜCÜNÜN ARAZİ DENEYLERİ İLE BULUNMASI

5.1. Standart Penetrasyon Deneyi (SPT) İle Kazık Taşıma Kapasitesi

Birim kazık çevre sürtünmesi (q_s) hesabında kullanılan SPT-N değerleri genellikle, kazık boyunca ölçülen değerlerin ortalamasına eşittir. Kazık uç direnci (q_p) hesabında alınacak değerler kazık ucu civarında ölçülen SPT-N değerlerinin ortalamasına eşittir ve bu derinlik ölçüm aralığı uygulanan metotlarda değişkenlik göstermektedir.

Schmertmann (1975) tarafından çakma kazıklarda uç direnci ve çevre direnci için alınması önerilen değerler Tablo 5.1.'de gösterilmiştir [38].

Tablo 5.1. q_s ve q_p değerleri [39]

Zemin Türü	Grup Sembolü	q_c/N	$R_f\%$ *	q_s (tsf)	q_p (tsf)
Temiz kum (Su seviyesinin üstündeki ve altındakiler için)	GW,GP,GM,SW,SP,SM	3,5	0,6	$0,019 \bar{N}$	$3,2 \bar{N}$
Kil-silt-kum karışımı, siltli kum, silt, marl	GC,SC,ML,CL	2,0	2,0	$0,04 \bar{N}$	$1,6 \bar{N}$
Plastik kil	CH,OH	1,0	5,0	$0,05 \bar{N}$	$0,7 \bar{N}$
Yumuşak kireç taşı, kireç kayası	-	4,0	0,25	$0,01 \bar{N}$	$3,6 \bar{N}$

R_f Konik penetrasyon deneyi sürtünme oranını ifade etmektedir.

Schmertmann (1975), $N < 5$ ise $N = 0$, $N > 60$ ise $N = 60$ alınmasını önermiştir.

Meyerhof (1976) tarafından kumlu zeminlerde uç direnci için önerilen bağıntı 5.1.'deki gibi ifade edilebilir [29];

$$q_p = 40 \times \bar{N}_{55} \frac{L}{d} \leq 400 \times \bar{N}_{55} \quad (5.1)$$

Burada q_p kazık uç direncini (kN/m^2), $\bar{N}_{55}$ kazık ucunun 5 çap altı ve 10 çap üstü derinlik aralığındaki SPT- N_{55} değerlerinin ortalamasını, L kazık boyunu ve D kazık çapını ifade etmektedir.

Meyerhof (1976) tarafından plastik olmayan siltli zeminler için önerilen uç direnci bağıntısı 5.2.'deki gibi ifade edilebilir [29];

$$q_p = 40 \times \bar{N}_{55} \frac{L}{D} \leq 300 \times \bar{N}_{55} \quad (5.2)$$

Burada q_p kazık uç direncini (kN/m^2), $\bar{N}_{55}$ kazık ucunun 5 çap altı ve 10 çap üstü derinlik aralığındaki SPT- N_{55} değerlerinin ortalamasını, L kazık boyunu ve D kazık çapını ifade etmektedir.

$$q_s = 2 \times \bar{N}_{55} \quad (5.3)$$

Burada q_s kazık çevre sürtünmesini (kN/m^2), $\bar{N}_{55}$ kazık shaftı boyundaki N_{55} değerlerinin ortalamasını ifade etmektedir.

Fore kazıklarda uç direnci ve çevre sürtünmesi için, Meyerhof (1976)'un çakma kazıklardaki formüllerinden elde edilen değerlerin $q_s/2$ ve $q_p/3$ olarak kullanılması önerilmiştir [19].

Briaud ve ark. (1985) tarafından kumlu zeminlerde çakma kazıkların uç direnci bağıntısı 5.4.'deki gibi ifade edilmiştir [38] ;

$$q_p = 19,7 p_a \times (\bar{N}_{60})^{0,36} \quad (5.4)$$

Burada q_p kazık uç direncini, p_a atmosfer basıncını ($\approx 100 \text{ kN/m}^2$) ve $(\bar{N}_{60})$ standart penetrasyon direnci ortalama değerini ifade etmektedir.

Briaud ve ark. (1985) tarafından kumlu zeminlerde çakma kazıkların çevre sürtünmesi bağıntısı 5.5.'deki gibi ifade edilmiştir [40];

$$q_s = 0,224 p_a \times (\bar{N}_{60})^{0,29} \quad (5.5)$$

Burada q_s kazık çevre sürtünmesini, p_a atmosfer basıncını ($\approx 100 \text{ kN/m}^2$), $(\bar{N}_{60})$ standart penetrasyon direnci ortalama değerini ifade etmektedir.

Briaud ve ark. (1985) tarafından kumlu zeminlerde fore kazıkların uç direnci için önerilen bağıntılar 5.6. ve 5.7'deki gibi ifade edilebilir [40];

$$q_p = 57,5 \times N_{60} \quad (5.6)$$

$$q_p = 100 \times N_{60} \quad (5.7)$$

Burada N_{60} , örtü yükü düzeltmesi yapılmamış %60 enerji oranına göre düzeltilmiş SPT değeridir.

Reese ve ark. (2006)'ya göre fore kazıkların uç direnci bağıntı 5.8. ile ifade edilebilir [41];

$$q_p = 57,5 \times N_{60} \quad (5.8)$$

Ng ve ark. (2003)'e göre fore kazıkların uç direnci bağıntı 5.9. ile ifade edilebilir [42];

$$q_p = 100 \times N_{60} \quad (5.9)$$

5.2. Koni Penetrasyon Deneyi (CPT) İle Kazık Taşıma Kapasitesi

Koni penetrasyon deneyi (CPT) yaygın olarak uygulanan bir arazi deneyidir. Deney ilk defa Hollanda'da 1934'te kumlu zeminlerdeki çakma kazıkların tasarımı için

kullanılmıştır. Koni penetrasyon deneyi, izdüşüm alanı 10 cm^2 ve Koni tepe açısı 60° olan konik uçlu silindirin 20 mm/s sabit hızla zemine itilmesi esnasında oluşacak kuvvetlerin ölçülmesi esasına dayanır.

Deney esnasında uç direnci (q_c), çevre sürtünmesi (f_s) ve PCPT (Piezo Cone Penetration Test) ile boşluk suyu basıncı (u_w) değerleri bulunmuş olur. Koni penetrasyon deneyi bulguları ile kazık kapasitesi dört farklı yöntemle elde edilebilir. Bu yöntemler aşağıda sıralanmıştır [43].

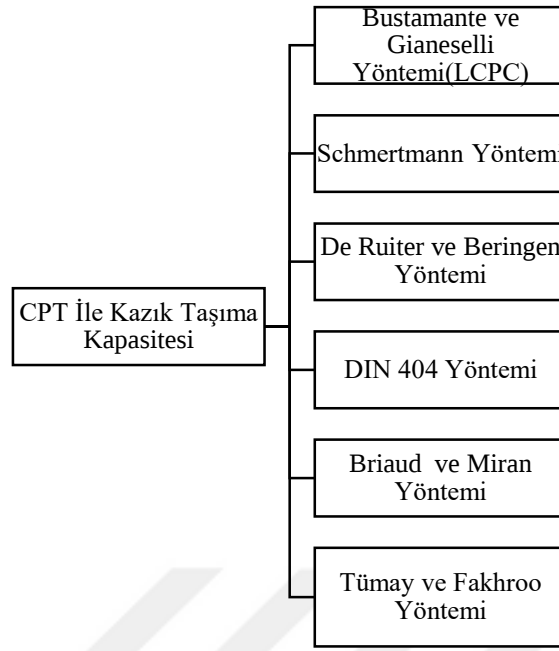
Doğrudan yöntemler, koni uç direnci ile kazık direnci arasındaki benzerliği ele alır. Bazı yöntemlerde birim çevre sürtünmesinin belirlenmesi amacıyla koni gömleğinden ölçümü yapılan çevre sürtünmesinden yararlanılır. Ortalama efektif gerilmeyi, zeminin sıkışabilirliğini ve rijitliğini etkiler.

Ampirik yöntemlerde ilk formüller mekanik koni penetrometlerinden bulunan koni direnci (q_c) değerine dayanmaktadır. Elektronik koni penetrometrelerinin kullanılmaya başlanmasıyla bu yöntemden bulunan koni direnci (q_c) yanında boşluk suyu basıncı (u_1 ve u_2) ve sürtünme direnci de kullanılmaya (f_s) başlanmıştır.

Yarı ampirik yöntemlerde CPT verilerine ilave olarak kazık yüzeyi sürtünme açısı (δ), kayma direnci açısı (ϕ'), sükunetteki yanal toprak basıncı katsayısı (K), düşey efektif gerilme ($\bar{\sigma}_0$), likit limit (w_L), eşdeğer kazık çapı (d), drenajsız kayma direnci (c_u), bağıl yoğunluk (L_D), plastisite indisi (PI) değerleri de kullanılır.

Dolaylı yöntemlerde taşıma gücünün elde edilmesi için CPT'den elde edilen koni uç direnci (q_c) ile çevre sürtünmesi (f_s), kayma direnci açısı (ϕ') ve drenajsız kayma direnci (c_u) değerleri elde edilir. Kazık kapasitesi, elde edilmiş olan zemin değerleri yardımı ile bulunur [44].

Koni Penetrasyon Deneyi (CPT) ile kazık taşıma kapasitesi için birçok farklı yöntem bulunmaktadır. Bu yöntemler Şekil 5.1.'de gösterilmektedir.



Şekil 5.1. CPT ile kazık kapasitesi hesabı yöntemleri

5.2.1. Bustamante ve Gianeselli (1982) (LCPC) yöntemi

5.2.1.1. Kazık birim uç direnci

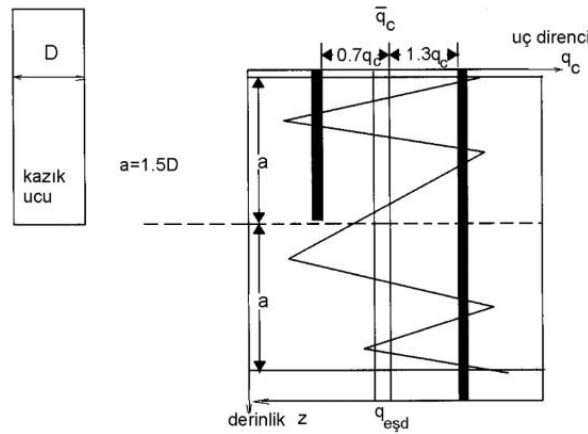
Bu yöntemin diğer adı LCPC (Fransa) yöntemidir. Bustamante ve Gianeselli (1982) değişik zemin ortamlarında farklı metotlarla imali gerçekleştirilmiş 197 tane kazık üzerinde yapmış oldukları basınç ve çekme deneylerinin sonuçlarını değerlendirmiş ve aşağıdaki bağıntı 5.10. ile kazık uç taşıma kapasitesini ifade etmişlerdir [38].

$$f_b = k_b \times q_{esd} \quad (5.10)$$

Burada q_{esd} kazık nihai birim uç direncini (kN/m^2) ve k_b taşıma gücü faktörünü ifade etmekte olup değerler Tablo 5.2.'den elde edilmektedir [9].

Bu metotta d çapındaki bir kazıkta kazık birim uç direnci (f_b) hesabı için gereken q_{esd} , kazığın uç kısmından ($+a = 1,5d$) yukarıda ve kazığın uç kısmından ($-a = 1,5d$) aşağıda bulunan q_c değerlerinin bir ortalaması olarak hesaplanır. Bu metot aşağıdaki şekilde uygulanır:

İlk olarak kazık ucundan $\pm a$ derinlikleri arasındaki q_c değerlerinin ortalaması ($\bar{q}_c$) alınır. Bundan sonra kazığın uç kısmından $(+a)$ ile $(-a)$ aralığında yer alan $1,3q_c$ değerinden büyük dirençler ile kazığın uç kısmından yukarıda $(+a)$ aralığındaki $0,7q_c$ değerinden küçük değerleri ihmal edilerek Şekil 5.2.'de yer alan kalın çizgiyle gösterilmiş olan Koni direnç profili belirlenmiş olur. Üçüncü aşamada kalın çizginin oluşturmuş olduğu kazık ucundan $(+a)$ ve $(-a)$ aralığında yer alan Koni direnci profilinin ortalaması alınarak q_{esd} değeri belirlenmiş olur [38].



Şekil 5.2. q_{esd} hesabı [9]

Lunne ve ark. (1997), Bustamante ve Gianeselli (1982) Yöntemi'nde hesaplanan nihai uç direncinde kullanılacak güvenlik sayısının $GS=3,0$ olarak alınması önerisinde bulunmuşlardır [45].

Tablo 5.2. LCPC taşıma gücü faktörü k_b [9]

Zemin	Delme Kazık	Çakma Kazık
Kil ve Silt	0,375	0,600
Kum ve Çakıl	0,150	0,375
Tebeşir	0,200	0,400

5.2.1.2. Kazık birim çevre sürtünmesi

Bu yöntemdeki kazık birim çevre sürtünmesi her katmandaki zemin özelliğine, kazığın türüne ve imalat biçimine göre değişkenlik gösterir. Birim çevre sürtünmesi aşağıdaki şekilde hesaplanır:

- Kazık tipi için Tablo 5.3.'den kazık kategorisi No.su seçilir (örneğin kare kesitli çakma kazık PPC için: 9).
- Her zemin katmanında Tablo 5.4.'den ya da Tablo 5.5.'den bakılarak zemin çeşidi, tabakanın eşdeğer uç direnci $q_{eşd}$ ve kazık türü için kullanılacak eğri No.su belirlenir.
- Belirlenen eğriyi ve $q_{eşd}$ 'i ele alarak Şekil 5.5.'den ince daneli, Şekil 5.6.'dan iri daneli zeminlerde maksimum birim çevre sürtünmesi (f_s) okunur [9].

Tablo 5.3. LCPC metodunda kazık kategorileri [9]

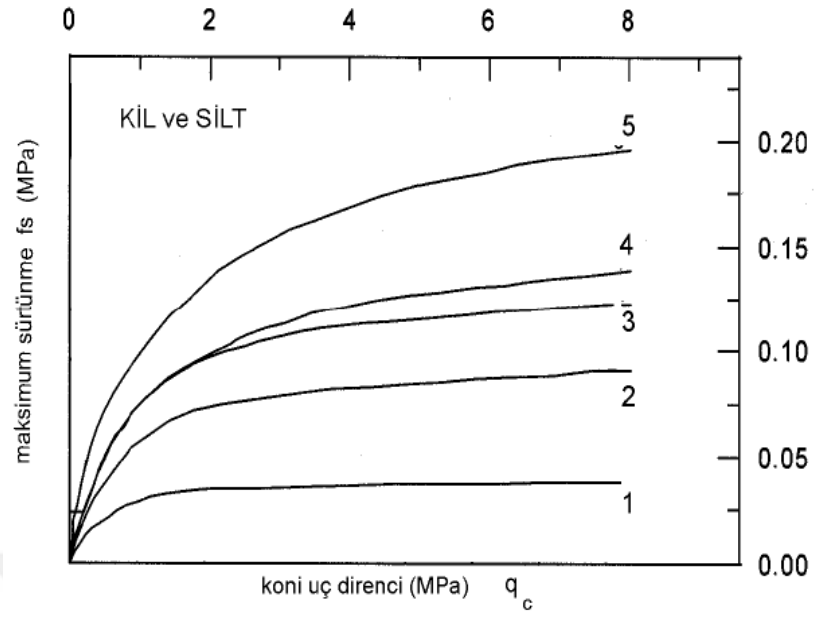
Kategori	Kazık Türü	Yapım Yöntemi
1	Bentonitsiz Delme Şaftlı FS	YASS üstündeki killerde uygulanır: kuyuyu çamurla desteklemeden imal ediliyor.
2	Şaftlı Çamurla Delinen FB	Kuyu çamurla dolu tutulurken betonlama dipten, çamuru yukarıya ittirerek yapılıyor.
3	Kaplama Borulu Delme FTU	Çelik muhafaza borusunun tutucu niteliğinden yararlanılarak imal ediliyor. Beton döküldükçe boru dışarıya çekiliyor.
4	İçi Boş Burgu İle Delinen FTC	Uzunluğu en az kazık boyu kadar olan sürekli burgu ile imal ediliyor. Burgu dışarı alınırken ucundan beton basılıyor.
5	Kuyu FPU	Kazı elle, işçilerin kuyunun dibinde çalışmasıyla yapılıyor. Kuyu yüzeyi destekler veya kaplama borusu ile tutuluyor.
6	Tip 1 Mikrokazık FIG	D<250 mm olan kaplama borulu delme kazık. Kaplama borusu indirilip içi betonla doldurulduktan sonra ağız kapatılarak içeriye basınçlı hava uygulanarak boru dışarı çekilir.
7	Vidalı Kazık VMO	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 BE	150-500 mm çaplı boru, H kazıklar; 2,3,4 parça palplanştan oluşturulan kutular. Kazık profili büyük çarıkla çakılırken beton çarığın yanından basılır ve bir manto oluşturur.
9	Çakma Hazır Beton Kazık BBA	Çakılarak veya titreştirilerek indirilen betonarme veya öngermeli beton kazıklar
10	Çakma Çelik BM	Sadece çakma çelik H, boru ve kaynakla oluşturulan çelik kazıklar
11	Öngermeli İçi Boş Kazık BPR	Çakmadan önce bir araya getirilen hafif donatılı içi boş, silindirik beton. Birimler 1,5-3 m boy, 700-900 mm çap, 150 mm et kalınlıklı ve ucu açık
12	Ucu Tıkaçlı Beton Çakma Kazık BFR	Çakma uçtaki kuru beton tıkaçla yapılır. Borular dışarı çekilirken düşük çökme değerli beton dövülerek yerleştirilir.
13	Çakma Boru Kazık BMO	Ucu tıkaçlı boru yerine indirilir, orta çökme değerli betonla doldurulduktan sonra sadece boru çekilir.
14	İçeri İtilen Beton Kazık VBA	Kazık çapı 300-600 mm, boyu 0,5-2,5 m olan prefabrike veya yerinde dökülen parçalardan oluşturulur. Parçalar hidrolik güçle yerine itilir.
15	İçeri İtilen Çelik Kazık VME	Sadece çelik kazıklar yerine hidrolik güçle itiliyor.
16	Tip 2 Mikrokazık FIP	Çapı <250 mm. Donatı kafesi şafta yerleştirildikten sonra betonlama aşağıdan yukarıya yapılır
17	Yüksek Basınçta Enjeksiyonlu BIP	Çapı >250 mm. Enjeksiyon sistemi yüksek basınçlar sağlayarak betonu basmalıdır.

Tablo 5.4. İnce daneli zeminler için LCPC parametreleri [9]

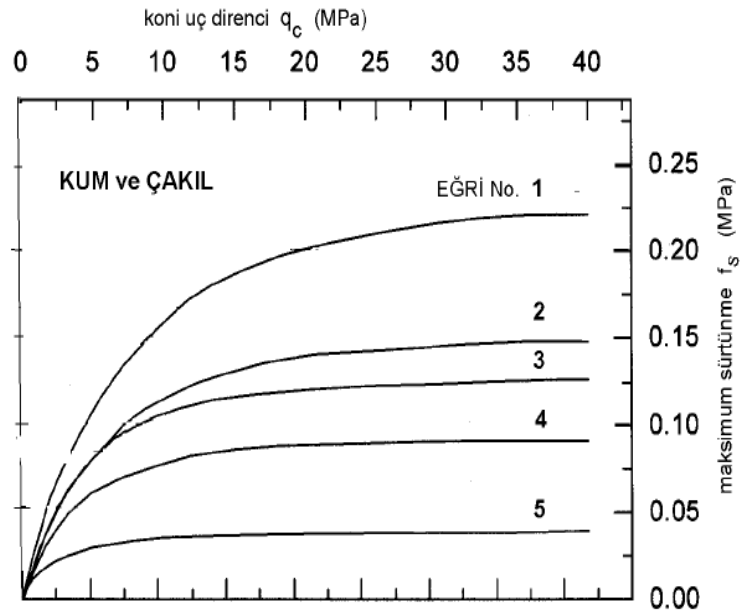
Eğri No.	q_c (MPa)	Kazık Kategorisi	İmal/Yerleştirme İşlemi
1	<0,7 >0,7	1,17,2	
2	>1,2 >1,2 >1,2 >1,2 >1,2	4, 5, 8, 9, 10, 11, 13, 14, 15 7 6 1, 2 3	Deneyim plastisitesi yüksek zeminlerdeki çelik kazıklarda q_s 1 No.lu eğriye kadar düşebilir. Daha önceden yükleme deneyi sonucu yoksa bu eğriyi; çakma 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 5.5. İri daneli zeminler için Lcpc parametreleri [9]

Eğri No.	q_c (MPa)	Kazık Kategorisi	İmal/Yerleştirme İşlemi
1	<3,5	2, 3, 4, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14	
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 f_s 1 ve 2 No.lu eğriler arasında. Yükleme deneyi sonuçları yoksa No.1'i kullan. Bir miktar kohezyon gösteren kumlar için kullanılır
3	>7,5 >7,5	6, 7, 9, 10, 11, 13, 14, 15, 17 2, 3	İri çakıllı kum ve çakıl içindir. Beton kazıklarda yükleme deneyi ile kanıtlanıyorsa No.4 eğriyi kullan. $L < 30$ m olan delme kazıklar ve çakıllı iri kum ve çakıllar için $q_c > 4$ MPa çakıllar için No.4 eğriyi kullan.
4	>7,5	8,12	Çakıllı iri kum ve çakıl için
5	>5	16,17	Sonuçlar kazık taşıma deneyi sonuçlarına dayandırılmışsa No.5 eğriden daha büyük değerler kullanılabilir.



Şekil 5.3. İnce daneli zeminlerde sürtünme eğrisi [9]



Şekil 5.4. İri daneli zeminlerde sürtünme eğrisi [9]

5.2.2. De Ruiter ve Beringen (1979) yöntemi

5.2.2.1. Kohezyonlu zeminlerde kazık birim uç direnci

Killi zeminlerdeki kazık uç direnci hesabında q_c değerlerinden c_u tahmin edilerek statik kazık formüllerindeki değerlere göre kazık uç direnci $9c_u$ değerine eşit olarak kabul edilir.

$$c_u = \frac{q_c}{N_k} \quad (5.11)$$

$$q_c = N_c \times c_u \quad (5.12)$$

Burada N_c taşıma kapasitesi faktörüdür ve $N_c = 9$ 'dur. N_k değişen bir koni faktörünü (15~20), q_c koni ucu dirençlerinin ortalamasını ve c_u drenajsız kayma mukavemetini ifade etmektedir .

5.2.2.2. Kohezyonsuz zeminlerde kazık birim uç direnci

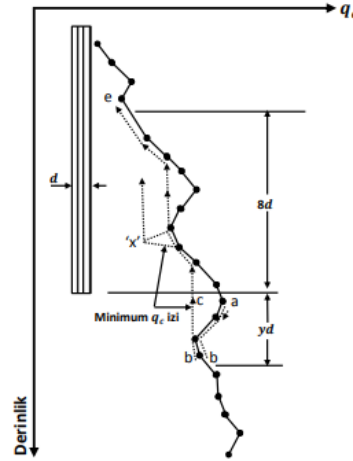
Kumlu zeminlerdeki kazık uç direnci q_p için kazık ucunun $0,7d - 4d$ altında ve kazık ucunun $8d$ üzerinde yer alan koni direnci profili belirlenir ve yöntem Şekil 5.5.'de gösterildiği gibi uygulanır [38].

Kazık uç direnci q_p , bağıntı 5.13.'deki gibi CPT profilinden elde edilmiş olan iki temsili değer ortalaması alınarak elde edilir.

$$q_p = \frac{\bar{q}_{c1} + \bar{q}_{c2}}{2} \quad (5.13)$$

Burada; $\bar{q}_{c1}$ kazık ucu ile y_d derinliği arasındaki q_c değerlerinin aritmetik ortalamasıdır ve a-b yolundaki gerçek q_c değerleri ile b-c yolundaki minimum q_c değerlerinden ortalama hesaplanır. Bu işlem kazık ucundan aşağıda yer alan $y = 0,7d - 4,0d$ arasındaki farklı derinlikler için tekrar edilerek minimum değer olan $\bar{q}_{c1}$

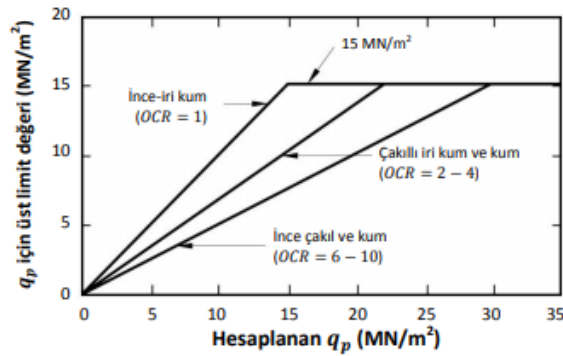
alınır. $\bar{q}_{c2}$ ise kazık ucundan yukarıda yer alan $8d$ mesafedeki (c-e) noktaları arasındaki, minimum iz prensibi metodundaki şekliyle q_c değerlerinin aritmetik ortalaması olarak alınır [38].



Şekil 5.5. De Ruiter ve Beringen (1979) yöntemi [39]

Şekil 5.5'te x noktasında görüldüğü gibi lokal düşüşler kumlu zeminlerde ihmal edilir fakat killi zeminlerde minimum iz prensibine dahil edilerek işlemler yapılır [38].

De Ruiter ve Beringen (1979) yönteminde hesaplanmış olan q_p değerleri Şekil 5.6.'de gösterilen üst limit değerleri ile karşılaştırılmalıdır. Bu yöntemde kullanılacak değerler her Koşulda $q_p < 15 \text{ MN/m}^2$ şartını sağlamalıdır [38].



Şekil 5.6. q_p değerleri için üst limit değerleri [46]

Lunne ve ark. (1997); De Ruiter ve Beringen (1979) yönteminden hesaplanan nihai uç dirençleri için statik yük etkisinde $GS = 2,0$ ve statik + ekstrem yükler etkisinde $GS = 1,5$ alınmasını önermişlerdir [45].

5.2.2.3. Kohezyonlu zeminlerde kazık birim çevre sürtünmesi

Killi zeminlerdeki kazık birim çevre sürtünmesi hesabı q_s , statik formüller ile aşağıdaki bağıntı 5.14. ve 5.15. ile hesaplanır.

$$q_s = \alpha_c \times c_u \quad (5.14)$$

$$c_u = \frac{q_c}{N_k} \quad (5.15)$$

Burada α_c katsayısı ve c_u zeminin drenajsız kohezyonunu, q_s çevre sürtünmesini ifade etmektedir.

De Ruiter ve Beringen (1979) α_c değerinin normal konsolide killerde 1,0, aşırı konsolide killerde ise 0,5 olarak alınmasını uygun görmüşlerdir [46].

5.2.2.4. Kohezyonsuz zeminlerde kazık birim çevre sürtünmesi

Kumlu zeminlerdeki kazık birim çevre sürtünmesi değeri q_s değeri, aşağıda belirtilmiş dört kriterden en düşük olanı alınarak hesaplanır.

$$q_s = 0,12 \text{ mN/m}^2 \quad (5.16)$$

$$q_s = f_s \quad (5.17)$$

$$q_s = \frac{q_c}{300} \quad (5.18)$$

$$q_s = \frac{q_c}{400} \quad (5.19)$$

De Ruiter ve Beringen (1979) yönteminden hesaplanan nihai sürtünme dirençleri için statik yük etkisinde $GS = 2,0$ ve statik + ekstrem yükler etkisinde $GS = 1,5$ alınması önerilmiştir [45].

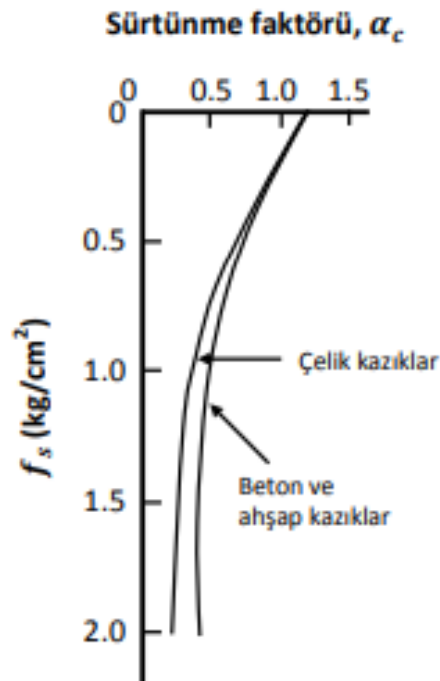
5.2.3. Schmertmann (1978) yöntemi

5.2.3.1. Kohezyonlu zeminlerde kazık birim çevre sürtünmesi

Kohezyonlu zeminlerde birim çevre sürtünmesi direnci (f) için aşağıdaki eşitlik 5.20. kullanılır. α_c katsayısı değeri killi zeminler için 0,2 ile 1,25 arasında değişirken Şekil 5.7.'den elde edilir [9].

$$f = \alpha_c \times f_s \quad (5.20)$$

Burada f kazık birim çevre sürtünmesini, α_c Kohezyonlu zeminde sürtünme faktörünü ve f_s birim çevre sürtünmesi değerini ifade etmektedir.



Şekil 5.7. α_c değerleri [39]

5.2.3.2. Kohezyonsuz zeminlerde kazık birim çevre sürtünmesi

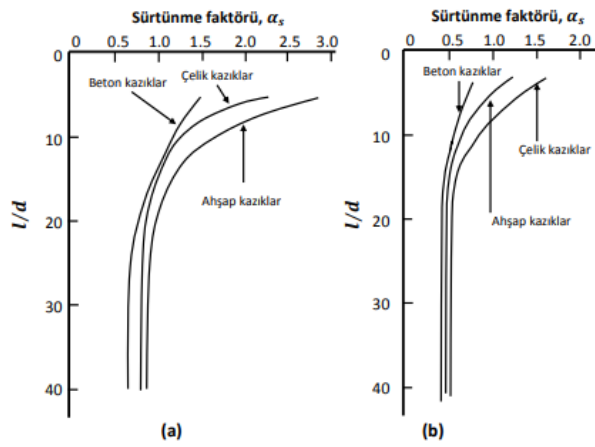
Schmertmann (1978) Yönteminde, kumlu zeminler için hesaplanacak olan uç direnci De Ruiter ve Beringen (1979) yöntemiyle aynı şekilde hesaplanır. Çevre sürtünmesi değeri ise bağıntı 5.21. ve 5.22. ile hesaplanır [39].

$$z < 8d \text{ için } q_s = \alpha_s \times \left(\frac{z}{8d}\right) \times f_s \quad (5.21)$$

$$z > 8d \text{ için } q_s = \alpha_s \times f_s \quad (5.22)$$

Burada α_s kumlu zeminde düzeltme katsayısını, f_s kazık boyunca değişik tabakalara ait değerleri, z yüzeyden derinliği ve q_s toplam sürtünme direncini ifade etmektedir.

α_s düzeltme katsayısı Şekil 5.8.'den alınarak hesap yapılır.

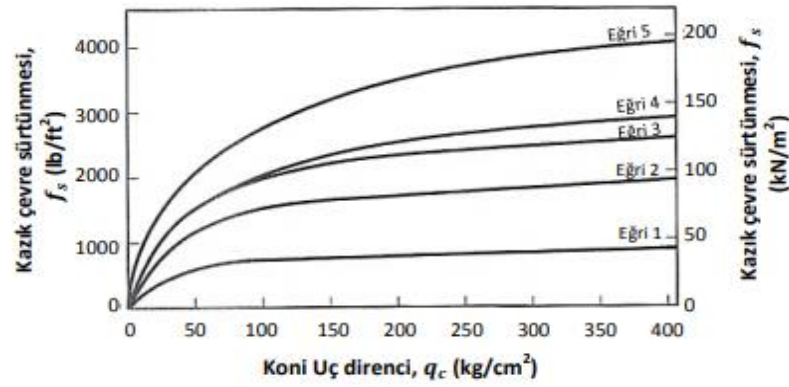


Şekil 5.8. α_s değerleri (a) elektrikli ve (b) mekanik Koni [39]

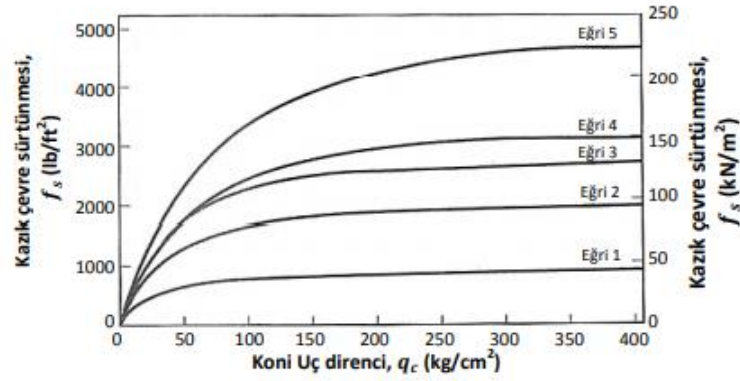
5.2.4. Briaud ve Miran (1991) yöntemi

5.2.4.1. Kazık birim çevre sürtünmesi

Briaud ve Miran (1991) değişik zemin ortamlarında, farklı metotlarla imal ettikleri kazıklar ile ilgili Şekil 5.9. ve 5.10.'de gösterilen grafiklerin kullanılmasını önermişlerdir [47].



Şekil 5.9. Kıl ve siltler için sürtünme direnci abacı [47]



Şekil 5.10. Kum ve çakıllar için sürtünme direnci abacı [47]

Hangi eğrinin hangi abakla kullanılacağı Tablo 5.6.'da belirtilmiştir.

Tablo 5.6. Şekil 5.9 ve 5.10.'daki eğrileri seçimine yönelik tablo [47]

Kazık Tipleri	Şekil 5.9					Şekil 5.10				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
1	a,b	b,i	i							
2	a,b	b,i	i			m,q	q	u	v	
3	j	j				m,q	q	u	v	
4	a	c				m	r			
5	a	c								
6	a	h	h			m	n	s		
7	g	g	g			m	n	s		
8	a	c				m			w	
9	a	c	f			m	p	t		
10	a,d	e				m,o	o	s		
11	a	c	k			m	n			
12	a					m	n		w	
13	a	c				m	n	s		
14	a	c				m	p	t		
15	a,d	e				m,o	o	s		
16	a				1					X
17	a				1			s		X

Yöntemin uygulamasıyla ilgili detaylar aşağıda belirtilmektedir.

Kazık tipleri;

1. Kil zeminlerde desteksiz forajla yapılan kazıklar
2. Bentonit bulamacı ile yapılan kazıklar
3. Muhafaza borusu kullanılarak yapılan kazıklar
4. Burgu forajıyla yapılan yerinde dökme kazıklar
5. El kazısı forajıyla yapılan kazıklar
6. Mikro kazıklar, muhafaza borulu, $d < 250$ mm, basınçlı betonlama
7. Rotasyonla sürülmüş oluklu çelik boru içerisinde foraj ve betonlamayla yapılan kazıklar
8. Enjeksiyon betonuyla kaplanmış çelik boru kazıklar
9. Darbeli ya da vibrasyonlu şahmerdanla çakılan prekast betonarme kazıklar
10. Darbeli şahmerdanla çakılmış çelik kazıklar
11. Art-germeli beton tüp şeklindeki kazıklar
12. Sıkıştırılmış şaftlı olan basınçlı enjeksiyon uygulanmış sömel
13. Muhafaza borulu şaftlı basınçlı enjeksiyon uygulanmış sömel
14. Hidrolik baskıyla sürülmüş betonarme kazıklar
15. Hidrolik baskıyla sürülmüş çelik kazıklar
16. Mikro kazıklar, $d < 250$ mm
17. Yüksek basınçla enjeksiyon uygulanmış kazıklar

Bu kazık türlerinin bazılarının ülkemizde uygulaması yapılmamaktadır. Yukarıda kısaca tanımlanan yapım yöntemlerinin detayları Coduto (1994)'te verilmiştir [48].

Kil ve Silt Zeminler Şekil 5.9.'da;

- $q_c < 0,7 \text{ MN/m}^2$
- $q_c > 0,7 \text{ MN/m}^2$
- $q_c > 1,2 \text{ MN/m}^2$
- Yükleme deneyi yapılmamış yüksek plastisiteli killeri

- Yükleme deneyi yapılmış yüksek plastisiteli killer ve $q_c > 1,2 \text{ MN/m}^2$ olan düşük plastisiteli killer
- $q_c > 2,5 \text{ MN/m}^2$ olan düşük plastisiteli killer, çakıllı bloklu seviyeler içeren killer (g) Eğri 1: yüksek penetrasyon hızı; Eğri 2: düşük penetrasyon hızı ve $q_c < 2,5 \text{ MN/m}^2$; Eğri 3: düşük penetrasyon hızı ve $q_c > 4,5 \text{ MN/m}^2$;
- $q_c > 1,2 \text{ MN/m}^2$; Eğri 2: yükleme deneyi yapılmış, Eğri 3: yükleme deneyi yapılmamış
- Eğri 2: $q_c > 1,2 \text{ MN/m}^2$, foraj burgu ile yapılmış ve süratle betonlanmış,

Eğri 3: $q_c > 1,2 \text{ MN/m}^2$, şaftın çeperleri pürüzlendirilmiş

- Eğri 2 : $q_c > 1,2 \text{ MN/m}^2$ yeraltı suyu yok;

Eğri 1: $q_c > 1,2 \text{ MN/m}^2$ yeraltı suyu pompa ile alınmış, yükleme deneyi yok.

- $1,2 \text{ MN/m}^2 < q_c < 2,0 \text{ MN/m}^2$
- $q_c > 2,0 \text{ MN/m}^2$, tekrarlı enjeksiyon uygulanmış, yükleme deneyi yapılmış

Kumlu ve Çakıllı Zeminler Şekil 5.10.'da;

- $q_c < 3,5 \text{ MN/m}^2$
- $q_c > 3,5 \text{ MN/m}^2$ olan ince kumlar
- $q_c > 3,5 \text{ MN/m}^2$ olan ince kumlar, Eğri 2: yükleme deneyi var, Eğri 1: yükleme deneyi yok
- Eğri 1 : $q_c < 7,5 \text{ MN/m}^2$; Eğri 2: $q_c > 7,5 \text{ MN/m}^2$ (q) Eğri 2: $1 < 30 \text{ m}$, ince kum, $q_c > 5,0 \text{ MN/m}^2$, yükleme deneyi var; deney yok ise Eğri 1.
- $q_c > 5,0 \text{ MN/m}^2$ olan Kohezyonlu kumlar
- iri çakıllı kum veya çakıl, $q_c > 7,5 \text{ MN/m}^2$
- iri çakıllı kum veya çakıl, $q_c > 7,5 \text{ MN/m}^2$; yükleme deneyi var ise Eğri 2; deney yok ise Eğri 1.
- $1 < 30 \text{ m}$ olan iri çakıllı kum veya çakıl, $q_c > 7,5 \text{ MN/m}^2$;
- $q_c > 4,0 \text{ MN/m}^2$ olan çakıllar

- iri çakıllı kum veya çakıl, $q_c > 7,5 \text{ MN/m}^2$
- $q_c > 5,0 \text{ mN/m}^2$, tekrarlı enjeksiyon uygulanmış, yükleme deneyi yapılmış

5.2.5. DIN 4014 yöntemi

5.2.5.1. Kohezyonlu zeminlerde kazık birim uç direnci ve kazık birim çevre sürtünmesi

Kohezyonlu zeminlerde kazık birim uç direnci ile birim çevre sürtünmesi Tablo 5.7. ve 5.8.'de verilen kilin drenajsız kayma direncinden doğrudan belirlenir.

Tablo 5.7. Kohezyonlu zeminlerde birim uç direnci değerleri [46]

Ortalama c_u (MN/m ²)	Birim Uç Direnci (MN/m ²)
0,1	0,80
0,2	1,50

Tablo 5.8. Kohezyonlu zeminlerde birim çevre direnci değerleri [46]

Ortalama c_u (MN/m ²)	Birim Çevre Direnci (MN/m ²)
0,025	0,025
0,1	0,04
0,2	0,06

5.2.5.2. Kohezyonsuz zeminlerde kazık birim uç direnci ve kazık birim çevre sürtünmesi

Bu yöntemde Kohezyonsuz zeminlerde kazık birim uç direnci ile birim çevre sürtünmesi hesabında Tablo 5.9. ile 5.10.'da yer alan zeminde ölçülmüş ortalama q_c değerlerinden yararlanılır. Tablo 5.9.'da yer alan ortalama q_c değeri kazık ucundan $3d$ (d =kazık çapı) aşağıdaki mesafede ölçümü yapılmış q_c değerlerinin ortalamasıdır. Tablo 5.10.'daki ortalama q_c ise kazık boyunca ölçülmüş q_c değerlerinin ortalamasını vermektedir [38].

Tablo 5.9. Kohezyonsuz zeminlerde birim uç direnci değerleri [46]

Ortalama q_c (MN/m ²)	Birim Uç Direnci (MN/m ²)
10	2,0
15	3,0
20	3,5
25	4,0

Tablo 5.10. Kohezyonsuz zeminlerde birim çevre direnci değerleri [46]

Ortalama q_c (MN/m ²)	Birim Çevre Direnci (MN/m ²)
5	0,04
10	0,08
15	0,12

5.2.6. Tümay ve Fakhroo yöntemi

5.2.6.1. Kazık birim uç direnci

Killi zeminlerde kazık kapasitelerinin hesaplanmasında tercih edilen yöntemlerden biri de Tümay ve Fakhroo yöntemidir. Bu yöntemde birim uç kapasitesi (q_t) Schmertmann yöntemine benzer olarak eşitlik 5.23. ile hesaplanır [9].

$$q_t = \frac{q_{c1} + q_{c2}}{4} + \frac{q_a}{2} \quad (5.23)$$

Burada q_t birim uç kapasitesini, q_{c1} kazık ucundan 4D aşağıda ölçülmüş uç dirençlerinin (q_c) ortalamasını, q_{c2} kazık ucundan 4D aşağıda ölçülmüş en küçük (q_c) değerlerinin ortalamasını, q_a kazık ucundan 8D yukarıda ölçülmüş en küçük (q_c) değerlerinin ortalamasını ifade etmektedir.

Bu yöntemde uç direnç için üst limit değeri 15 MPa olarak verilmiştir.

5.2.6.2. Kazık birim çevre sürtünmesi

Birim çevre sürtünmesi ise bağıntı 5.24. ile hesaplanır.

$$F = m \times f_{sa} \quad (5.24)$$

Burada;

$$f_{sa} = \frac{F_t}{L} \quad (5.25)$$

f_{sa} 72 kPa olarak kabul edilebilir. Burada F_t kazık boyunca ölçülen toplam çevre sürtünmesini ve L kazık boyunu ifade etmektedir.

Burada m adezyon faktörü bağıntı 5.26. ile aşağıdaki gibi bulunur.

$$m = 0,5 + 9,5 \times e^{-9 \times f_{sa}} \quad (5.26)$$

BÖLÜM 6. YAZILIMLAR İLE KAZIK KAPASİTESİ HESABI

6.1. Louisiana Pile Design-Cone Penetration Test Program

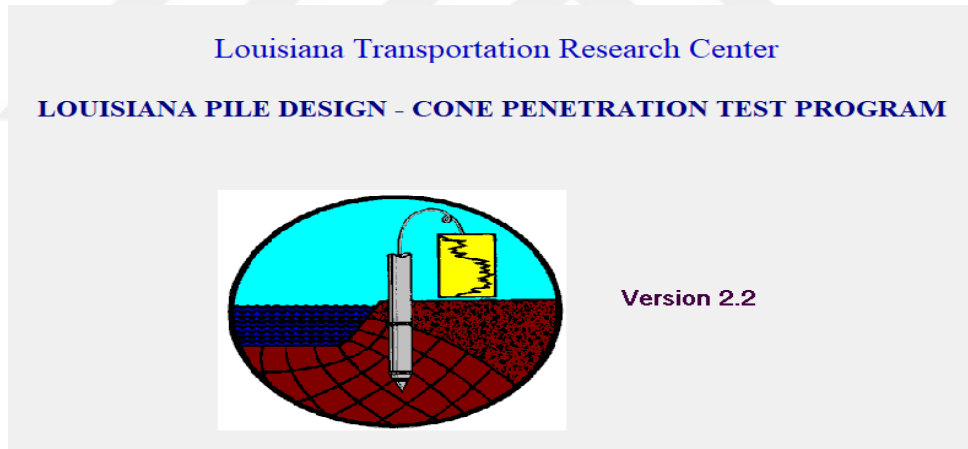
Louisiana zeminleri genellikle alüvyal olduğundan, karayolu köprüleri ve diğer ulaşım yapıları genellikle kazıklı temellerle desteklenmektedir. Sürtünme kazıklarının yük kapasitesinin doğru bir şekilde tahmin edilmesi her zaman zor bir iştir. Louisiana DOTD kazık tasarımı, laboratuvar verilerinden ve standart penetrasyon deneyinden statik analize dayanmıştır. CPT verilerini kullanarak kazık kapasitesini tahmin etmek için çeşitli yöntemler önerilmiştir. Louisiana DOTD, CPT teknolojisini 1980'lerin ortalarında uygulamaya başlamıştır. İlk başta, teknoloji kazıklı temeller için sıkı kum tabakalarındaki direnç yükselişlerini tanımlamakla sınırlıydı. Kazık uzunluklarını tahmin etmek için tasarım aşamasında öncelikle sondajlar yapılmış, köprü yapımı sırasında CPT'ler yapılmıştır.

O zamandan beri, Louisiana Ulaştırma Araştırma Merkezi (LTRC), diğer Louisiana zemin tipleri için CPT ve mini-CPT teknolojisini uygulamak üzere araçlar ve yöntemler geliştirmek amacıyla çeşitli araştırma projeleri yürütmüştür. Uygulamayı Kolaylaştırmak için Louisiana DOTD, geoteknik mühendislik analizi ve tasarımında kullanılmak üzere çeşitli Visual Basic yazılım araçları geliştirmiştir. Zemin tiplerinin tanımlanması ve sınıflandırılması CPT teknolojisinin ilk uygulamalarından biri olmuştur. CPT ve PCPT veri profillerini, zemin sondajlarından toplanan zemin numunelerine ait veri tabanları ile ilişkilendirerek çeşitli zemin sınıflandırma yöntemleri geliştirilmiştir.

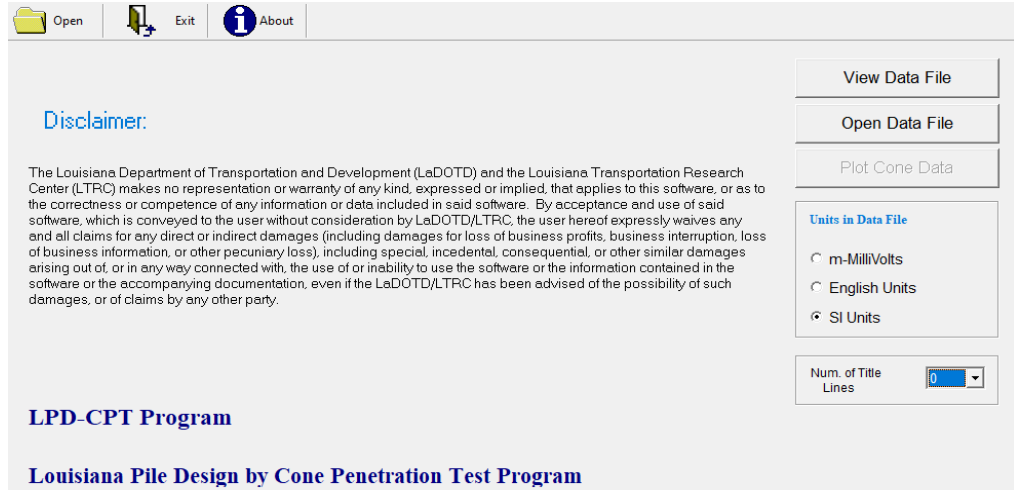
LTRC, Kohezyonlu zeminlerde çakma prekast beton kazıkların eksenel yük taşıma kapasitesini tahmin etmek için en uygun CPT yöntemlerini belirlemek üzere bir araştırma projesi yürütmüştür. Sekiz CPT yönteminden tahmin edilen nihai kazık

kapasiteleri değerlendirilerek Louisiana zeminlerinde uygulanmak üzere üç CPT yöntemi belirlenmiştir. Bunlar; Fransız Merkez Köprü ve Asfalt Laboratuvarı (veya LCPC) yöntemi, De Ruiter ve Beringen ve Schmertmann yöntemleridir. Kazık tasarımı ve analizi için CPT teknolojisinin Louisiana DOTD uygulamasını Kolaylaştırmak amacıyla, üç yöntem Microsoft Windows tabanlı Visual Basic programına Kodlanmıştır [50].

LPD-CPT yazılımı çalıştırıldığında ortaya çıkan açılış ekranı Şekil 6.1.'de görülmektedir. Sonrasında Şekil 6.2.'de görüldüğü gibi uygulamanın yasal sorumluluğu ve kullanım hakları bölümü olan “Disclaimer” bölümü, ölçü birimlerinin olduğu “Units in Data File” bölümü, okumaların kaçınıcı satırdan itibaren hesaba katılması gerektiği bölüm “Num. Of Title Lines” bölümü, programda açılmak istenen data dosyasını ya da incelenmek istenen datayı gösteren “View Data File” ve “Open Data File” bölümleri ekrana gelmektedir.

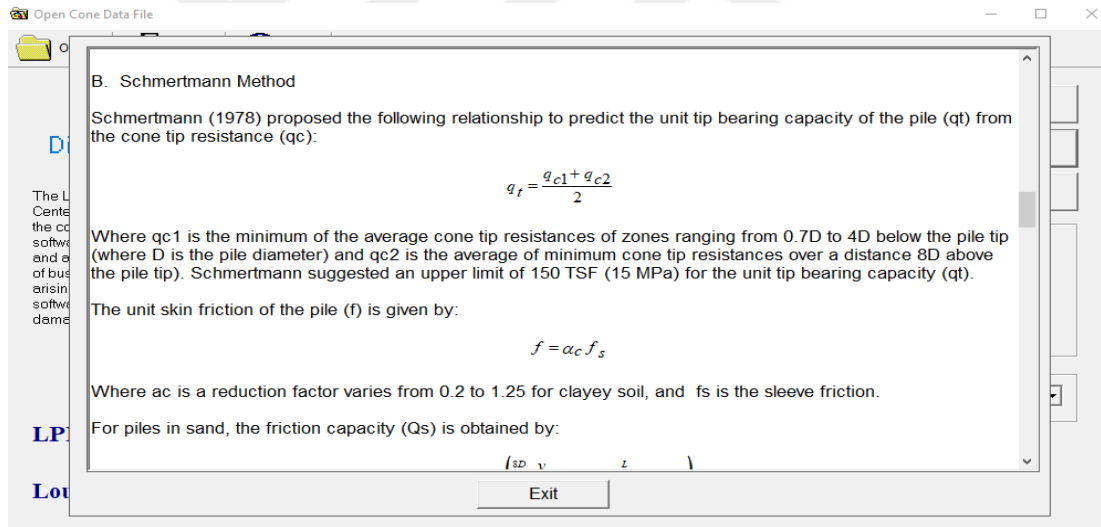


Şekil 6.1. Açılış ekranı



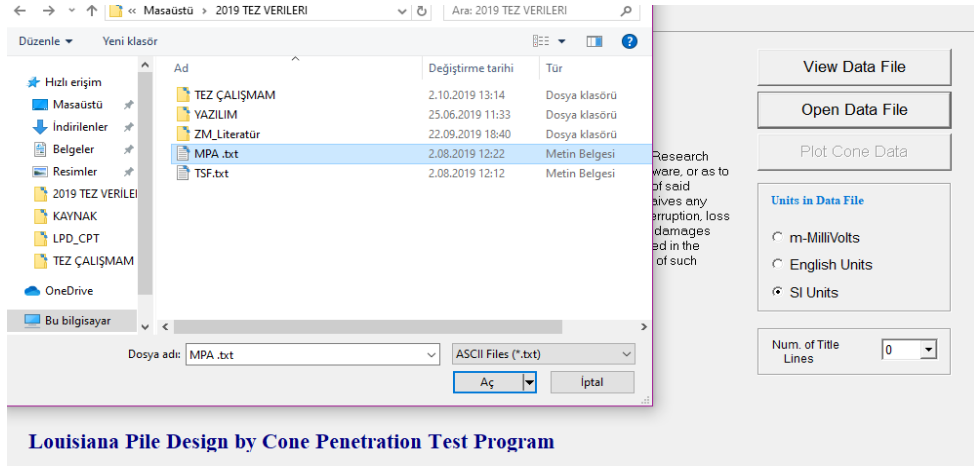
Şekil 6.2. Program ara yüzü

Şekil 6.3.'de "About" sekmesinde yer alan ve programda kullanılan yöntemlerin çözüm esaslarını anlatan teori kısmı gösterilmektedir.



Şekil 6.3. About kısmı analiz yöntemlerinin anlatımı

İlk olarak Şekil 6.4.'de görüldüğü gibi program ara yüzünde bulunan Open Data File bölümünden bilgisayarda CPT verilerinin bulunduğu txt uzantılı dosya seçilir. Şekil 6.5. ve Şekil 6.6.'da bu tez çalışmasında kullanılan iki kesit örnek olarak sunulmuştur. Veri dosyasında okuma değerleri MPa cinsinden olduğu için SI Units ölçü birimi seçilir.



Şekil 6.4. Data dosyasının programa aktarılması

0	0.697	0.016
0.02	1.928	0.018
0.04	3.625	0.031
0.06	4.333	0.031
0.08	1.746	0.068
0.1	1.746	0.068
0.12	1.335	0.067
0.14	1.269	0.067
0.16	1.203	0.067
0.18	1.219	0.07
0.2	1.17	0.07
0.22	1.17	0.065
0.24	1.104	0.055
0.26	1.038	0.058
0.28	1.021	0.055
0.3	0.972	0.052
0.32	0.923	0.055
0.34	0.857	0.056
0.36	0.791	0.056
0.38	0.774	0.053
0.4	0.708	0.052
0.42	0.692	0.049
0.44	0.692	0.045
0.46	0.692	0.042
0.48	0.692	0.04
0.5	0.708	0.039
0.52	0.675	0.038
0.54	0.643	0.037
0.56	0.626	0.036
0.58	0.577	0.035
0.6	0.56	0.033

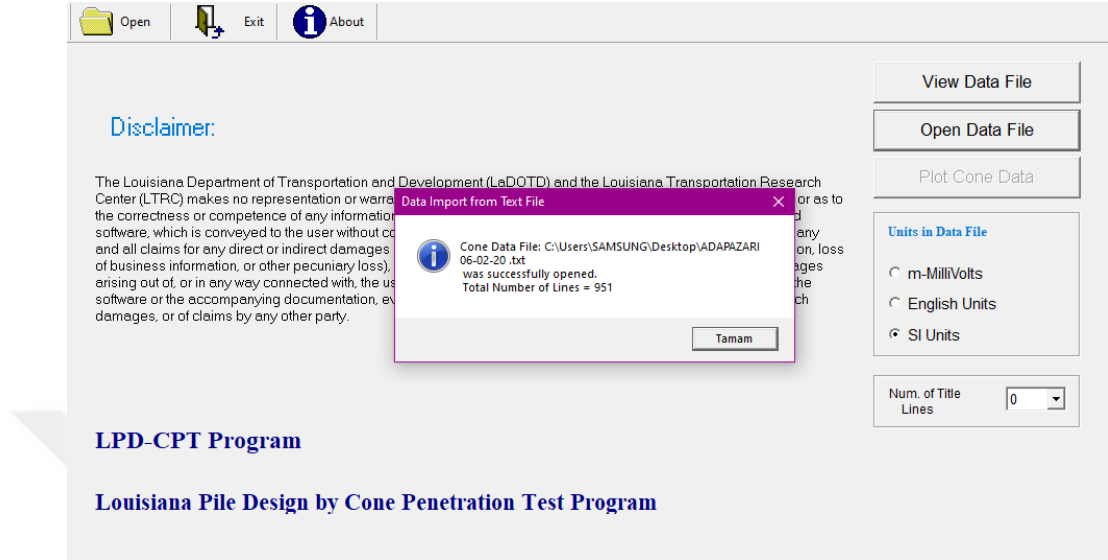
St 1, Str 1

Şekil 6.5. Adapazarı kesiti data verilerinin olduğu txt dosyası

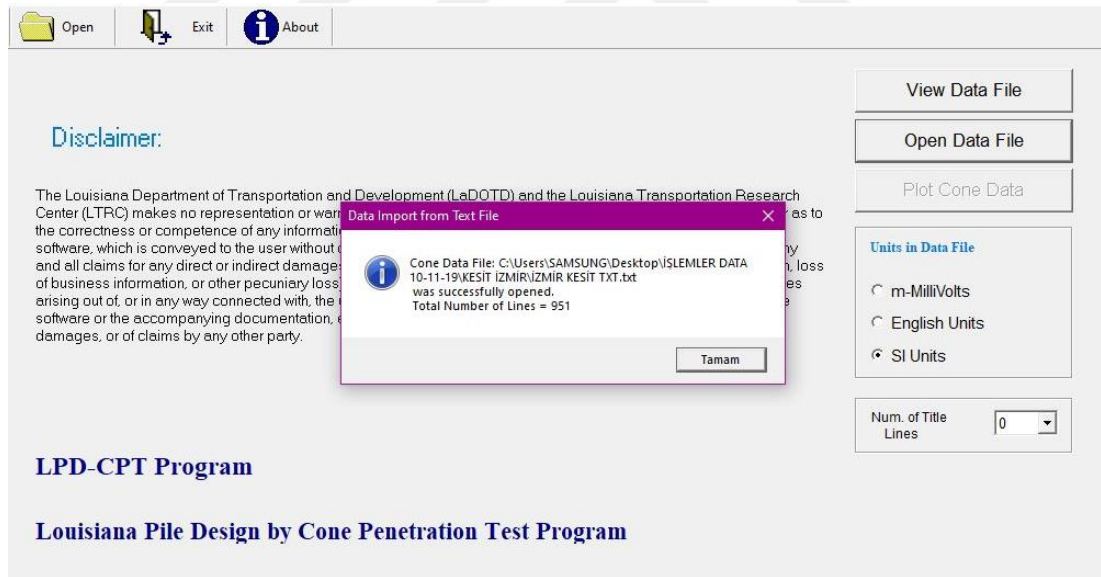
0	0.282	0.01
0.02	0.282	0.01
0.04	0.248	0.01
0.06	0.279	0.01
0.08	0.295	0.01
0.1	0.31	0.01
0.12	0.362	0.01
0.14	0.593	0.011
0.16	0.675	0.013
0.18	0.741	0.016
0.2	0.791	0.015
0.22	0.906	0.013
0.24	1.021	0.015
0.26	1.153	0.016
0.28	1.153	0.015
0.3	0.873	0.015
0.32	0.972	0.015
0.34	1.087	0.011
0.36	1.499	0.014
0.38	1.45	0.011
0.4	1.318	0.023
0.42	1.302	0.031
0.44	1.466	0.039
0.46	1.582	0.051
0.48	1.648	0.092
0.5	1.483	0.105
0.52	1.335	0.112
0.54	1.236	0.123
0.56	1.17	0.126
0.58	1.005	0.125
0.6	0.282	0.01

Şekil 6.6. İzmir kesiti data verilerinin olduğu txt dosyası

Txt uzantılı dosya açılıp başarılı bir şekilde programa aktarıldığında dosyanın kaç satırdan oluştuğu mesajı da gösterilir (Şekil 6.7 ve Şekil 6.8).



Şekil 6.7. Adapazarı kesiti CPT verilerinin txt dosyasının aktarılması

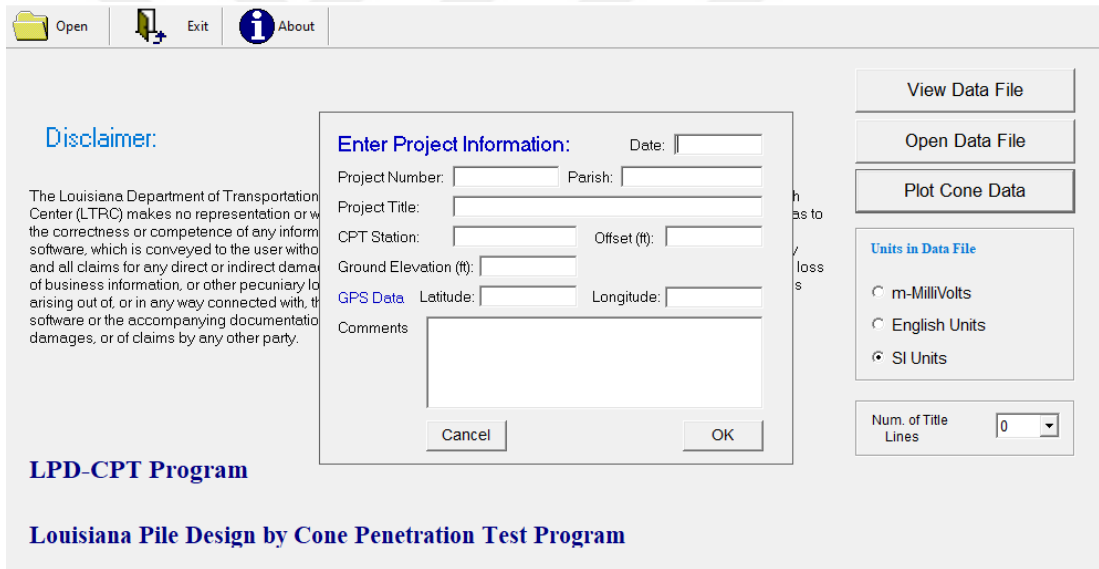


Şekil 6.8. İzmir kesiti CPT verilerinin txt dosyasının aktarılması

Plot Cone Data sekmesi seçilerek (Şekil 6.9) ortaya çıkan ekranda çeşitli proje bilgileri girilir (Şekil 6.10.).

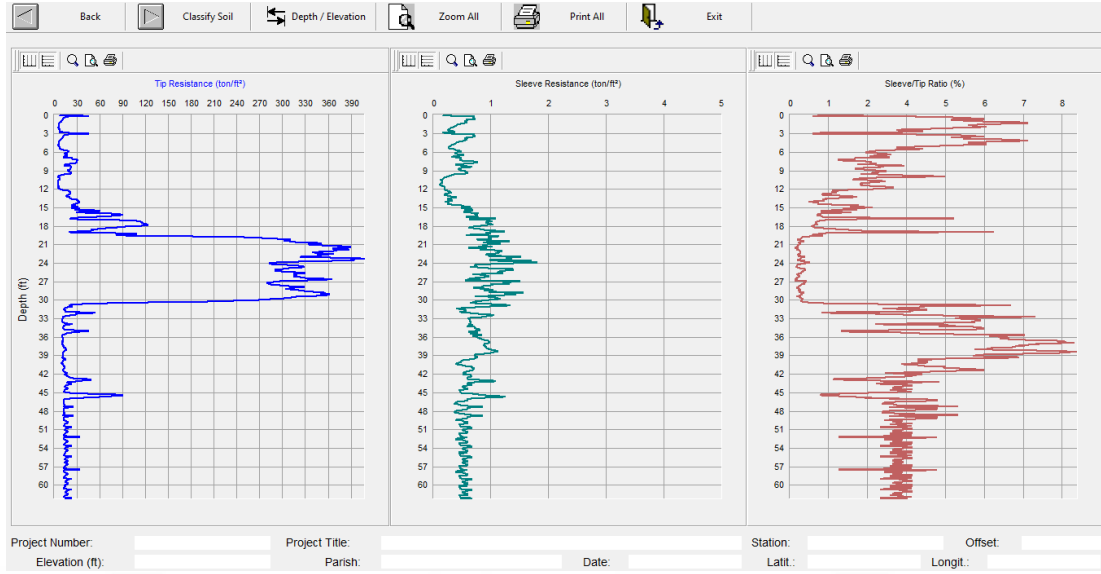


Şekil 6.9. Plot Cone Data bölümünün aktifleştirilmesi

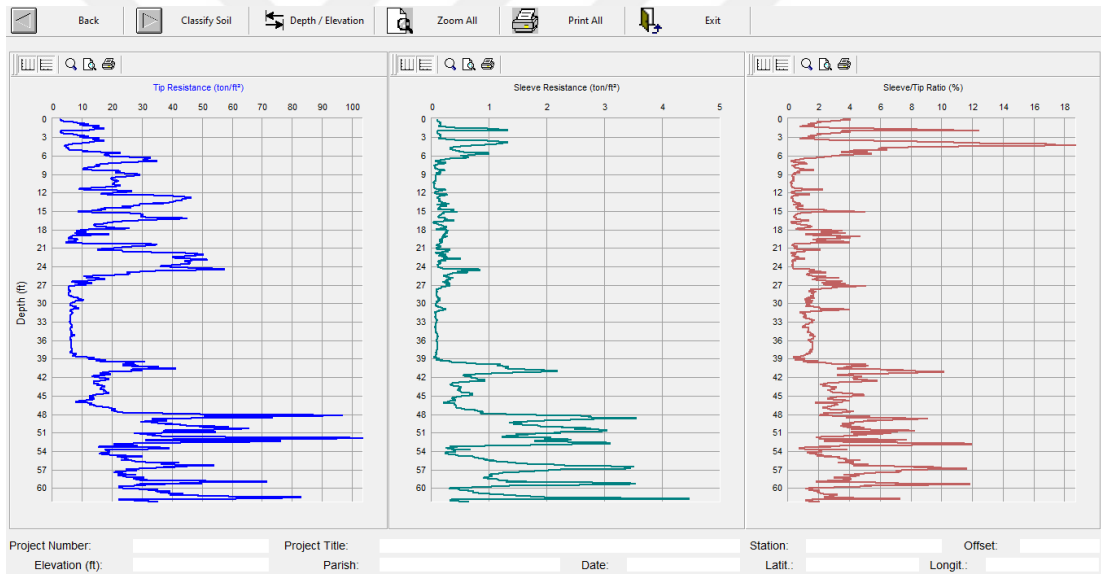


Şekil 6.10. Veri özelliklerinin girildiği pencere

Proje ile ilgili özellikler girildikten sonra ‘OK’ tuşuna basılır ve sonra Şekil 6.11. ve Şekil 6.12’de gösterildiği gibi uç direnci, çevre sürtünmesi ve çevre sürtünmesi/uç direnci değerleri İngiliz ölçü birimine çevrilmiş halleriyle ekrana gelir.

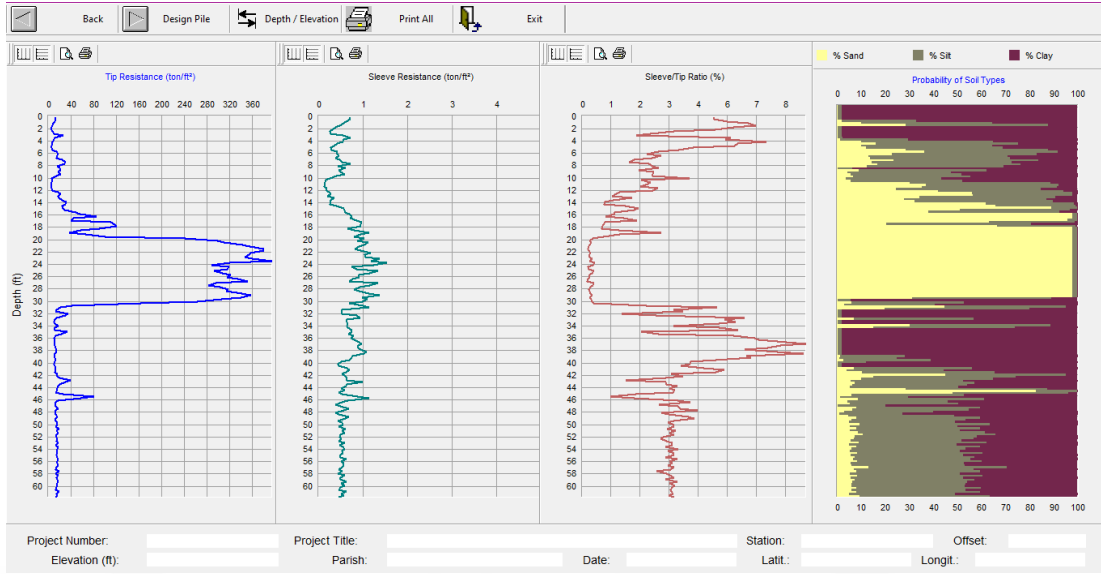


Şekil 6.11. Adapazarı kesiti CPT veri grafikleri

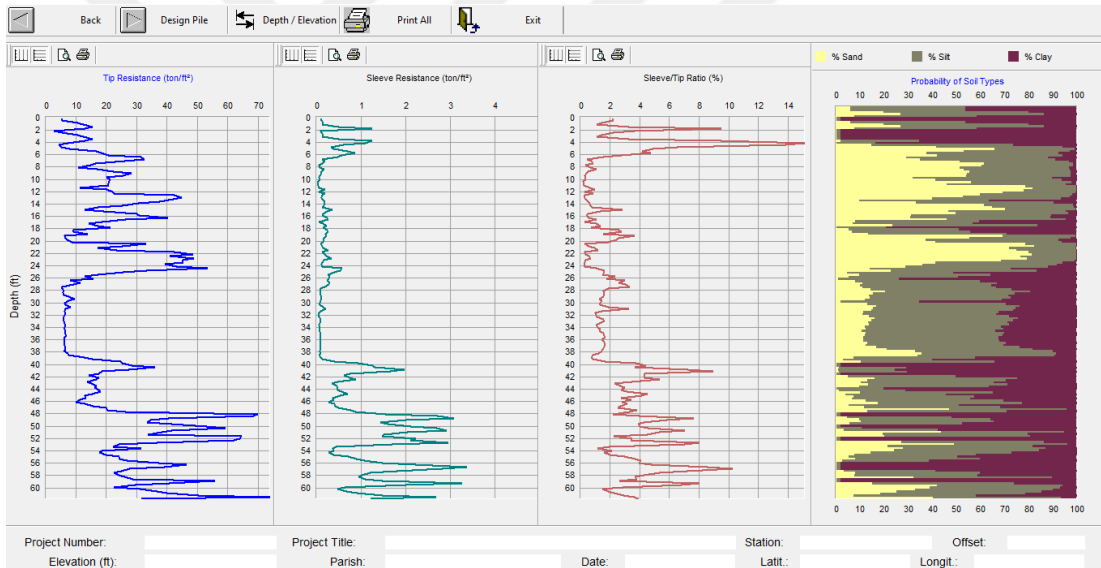


Şekil 6.12. İzmir kesiti CPT veri grafikleri

Daha sonra zemin sınıflandırması (Classify Soil) bölümü seçilir ve Şekil 6.13. ve Şekil 6.14.'de görüldüğü gibi düzeltilmiş CPT verisi ile birlikte tahmini zemin içerikleri (Probability of Soil Types) ortaya çıkar.



Şekil 6.13. Adapazarı kesiti düzeltilmiş CPT verisi ve zemin içerikleri



Şekil 6.14. İzmir kesiti düzeltilmiş CPT verisi ve zemin içerikleri

Daha sonra Kazık Dizaynı (Design Pile) sekmesi seçilir. Açılan pencerede Şekil 6.15.'da görüldüğü gibi Select Design Method bölümünde LCPC, Schmertmann ve De Ruiter ve Beringen yöntemlerinden istenilenler seçilir. Select Pile Properties bölümünde kazıkla ilgili özellikler girilir. Burada kazık tipi, kazık şekli, kazık çapı, hesabın hangi derinlikten itibaren başlayacağı, hesabın hangi derinlikte sonlanacağı, zemin tabakalarının nasıl seçileceği (Otomatik seçim, kullanıcı seçimi), çıktı dosyası ile özellikler bölümü, çıktı için dosya adı seçme gibi özellikler bulunur.

Şekil 6.15.'deki gibi özellikler işaretlenerek çap İngiliz birimi cinsinden girilir. Bunun yanında diğer girdiler de tamamlanarak Analysis sekmesi tıklanır ve kazık ucu altındaki zeminle ilgili kabul işaretlenir (Şekil 6.16.).

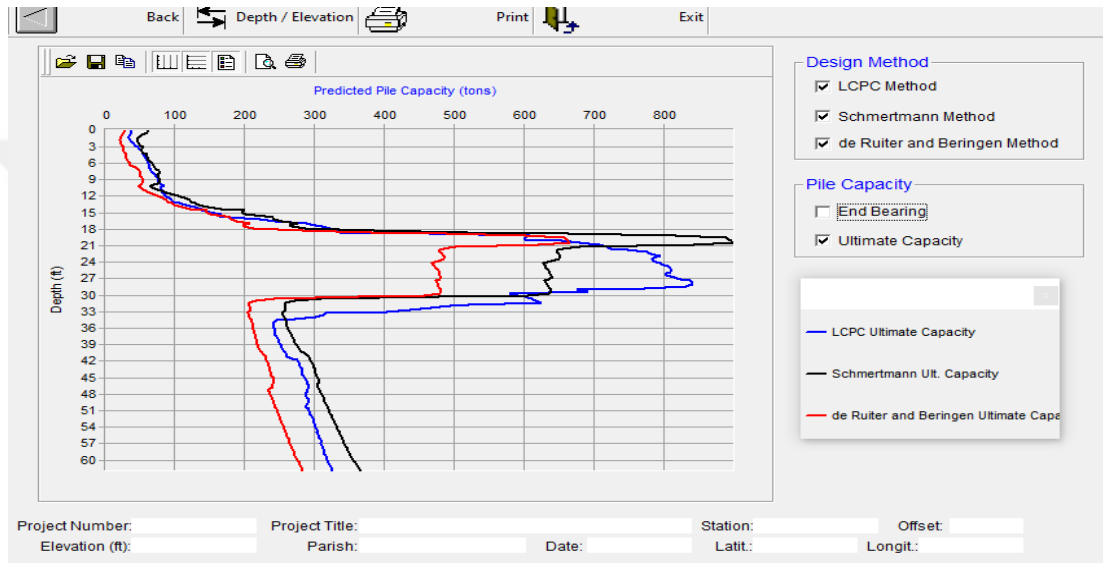
Şekil 6.15. 80 cm çaplı kazıkta özelliklerin belirlenmesi

Şekil 6.16. Zeminle ilgili derinlik opsiyonları seçimi

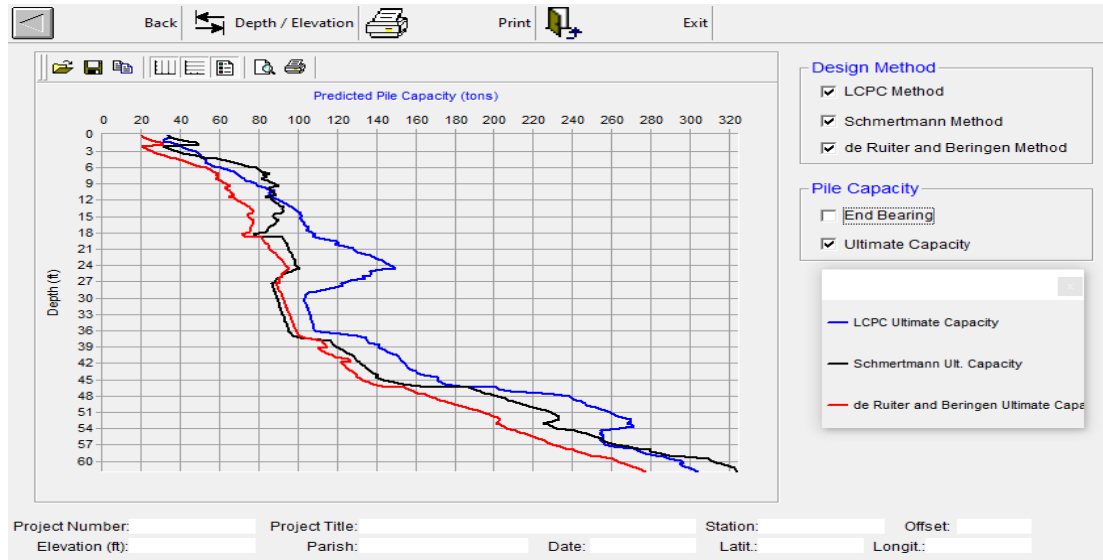
Şekil 6.16.'da görüldüğü üzere kazık ucu ile ilgili hesapta üç seçenek bulunmaktadır. Ortalama değer, uç noktadaki değer ve belirlenmiş bir maksimum değer seçeneklerinden biri hesaba devam edilmektedir. Bu tez çalışmasında opsiyon 1 seçilerek işlemler yapılmıştır. Şekil 6.17.ve Şekil 6.18.'de iki kesit için üç yöntemle

çözümü yapılmış 80 cm çaplı kazığın toplam kazık kapasite grafikleri gözükmetedir.

Şekil 6.17’de gösterildiği üzere Design Method kısmında istenen yöntem(ler) için uç kapasitesi (End Bearing) ve son taşıma kapasitesi (Ultimate Capacity) grafikleri çizdirilebilir. Bu grafikte kazığın tahmini taşıma gücü (Predicted Pile Capacity) ton cinsinden, derinlik (Depth) feet cinsinden verilir.



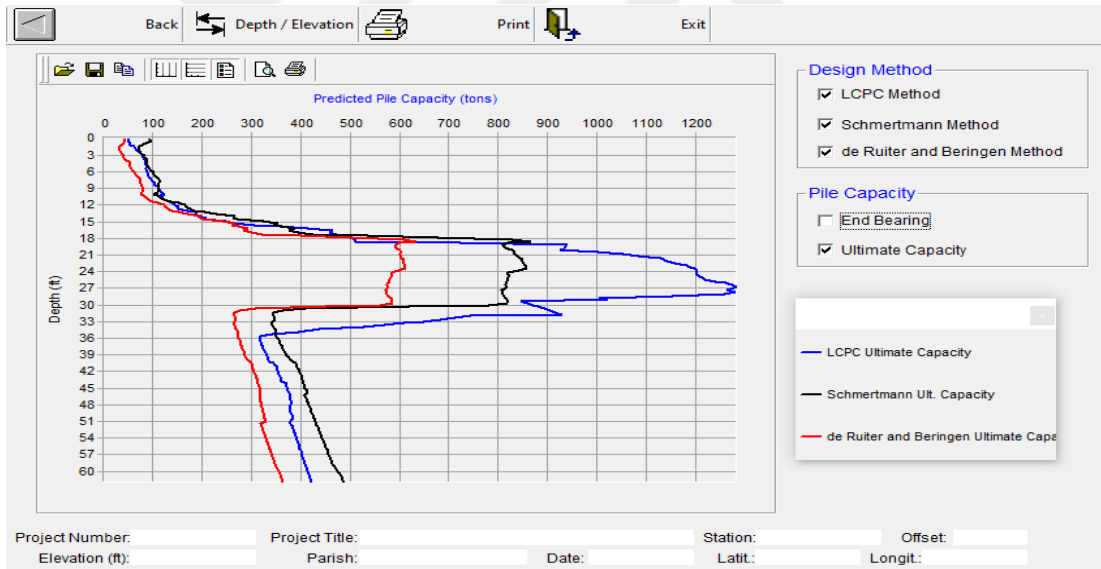
Şekil 6.17. Adapazarı kesitinde 80 cm çaplı kazık için çözüm sonucu



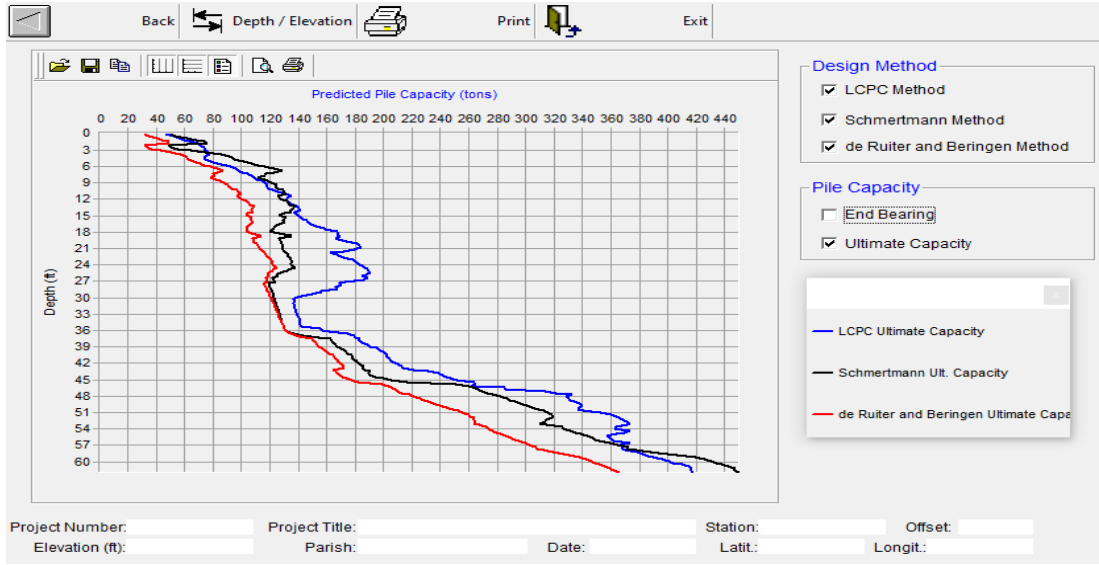
Şekil 6.18. İzmir kesitinde 80 cm çaplı kazık için çözüm sonucu

Şekil 6.19., Şekil 6.20. ve Şekil 6.21.'de 100 cm çaplı kazıkla ilgili veri ayrıntıları ve hesap sonuçları görülmektedir.

Şekil 6.19. 100 cm çaplı kazıkta özelliklerin belirlenmesi



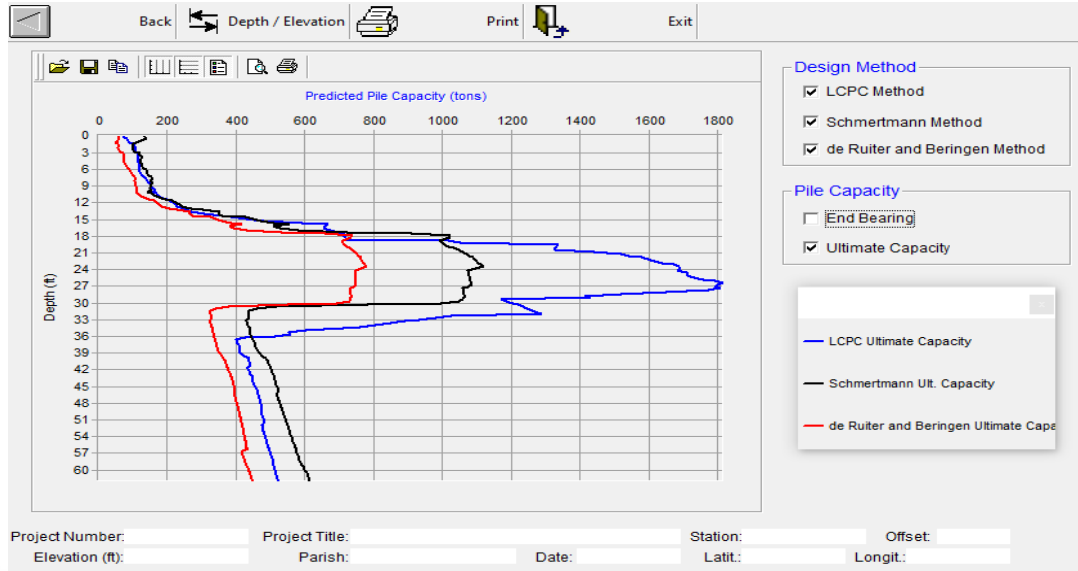
Şekil 6.20. Adapazarı kesitinde 100 cm çaplı kazık için çözüm sonucu



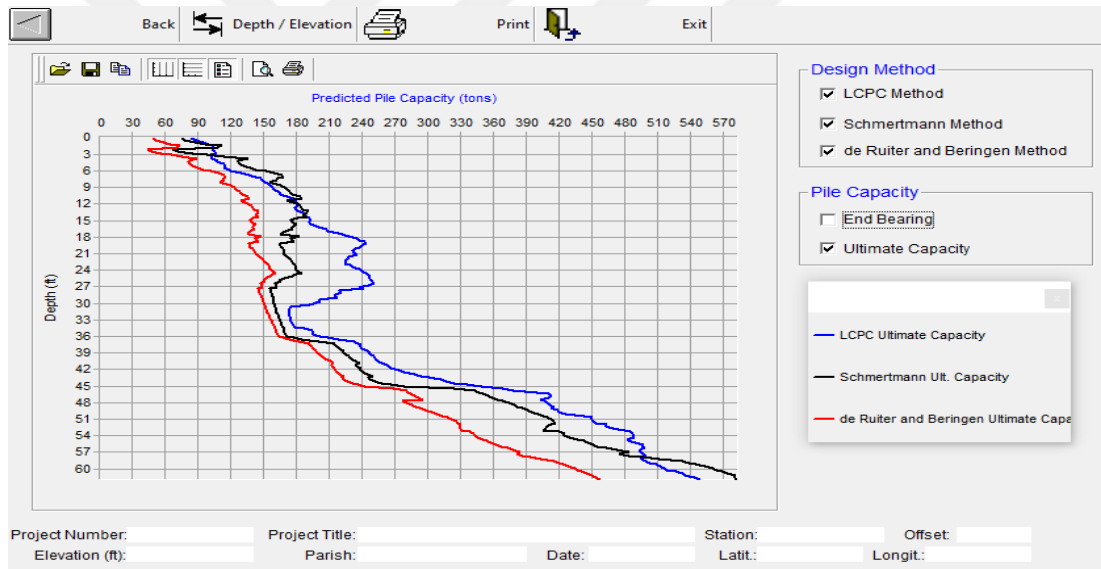
Şekil 6.21. İzmir kesitinde 100 cm çaplı kazık için çözüm sonucu

Şekil 6.22., Şekil 6.23. ve Şekil 6.24.’de 120 cm çaplı kazıkla ilgili veri ayrıntıları ve hesap sonuçları görülmektedir.

Şekil 6.22. 120 cm çaplı kazıkta özelliklerin belirlenmesi



Şekil 6.23. Adapazarı kesitinde 120 cm çaplı kazık için çözüm sonucu

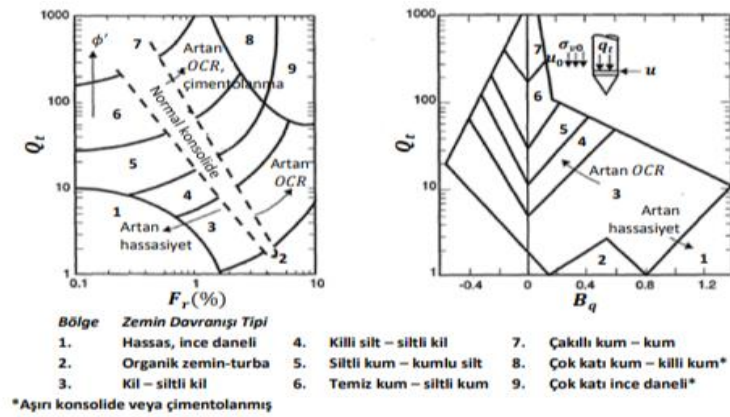


Şekil 6.24. İzmir kesitinde 120 cm çaplı kazık için çözüm sonucu

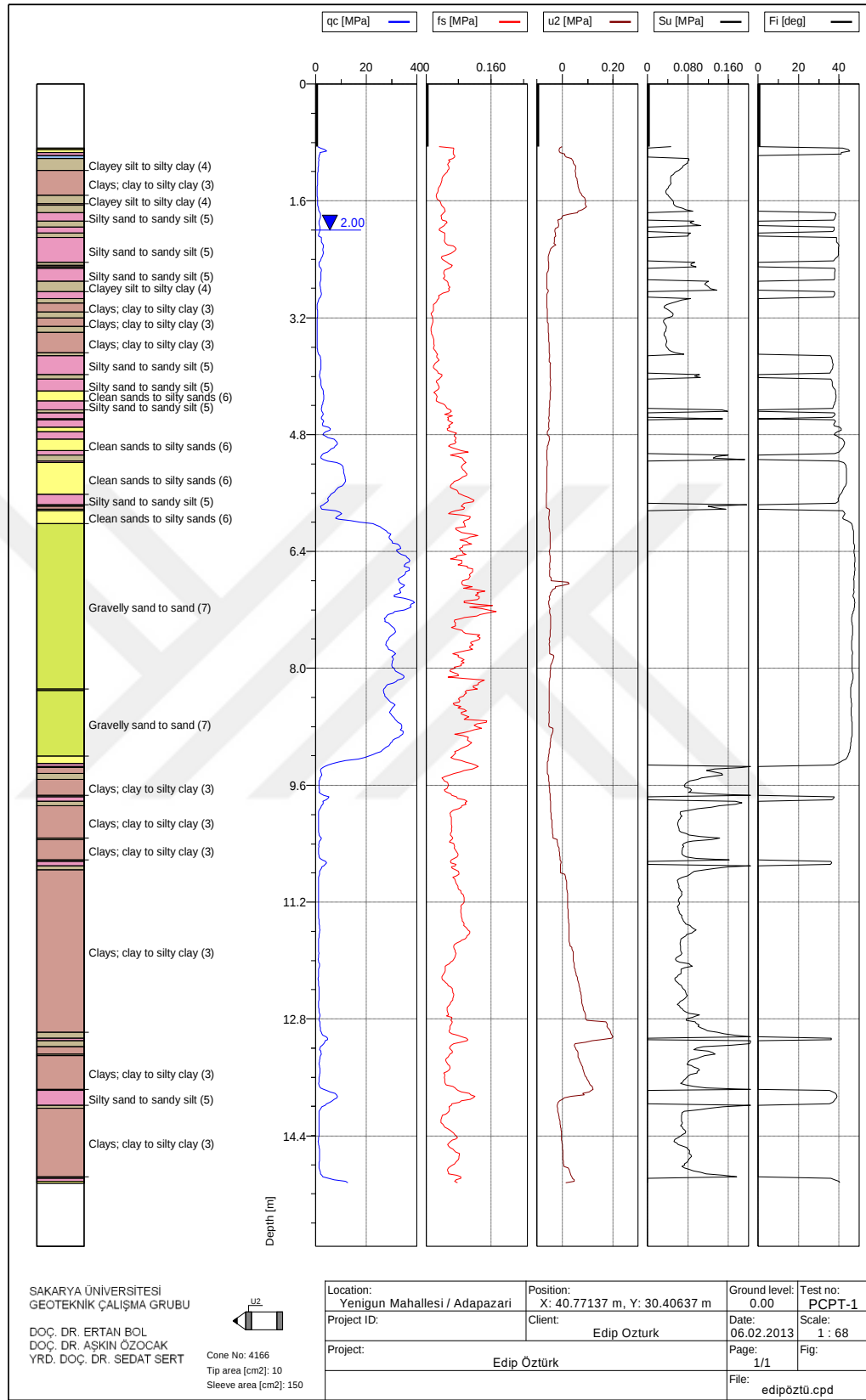
BÖLÜM 7. FARKLI BOY VE ÇAPA SAHİP KAZIKLARDA ELLE ÇÖZÜM

7.1. Adapazarı Örnek Kesitinde CPT ile Kazık Taşıma Kapasitesi

Adapazarı Yenigün Mahallesi'nde gerçekleştirilen PCPT-1 isimli sondaya ait CPT verileri kullanılarak 80 cm, 100 cm ve 120 cm çaplı; 9 m, 12 m ve 15 m boylarındaki kazıklarda her bir yöntemde toplam dokuz kazık için hesap yapılmıştır. CPT-PRO yazılında Robertson (1990)'a göre yapılan zemin sınıflandırılmasında zemin profilini kil, siltli karışımları, kum, çakıl karışımları oluşturmaktadır (Şekil 7.1.). Şekil 7.2.'de hesaplarda kullanılan Adapazarı örnek kesiti görülmektedir. Her kazık için Louisiana Pile Design-Cone Penetration Test programı kullanılmış ve elle yapılan hesaplamalarda kazık kapasiteleri belirlenmiştir. Kazık kapasite hesaplarının çözümünün bir kısmı Microsoft Excel® programı yardımı ile yapılmıştır. Toplam dokuz farklı kazık için, CPT ile kazık taşıma yöntemlerinden olan Schmertmann, LCPC, de Ruiter ve Beringen yöntemleri kullanılmış olup zemin cinsine göre elde edilen grafiklerinden birim uç direnç, çevre sürtünmesi ve toplam kazık taşıma kapasitelerine ulaşılmıştır.



Şekil 7.1. Robertson (1990) zemin sınıflandırması



Şekil 7.2. CPT Pro yazılımı ile Adapazarı PCPT-1 sonda logu ve zemin özellikleri

7.1.1. Adapazarı örnek kesitinde LCPC yöntemi ile kaplama borulu delme (Ftu) kazık taşıma kapasitesi

Farklı kazık çap ve boyları için uç direncinin hesaplanacağı derinlikler Tablo 7.1.'de, ve LCPC yönteminde kullanılan parametreler Tablo 7.2.'de sunulmuştur. Kullanılan diğer parametreler 5.bölümdeki grafik ve tablolardan elde edilmiştir.

Tablo 7.1. LCPC yönteminde uç direnci hesap derinlikleri

Çap (cm)	Boy (m)	Kazık ucu üstü (m)	Kazık ucu altı (m)
80	9	7,80-9,00 m	9,00-10,20 m
80	12	10,80-12 m	12-13,20 m
80	15	13,80-15 m	15-16,20 m
100	9	7,50-9 m	9-10,50 m
100	12	10,50-12 m	12-13,50 m
100	15	13,50-15 m	15-16,50 m
120	9	7,20-9 m	9-10,80 m
120	12	10,20-12 m	12-13,80 m
120	15	13,20-15 m	15-16,80 m

Tablo 7.2. LCPC yönteminde kullanılan parametreler

Zemin	Delme Kazık	Çakma Kazık
Kil ve Silt	0,375	0,600
Kum ve Çakıl	0,150	0,375
Tebeşir	0,200	0,400

Çapı 80 cm ve boyu 9 m kazık kapasitesi hesabı örnek olarak gösterilmiştir:

$$D = 80 \text{ cm ve } L = 9 \text{ m}$$

$$q_{esd} = 19,242 \text{ MPa}$$

$$k_b = 0,150$$

$$f_b = k_b \times q_{es}$$

$$f_b = 0,150 \times 19,246 = 2,886 \text{ MPa (birim uç direnci)}$$

$$f_s = 0,070 \text{ MPa (0-5,20 m çevre direnci)}$$

$$f_s = 0,90 \text{ MPa (5,2-9,00 m çevre direnci)}$$

Buradan toplam kazık kapasitesi;

$$Q_u = A_p \times f_b + A_s \times f_s$$

$$Q_u = \pi \times \frac{d^2}{4} \times f_b + \pi \times D \times L \times f_s = 530 \text{ ton}$$

şeklinde hesaplanmıştır.

Adapazarı örnek kesitinde LCPC yöntemi el ile çözüm sonuçları Tablo 7.3'de sunulmuştur.

Tablo 7.3. Adapazarı örnek kesitinde LCPC yöntemi el ile çözüm sonuçları

Çap (cm)	Boy (m)	Uç direnci			Çevre direnci, f_s (MPa)			
		q_{esd} (MPa)	k_b	f_b (MPa)	0-5,20 m	5,20-9,00 m	9,00-12,00 m	12,00-15,00 m
80	9	19,242	0,150	2,886	0,070	0,090		
80	12	1,255	0,375	0,470	0,070	0,090	0,075	
80	15	1,575	0,375	0,590	0,070	0,090	0,075	0,070
100	9	19,956	0,150	2,993	0,020	0,100		
100	12	1,355	0,375	0,500	0,020	0,100	0,020	
100	15	1,580	0,375	0,595	0,020	0,100	0,020	0,030
120	9	20,739	0,150	3,111	0,050	0,090		
120	12	1,350	0,375	0,506	0,050	0,090	0,030	
120	15	1,650	0,375	0,618	0,050	0,090	0,030	0,040

7.1.2. Adapazarı örnek kesitinde Schmertmann yöntemi ile kazık taşıma kapasitesi

Farklı kazık çap ve boyları için uç direncinin hesaplanacağı derinlikler Tablo 7.4'de, sunulmuştur.

Tablo 7.4. Schmertmann yönteminde uç direnci hesap derinlikleri

Çap (cm)	Boy (m)	Kazık ucu üstü (m)	Kazık ucu altı (m)
80	9	2,60-9,00 m	9,56-12,20 m
80	12	5,60-12,00 m	12,56-15,20 m
80	15	8,60-15,00 m	15,56-18,20 m
100	9	1,00-9,00 m	9,70-13 m
100	12	4,00-12,00 m	12,70-16 m
100	15	7,00-15,00 m	15,70-19 m
120	9	0,00-9,00 m	9,84-13,80 m
120	12	2,40-12,00 m	12,84-16,80 m
120	15	5,40-15 m	15,84-19,80 m

Çapı 80 cm ve boyu 9 m kazık kapasitesi hesabı örnek olarak gösterilmiştir:

Birim uç direnç;

$$q_{c1} = 1,502 \text{ MPa}$$

$$q_{c2} = 3,509 \text{ MPa}$$

$$q_p = \frac{q_{c1} + q_{c2}}{2}$$

$$q_p = 2,550 \text{ MPa}$$

0-5,20 m arası çevre sürtünmesi;

$$f_s = 0,041 \text{ MPa}$$

$$\alpha_c = 0,80$$

$$f = f_s \times \alpha_c = 0,320 \text{ MPa}$$

5,20-9,00 m arası çevre sürtünmesi;

$$z > 8d \text{ için } q_s = \alpha_s \times f_s$$

$$q_s = \alpha_s \times f_s = 1,2 \times 0,054 = 0,060 \text{ MPa}$$

Buradan toplam kazık kapasitesi;

$$Q_u = A_p \times q_p + A_s \times (q_s)$$

$$Q_u = \pi \times \frac{d^2}{4} \times q_p + \pi \times D \times L \times q_s = 324 \text{ ton}$$

şeklinde hesaplanmıştır. Adapazarı örnek kesitinde Schmertmann yöntemi el ile çözüm sonuçları Tablo 7.5 ve Tablo 7.6.'da sunulmuştur.

Tablo 7.5. Adapazarı örnek kesitinde Schmertmann yöntemi el ile çözüm sonuçları(1)

Çap (cm)	Boy (m)	Uç direnci		
		q_{c1} (MPa)	q_{c2} (MPa)	q_p (MPa)
80	9	1,502	3,509	2,550
80	12	1,021	1,021	1,021
80	15	1,203	1,021	1,112
100	9	1,485	3,150	2,318
100	12	1,203	1,211	1,112
100	15	1,203	1,021	1,112
120	9	1,569	2,736	2,135
120	12	1,203	0,527	0,865
120	15	1,203	1,021	1,112

Tablo 7.6. Adapazarı örnek kesitinde Schmertmann yöntemi el ile çözüm sonuçları(2)

		Çevre direnci, f_s (MPa)											
		0-5,20 m				5,20-9,00 m				9,00-12,00 m			
Çap (cm)	Boy (m)	f_s (MPa)	a_c	f (MPa)	f_s (MPa)	a_c	f (MPa)	f_s (MPa)	a_c	f (MPa)	f_s (MPa)	a_c	f (MPa)
80	9	0,041	0,8	0,030	0,054	1,20	0,060						
80	12	0,041	0,8	0,030	0,054	1,20	0,060	0,038	0,9	0,030			
80	15	0,041	0,8	0,030	0,054	1,20	0,060	0,038	0,9	0,030	0,036	0,95	0,030
100	9	0,041	0,8	0,030	0,054	1,35	0,073						
100	12	0,041	0,8	0,030	0,054	1,35	0,073	0,038	0,9	0,030			
100	15	0,041	0,8	0,030	0,054	1,35	0,073	0,038	0,9	0,030	0,036	0,95	0,030
120	9	0,041	0,8	0,030	0,054	1,45	0,078						
120	12	0,041	0,8	0,030	0,054	1,45	0,078	0,038	0,90	0,030			
120	15	0,041	0,8	0,030	0,054	1,45	0,078	0,038	0,90	0,030	0,036	0,95	0,030

7.1.3. Adapazarı örnek kesitinde De Ruiter ve Beringen yöntemi ile kazık taşıma kapasitesi

Çapı 80 cm ve boyu 9 m kazık kapasitesi hesabı örnek olarak gösterilmiştir:

$N_k=14,55$ $\alpha_c=0,5$ kabul edilerek işlemler yapılmıştır.

Birim uç direnç;

$$q_{c1} = 1,502 \text{ MPa}$$

$$q_{c2} = 3,509 \text{ MPa}$$

$$q_p = \frac{q_{c1} + q_{c2}}{2} = 2,550 \text{ MPa}$$

0-5,20 m arası çevre sürtünmesi;

$$q_s = \alpha_c \times c_u$$

$$c_u = \frac{q_c}{N_k}$$

$$c_u = \frac{1,893}{14,55} = 0,130 \text{ MPa}$$

$$q_s = 0,5 \times 0,130 = 0,065 \text{ MPa}$$

5,20-9,00 m arası çevre sürtünmesi min. değer;

$$q_s = 120 \text{ kPa}$$

$$q_s = 0,054 \text{ MPa}$$

$$q_c = 26,579 \text{ MPa}$$

$$q_s = \frac{q_c}{300} = 0,088 \text{ MPa}$$

$$q_s = \frac{q_c}{400} = 0,066 \text{ MPa}$$

Buradan toplam kazık kapasitesi;

$$Q_u = A_p \times q_p + A_s \times q_s$$

$$Q_u = \pi \times \frac{d^2}{4} \times q_p + \pi \times D \times L \times q_s = 275 \text{ ton}$$

şeklinde hesaplanmıştır.

Adapazarı kesitine ait De Ruiter ve Beringen yöntemine ait el ile çözüm sonuçları Tablo 7.7. ve Tablo 7.8.'de gösterilmektedir.

Tablo 7.7. Adapazarı örnek kesitinde De Ruiter ve Beringen yöntemi el ile çözüm sonuçları(1)

Uç direnci					
Çap (cm)	Boy (m)	q_c (MPa)	N_k	c_u (MPa)	$9c_u$ (MPa)
80	9	2,550	14,55	-	-
80	12	1,558	14,55	0,107	0,964
80	15	1,374	14,55	0,094	0,850
100	9	2,318	14,55	-	-
100	12	1,558	14,55	0,107	0,964
100	15	1,374	14,55	0,094	0,850
120	9	2,135	14,55	-	-
120	12	1,558	14,55	0,107	0,964
120	15	1,374	14,55	0,094	0,850

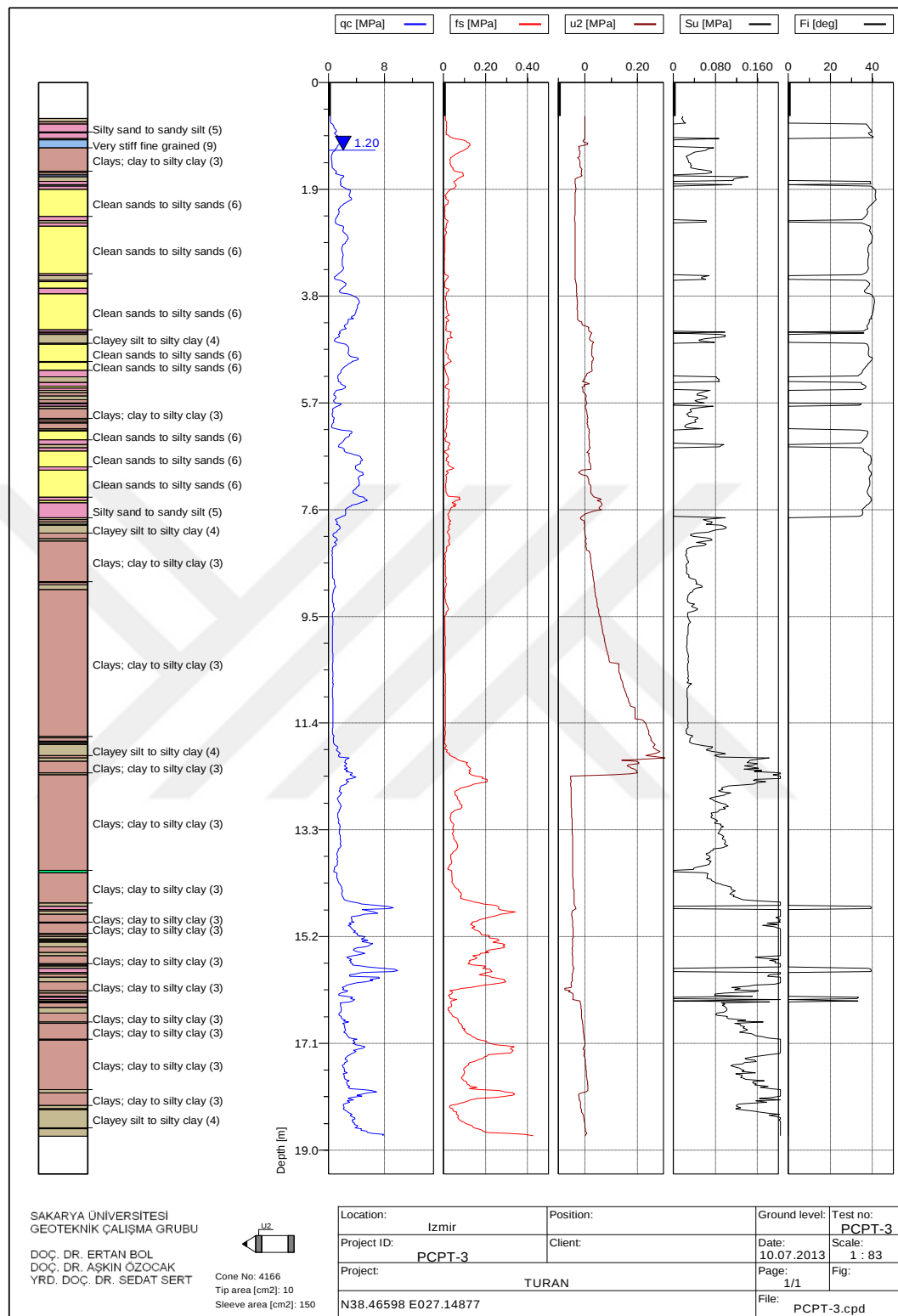
Tablo 7.8. Adapazarı örnek kesitinde De Ruiter ve Beringen yöntemi el ile çözüm sonuçları(2)

Çevre sürtünmesi														
Çap(cm)		Boy(m)	0-5,20 m			5,20-9,00 m			9,00-12,00 m			12,00-15,00 m		
		q _c	c _u	q _s	q _{smin}		q _c	c _u	q _s		q _c	c _u	q _s	
80	9	1,893	0,130	0,065	0,054									
80	12	1,893	0,130	0,065	0,054		1,559	0,107	0,053					
80	15	1,893	0,130	0,065	0,054		1,559	0,107	0,053		1,936	0,133	0,066	
100	9	1,893	0,130	0,065	0,054									
100	12	1,893	0,130	0,065	0,054		1,559	0,107	0,053					
100	15	1,893	0,130	0,065	0,054		1,559	0,107	0,053		1,936	0,133	0,066	
120	9	1,893	0,130	0,065	0,054									
120	12	1,893	0,130	0,065	0,054		1,559	0,107	0,053					
120	15	1,893	0,130	0,065	0,054		1,559	0,107	0,053		1,936	0,133	0,066	
N _k =14,55 α _c =0,5														

$N_k=14,55$ $\alpha_c=0,5$

7.2. İzmir Örnek Kesitinde CPT İle Kazık Taşıma Kapasitesi

Adapazarı'na benzer şekilde fazla sayıda tabakalaşma gösteren İzmir şehrinde PCPT-3 isimli sondaya ait CPT verileri kullanılarak 80 cm, 100 cm ve 120 cm çaplı; 9 m, 12 m ve 15 m boylarındaki kazıklarda her bir yöntemde toplam dokuz kazık için hesap yapılmıştır. CPT-PRO yazılında Robertson (1990)'a göre yapılan zemin sınıflandırılmasında zemin profilini kil, siltli karışımları, kum silt karışımları oluşturmaktadır. Şekil 7.3.'de hesaplarda kullanılan İzmir örnek kesiti görülmektedir. Her kazık için Lousiana Pile Design-Cone Penetration Test programı kullanılmış ve elle yapılan hesaplamalarda kazık kapasiteleri belirlenmiştir. Kazık kapasite hesaplarının çözümünün bir kısmı Microsoft Excel® programı yardımı ile yapılmıştır. Toplam dokuz farklı kazık için, CPT ile kazık taşıma yöntemlerinden olan Schmertmann, LCPC, de Ruiter ve Beringen yöntemleri kullanılmış olup zemin cinsine göre elde edilen grafiklerinden birim uç direnç, çevre sürtünmesi ve toplam kazık taşıma kapasitelerine ulaşılmıştır.



Şekil 7.3. CPT Pro yazılımı ile İzmir PCPT-3 sonda logu ve zemin özellikleri

7.2.1. İzmir örnek kesitinde LCPC yöntemi ile kaplama borulu delme (Ftu) kazık taşıma kapasitesi

Farklı kazık çap ve boyları için uç direncinin hesaplanacağı derinlikler Tablo 7.9.'de, ve LCPC yönteminde kullanılan parametreler Tablo 7.10.'de sunulmuştur. Kullanılan diğer parametreler 5.bölümdeki grafik ve tablolardan elde edilmiştir.

Tablo 7.9. Lcpc yönteminin hesaplanacağı derinlikler

Çap (cm)	Boy (m)	Kazık ucu üstü (m)	Kazık ucu altı (m)
80	9	7,80-9,00 m	9,00-10,20 m
80	12	10,80-12 m	12-13,20 m
80	15	13,80-15 m	15-16,20 m
100	9	7,50-9 m	9-10,50 m
100	12	10,50-12 m	12-13,50 m
100	15	13,50-15 m	15-16,50 m
120	9	7,20-9 m	9-10,80 m
120	12	10,20-12 m	12-13,80 m
120	15	13,20-15 m	15-16,80 m

Tablo 7.10. Lcpc yöntemi kullanılan parametreler

Zemin	Delme Kazık	Çakma Kazık
Kil ve Silt	0,375	0,600
Kum ve Çakıl	0,150	0,375
Tebeşir	0,200	0,400

Çapı 80 cm ve boyu 9 m kazık kapasitesi hesabı örnek olarak gösterilmiştir:

$$D = 80 \text{ cm ve } L = 9 \text{ m}$$

$$q_{esd} = 0,644 \text{ MPa}$$

$$k_b = 0,375$$

$$f_b = k_b \times q_{es}$$

$$f_b = 0,375 \times 0,644 = 0,240 \text{ MPa (birim uç direnç)}$$

$$f_s = 0,065 \text{ MPa (0-1,60 m çevre sürtünmesi)}$$

$$f_s = 0,100 \text{ MPa (1,6-7,6 m çevre sürtünmesi)}$$

$$f_s = 0,030 \text{ MPa (7,6-9,0 m çevre sürtünmesi)}$$

Buradan toplam kazık kapasitesi;

$$Q_u = A_p \times f_b + A_s \times f_s$$

$$Q_u = \pi \times \frac{d^2}{4} \times f_b + \pi \times D \times L \times f_s = 199 \text{ ton}$$

şeklinde hesaplanmıştır.

İzmir örnek kesitinde LCPC yöntemi el ile çözüm sonuçları Tablo 7.11’de sunulmuştur.

Tablo 7.11. İzmir örnek kesitinde lcpc yöntemi el ile çözüm sonuçları

Çap (cm)	Boy (m)	Uç direnci		Çevre direnci, f_s (MPa)					
		q_{csd} (MPa)	k_b	f_b (MPa)	0-1,60 m	1,60- 7,60 m	7,60- 9,00 m	9,00- 12,00 m	12,00- 15,00 m
80	9	0,644	0,375	0,240	0,065	0,100	0,035		
80	12	1,516	0,375	0,570	0,065	0,100	0,035	0,055	
80	15	3,224	0,375	1,210	0,065	0,100	0,035	0,055	0,080
100	9	0,709	0,375	0,270	0,068	0,075	0,040		
100	12	1,519	0,375	0,570	0,068	0,075	0,040	0,065	
100	15	2,896	0,375	1,090	0,068	0,075	0,040	0,065	0,090
120	9	0,830	0,375	0,310	0,066	0,080	0,043		
120	12	1,417	0,375	0,530	0,066	0,080	0,043	0,063	
120	15	3,169	0,375	1,190	0,066	0,080	0,043	0,063	0,080

7.2.2. İzmir örnek kesitinde Schmertmann yöntemi ile kazık taşıma kapasitesi

Farklı kazık çap ve boyları için uç direncinin hesaplanacağı derinlikler Tablo 7.12.’de sunulmuştur.

Tablo 7.12. Schmertmann yönteminde uç direncin hesaplanacağı derinlikler

Çap (cm)	Boy (m)	Kazık ucu üstü (m)	Kazık ucu altı (m)
80	9	2,60-9,00 m	9,56-12,20 m
80	12	5,60-12,00 m	12,56-15,20 m
80	15	8,60-15,00 m	15,56-18,20 m
100	9	1,00-9,00 m	9,70-13 m
100	12	4,00-12,00 m	12,70-16 m
100	15	7,00-15,00 m	15,70-19 m
120	9	0,00-9,00 m	9,84-13,80 m
120	12	2,40-12,00 m	12,84-16,80 m
120	15	5,40-15 m	15,84-19,80 m

Çapı 80 cm ve boyu 9 m kazık kapasitesi hesabı örnek olarak gösterilmiştir:

Birim uç direnç;

$$q_{c1} = 0,560 \text{ MPa}$$

$$q_{c2} = 0,428 \text{ MPa}$$

$$q_p = \frac{q_{c1} + q_{c2}}{2}$$

$$q_p = 0,494 \text{ MPa}$$

0-1,60 m arası çevre sürtünmesi;

$$f_s = 0,045 \text{ MPa}$$

$$\alpha_c = 0,80$$

$$f = f_s \times \alpha_c$$

$$f = 0,036 \text{ MPa}$$

1,6-7,6 m arası çevre sürtünmesi;

$$z > 8d \text{ için } q_s = \alpha_s \times f_s$$

$$q_s = \alpha_s \times f_s = 1,2 \times 0,060 = 0,072 \text{ MPa}$$

7,6-9,0 m arası çevre sürtünmesi;

$$f_s = 0,019 \text{ MPa}$$

$$\alpha_c = 1,10$$

$$f = f_s \times \alpha_c$$

$$f = 0,020 \text{ MPa}$$

Buradan toplam kazık kapasitesi;

$$Q_u = A_p \times q_p + A_s \times f_s$$

$$Q_u = \pi \times \frac{d^2}{4} \times q_p + \pi \times D \times L \times f_s = 154 \text{ ton}$$

şeklinde hesaplanmıştır.

İzmir örnek kesitinde Schmertmann yöntemi el ile çözüm sonuçları Tablo 7.13 ve Tablo 7.14.'de sunulmuştur.

Tablo 7.13. İzmir örnek kesitinde Schmertmann yöntemi el ile çözüm sonuçları(1)

Çap (cm)	Boy (m)	Uç direnci		q_p (MPa)
		q_{c1} (MPa)	q_{c2} (MPa)	
80	9	0,560	0,428	0,494
80	12	0,741	0,428	0,584
80	15	1,464	0,527	0,996
100	9	0,560	0,395	0,477
100	12	0,741	0,430	0,585
100	15	1,466	0,511	0,998
120	9	0,560	0,248	0,404
120	12	0,738	0,420	0,582
120	15	1,466	0,428	0,947

Tablo 7.14. İzmir örnek kesitinde Schmertmann yöntemi el ile çözüm sonuçları(2)

Çevre sürtünmesi													
		0,1,60 m		1,60-7,60 m		7,60-9,00 m		9,00-12,00 m		12,00-15,00 m			
Çap (cm)	Boy (m)	f_s (MPa)	α_c	f (MPa)	α_s	q_s (MPa)	f_s (MPa)	α_c	f (MPa)	f_s (MPa)	α_c	f (MPa)	f_s (MPa)
80	9	0,045	0,80,036	0,060	1,200,072	0,019	1,100,020	0,009	0,600,005				
80	12	0,045	0,80,036	0,060	1,200,072	0,019	1,100,020	0,009	0,600,005	0,089	0,700,062		
80	15	0,045	0,80,036	0,060	1,200,072	0,019	1,100,020	0,009	0,600,005	0,089	0,700,062		
100	9	0,045	0,80,036	0,060	1,350,081	0,019	1,100,020						
100	12	0,045	0,80,036	0,060	1,350,081	0,019	1,100,020	0,009	0,600,005				
100	15	0,045	0,80,036	0,060	1,350,081	0,019	1,100,020	0,009	0,600,005	0,089	0,700,062		
120	9	0,045	0,80,036	0,060	1,450,087	0,019	1,100,020						
120	12	0,045	0,80,036	0,060	1,450,087	0,019	1,100,020	0,009	0,600,005				
120	15	0,045	0,80,036	0,060	1,450,087	0,019	1,100,020	0,009	0,600,005	0,089	0,700,062		

7.2.3. İzmir örnek kesitinde De Ruiter ve Beringen yöntemi ile kazık taşıma kapasitesi

$N_k = 20 \alpha_c = 1$ kabul edilerek işlemler yapılmıştır.

Çapı 80 cm ve boyu 9 m kazık kapasitesi hesabı örnek olarak gösterilmiştir:

0-9,00 m arası birim uç direnç;

$$q_c = 1,932 \text{ MPa}$$

$$c_u = \frac{q_c}{N_k}$$

$$c_u = \frac{1,932}{20} = 0,059$$

$$9 \times c_u = 0,059 \times 9 = 0,531 \text{ MPa}$$

0-1,6 m arası çevre sürtünmesi;

$$q_s = \alpha_c \times c_u$$

$$c_u = \frac{q_c}{N_k}$$

$$c_u = \frac{0,865}{20} = 0,043 \text{ MPa}$$

$$q_s = 1,0 \times 0,043 = 0,043 \text{ MPa}$$

1,6-7,6 m arası çevre sürtünmesi için min değer;

$$q_s = 120 \text{ kPa}$$

$$q_s = 0,0197 \text{ MPa}$$

$$q_c = 2,440 \text{ MPa}$$

$$q_s = \frac{q_c}{300} = 0,008 \text{ MPa}$$

$$q_s = \frac{q_c}{400} = 0,006 \text{ MPa}$$

7,6-9,00 m arası çevre sürtünmesi;

$$q_s = \alpha_c \times c_u$$

$$c_u = \frac{q_c}{N_k}$$

$$c_u = \frac{0,993}{20} = 0,049 \text{ MPa}$$

BÖLÜM 8. TOPLAM KAZIK KAPASİTELERİ

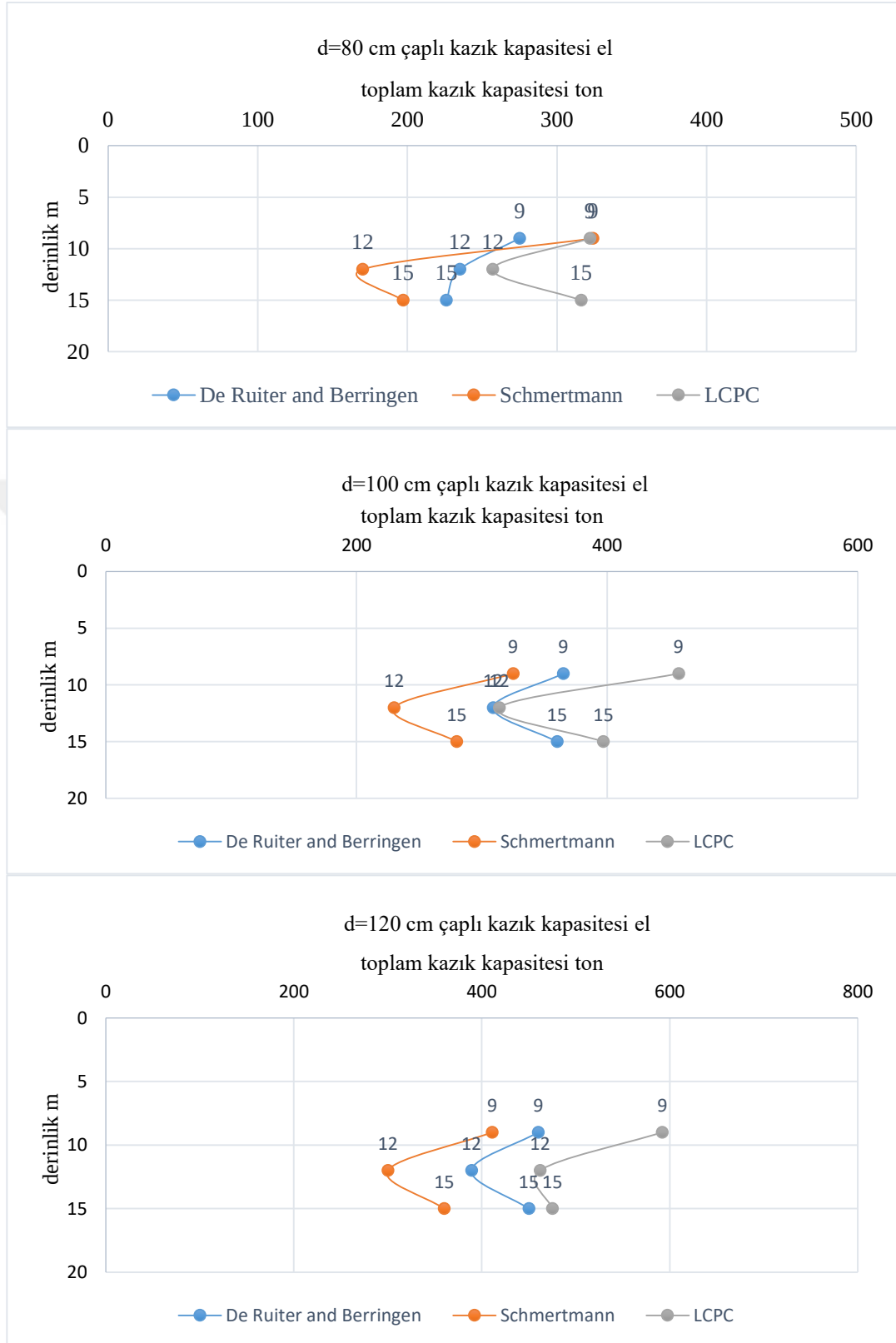
8.1. Adapazarı Örnek Kesitinde Toplam Kazık Kapasitesi Sonuçları

Adapazarı'nda yapılan PCPT-1 CPT logu deney sonucuna ait toplam kazık kapasitelerinin program ve el ile çözüm sonuçlarının karşılıklı olarak gösterimi Tablo 8.1.'de sunulmuştur.

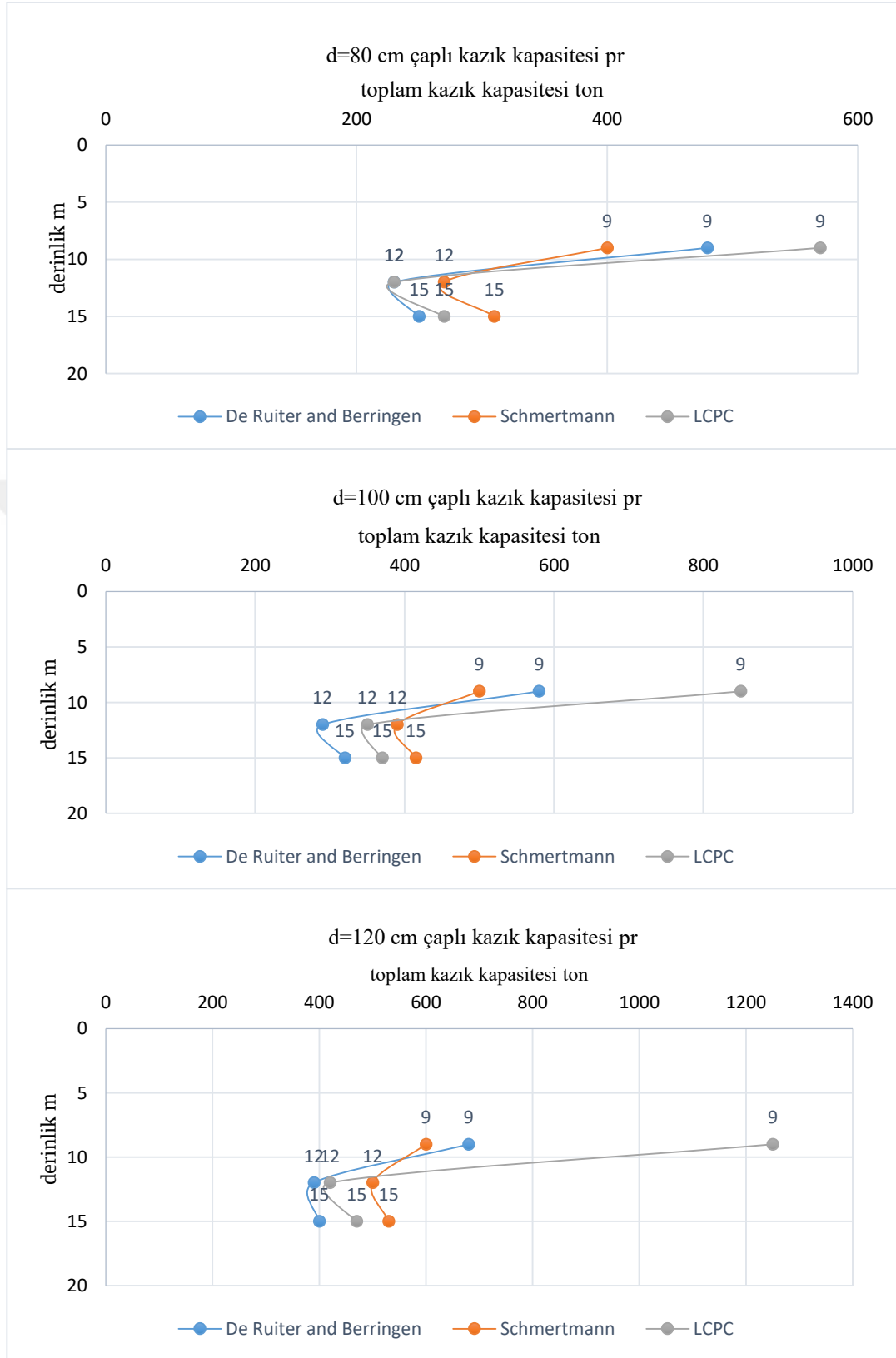
Tablo 8.1. Adapazarı PCPT-1 CPT logu program ve el ile çözüm sonuçları

Schmertman(pr)				Schmertman(el)			
	80 cm	100 cm	120 cm		80 cm	100 cm	120 cm
9 m	400 ton	500 ton	600 ton	9 m	324 ton	325 ton	411 ton
12 m	270 ton	390 ton	500 ton	12 m	170 ton	230 ton	300 ton
15 m	310 ton	415 ton	530 ton	15 m	197 ton	280 ton	360 ton
LCPC(pr)				LCPC(el)			
	80 cm	100 cm	120 cm		80 cm	100 cm	120 cm
9 m	570 ton	850 ton	1250 ton	9 m	322 ton	457 ton	592 ton
12 m	230 ton	350 ton	420 ton	12 m	257 ton	314 ton	462 ton
15 m	270 ton	370 ton	470 ton	15 m	316 ton	397 ton	475 ton
De Ruiter Beringen(pr)				De Ruiter Beringen(el)			
	80 cm	100 cm	120 cm		80 cm	100 cm	120 cm
9 m	480 ton	580 ton	680 ton	9 m	275 ton	365 ton	460 ton
12 m	230 ton	290 ton	390 ton	12 m	235 ton	309 ton	389 ton
15 m	250 ton	320 ton	400 ton	15 m	226 ton	360 ton	450 ton

Adapazarı'nda yapılan PCPT-1 CPT logu deney sonucuna ait veriler Şekil 8.1.'de el ile çözüm sonuçlarından toplam kazık kapasiteleri ile Şekil 8.2.'de program ile çözüm sonuçlarından toplam kazık kapasitelerini gösteren grafikler sunulmuştur.



Şekil 8.1. Adapazarı PCPT-1 CPT logu el ile çözüm grafiksel gösterimleri



Şekil 8.2. Adapazarı PCPT-1 CPT logu program ile çözüm grafiksel gösterimleri

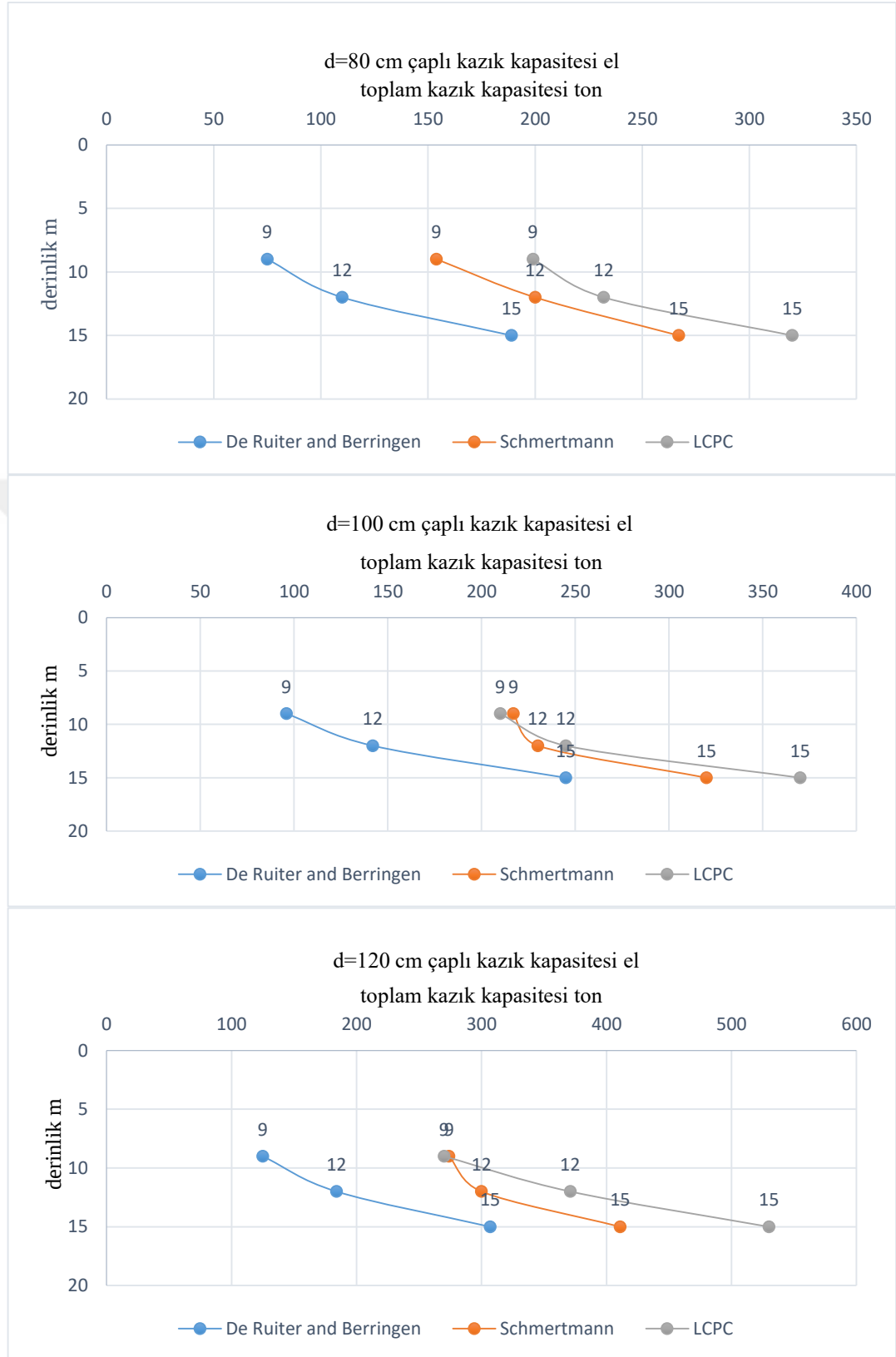
8.2. İzmir Örnek Kesitinde Toplam Kazık Kapasitesi Sonuçları

İzmir’de yapılan PCPT-3 CPT logu deney sonucuna ait toplam kazık kapasitelerinin program ve el ile çözüm sonuçlarının karşılıklı olarak gösterimi Tablo 8.2.’de sunulmuştur.

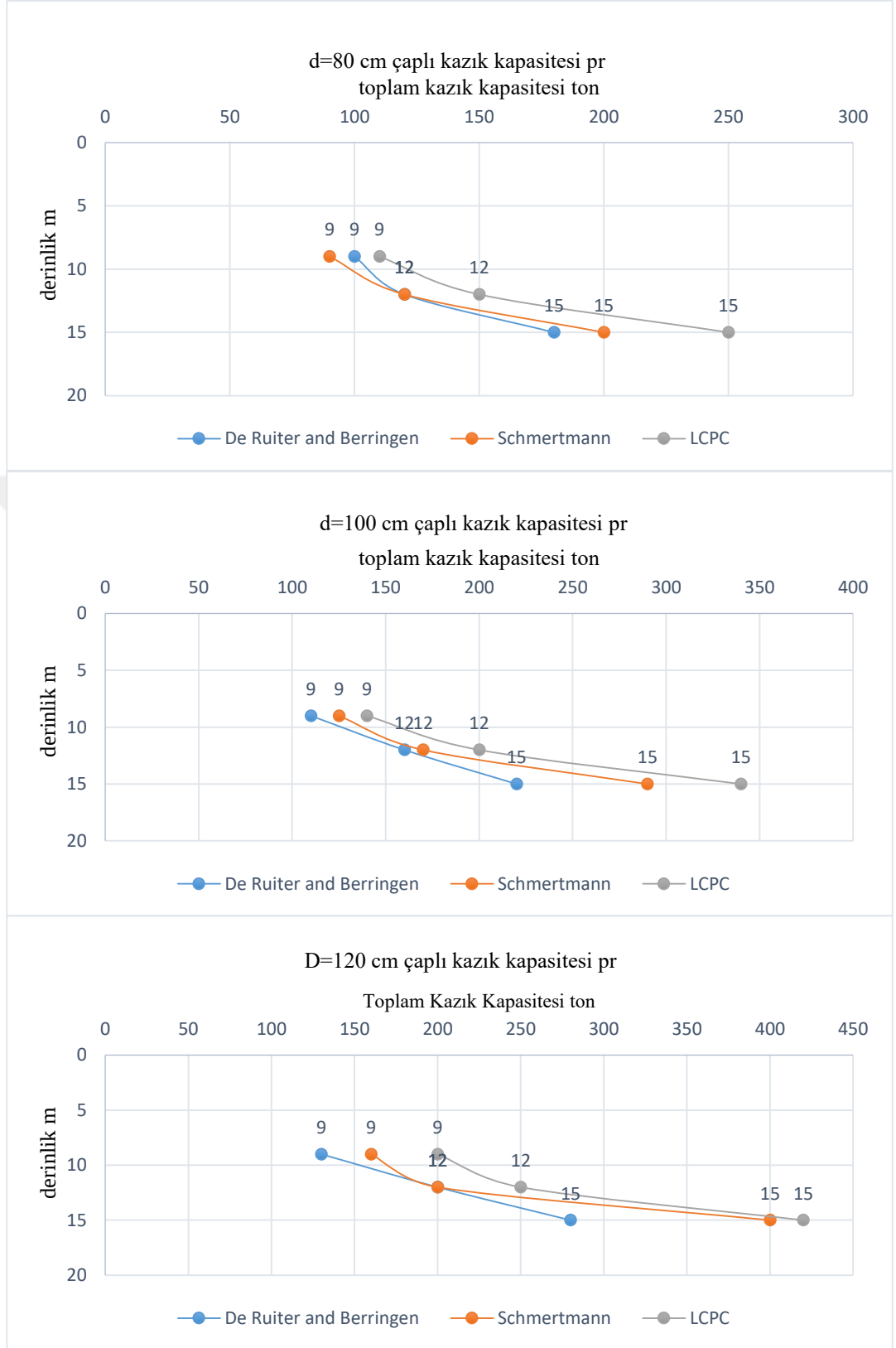
Tablo 8.2. İzmir PCPT-3 CPT logu program ve el ile çözüm sonuçları

Schmertmann (pr)				Schmertmann (el)			
80 cm	100 cm	120 cm		80 cm	100 cm	120 cm	
9 m	90 ton	125 ton	160 ton	9 m	154 ton	217 ton	274 ton
12 m	120 ton	170 ton	200 ton	12 m	200 ton	230 ton	300 ton
15 m	200 ton	290 ton	400 ton	15 m	267 ton	320 ton	411 ton
LCPC (pr)				LCPC (el)			
80 cm	100 cm	120 cm		80 cm	100 cm	120 cm	
9 m	110 ton	140 ton	200 ton	9 m	199 ton	210 ton	270 ton
12 m	150 ton	200 ton	250 ton	12 m	232 ton	245 ton	371 ton
15 m	250 ton	340 ton	420 ton	15 m	320 ton	370 ton	530 ton
De Ruiter ve Beringen (pr)				De Ruiter ve Beringen (el)			
80 cm	100 cm	120 cm		80 cm	100 cm	120 cm	
9 m	100 ton	110 ton	130 ton	9 m	75 ton	96 ton	125 ton
12 m	120 ton	160 ton	200 ton	12 m	110 ton	142 ton	184 ton
15 m	180 ton	220 ton	280 ton	15 m	189 ton	245 ton	307 ton

İzmir’de yapılan PCPT-3 CPT logu deney sonucuna ait veriler Şekil 8.3.’de el ile çözüm sonuçlarından toplam kazık kapasiteleri ile Şekil 8.4.’de program ile çözüm sonuçlarından toplam kazık kapasitelerini gösteren grafikler sunulmuştur.



Şekil 8.3. İzmir PCPT-3 CPT logu el ile çözüm grafiksel gösterimleri



Şekil 8.4. İzmir PCPT-3 CPT logu program ile çözüm grafiksel gösterimleri

BÖLÜM 9. SONUÇ

Bu tez çalışmasında alüviyal kökenli Adapazarı ve benzer şekilde tabakalanma gösteren İzmir zeminlerinde yapılan iki koni penetrasyon deneyi sonucu kullanılarak elde edilen kazık kapasiteleri karşılaştırmalı olarak irdelenmiştir. Hesaplar, LCPC, Schmertmann, De Ruiter ve Beringen yöntemleri ile boyları 9 m, 12 m, 15 m ve çapları 80 cm, 100 cm, 120 cm olan kazıklar için yapılmıştır. Öncelikle kazık kapasiteleri Excell® programı yardımı ile elle çözülmüş, sonrasında LPD-CPT programının verdiği çözüm sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Bu yöntemlerde birçok faktör etkili olmuştur.

Schmertmann yönteminde hesaplar uç direnç için kazık ucundan $0,7 D-4 D$ aşağısı ve kazık ucundan $8 D$ yukarısında elde edilen CPT data verilerinin minimum ortalaması alınarak ve çevre sürtünmesinde zeminin kohezyonlu ve kohezyonsuz olması durumuna göre çeşitli katsayılar kullanılarak yapılmıştır.

LCPC yönteminde kazık uç direnç hesabında kazık ucundan $1,5 D$ aşağısı ve kazık ucundan $1,5 D$ yukarısında yapılan ölçümlerin ortalaması alınarak ve ortalamanın %30'dan büyük ve %30'dan küçük olan uç dirençleri elenerek hesaplar yapılmıştır. LCPC yönteminde çevre sürtünmesinde ise kazık türü, imalat biçimi, yerleşim biçimi, grafikler, katsayılar vb. gibi birçok faktör etkili olmuştur.

De Ruiter ve Beringen yönteminde uç direnç hesabı kohezyonsuz zeminlerde Schmertmann yöntemine benzer şekilde yapılmış, kohezyonlu zeminlerde drenajsız kayma mukavemeti, konsolidasyon oranı gibi çeşitli katsayılar kullanılmıştır. Çevre sürtünmesinde aynı şekilde konsolidasyon oranı, drenajsız kayma mukavemeti derinlik boyunca ortalama uç dirençleri gibi birçok faktör hesaba katılarak çözümler sunulmuştur. Bu yöntemde çözümler Adapazarı kesitinde aşırı konsolide kabul

edilerek α_c 0,5 ve koni faktörü 14,55 alınmış, İzmir kesiti ise normal konsolide kabul edilerek α_c 1,0 ve koni faktörü 20 alınarak işlemler yapılmıştır.

Adapazarı kesitinde elde edilen sonuçlar şu şekilde özetlenebilir:

- Adapazarı'nda yapılan CPT deneyinde LPD-CPT yazılımı ve Excell® programı yardımı ile yapılan çözümlerde en yüksek kazık taşıma kapasitesini 9 metrelik kazıklar vermiştir.
- Elle ve programla yapılan çözümlerde en yüksek kazık taşıma kapasitesini LCPC yöntemi vermiştir.
- Adapazarı'nda yapılan CPT deneyinde kazık çapı arttıkça kazık taşıma kapasitesi artmıştır.
- Adapazarı kesitinde kazık boyunun artması kazık kapasitesini artırmamıştır. Çünkü uç direncinin hesabında zemin türü farklılığından dolayı sonuçlar farklı çıkmıştır. Yüksek uç dirençli kohezyonsuz zemin 5,20-9,00 m arasında olduğu için 9 m boyundaki kazıklar daha yüksek taşıma kapasitesine sahip çıkarken, 12 ve 15 m'lik kazıkların etkidiği alanlarda kohezyonlu zeminler bulunduğu için kazık kapasiteleri daha düşük değerlerde çıkmıştır.
- Kohezyonlu zeminde uç direnç düşük değerlerde çıkarken kohezyonsuz zeminlerde daha yüksek çıkmıştır.
- Aynı boyut ve çapta olmasına rağmen üç yöntemde sonuçlar birbirinden oldukça farklı çıkmıştır.
- Elle yapılan çözümlerde programın yaptığı çözümlere en yakın sonuçları De Ruiter ve Beringen yöntemi vermiştir.

İzmir kesitinde elde edilen sonuçlar şu şekilde özetlenebilir:

- İzmir'de yapılan CPT deneyi sonuçlarına göre LPD-CPT programı ve Excell® yardımı ile yapılan çözümlerde en yüksek kazık kapasitesini 15 metre boyundaki kazıklar vermiştir.
- Elle ve programla yapılan çözümlerde en yüksek kazık kapasitesini LCPC yöntemi vermiştir.

- İzmir’de yapılan CPT deneyinde kazık çapı arttıkça kazık kapasitesi artmıştır.
- İzmir’de yapılan CPT deneyinde kazık boyu arttıkça kazık taşıma kapasitesi artmıştır. Çünkü kesitte 1.6 m-7.6 m’ler arasında kohezyonsuz zeminler yer alırken 9 m, 12 m, 15 m’lik kazık etki alanlarında kohezyonlu zeminde yer almaktadır.
- Aynı boyut ve aynı çapta olmasına rağmen üç yöntemde sonuçlar birbirinden oldukça farklı çıkmıştır.
- Elle yapılan çözümlerde programın yaptığı çözümlere en yakın sonuçları De Ruiter ve Beringen yöntemi vermiştir.
- Yapılan çalışma sonucunda program ile elle yapılan işlemler birbiri ile uyum sağlamamış, fakat zemin tipinin ve yöntemlerinin birbirinden oldukça farklı olması sebebiyle kazık boyunun ve çapının etkisi net bir şekilde görülmüştür.

CPT deneyi her iki cm’de ölçüm almasından dolayı zemin kesitini çok ayrıntılı bir şekilde ortaya koymaktadır. Koni ve tijlerin oluşturduğu yapının kazığa çok benzemesi kazık kapasitesi hesaplarında CPT deneyini öne çıkarmaktadır. Literatüre bakıldığında kazık kapasitesi hesabına yönelik yöntem sayısının fazla olduğu görülmekte, yöntemler arasında da yaklaşım farkları bulunmaktadır. Bu nedenle birden fazla yöntemin kullanılması ve yazılımlardan elde edilen sonuçların elle yapılan hesaplarla karşılaştırılarak bir fikre varılması önerilir.

KAYNAKLAR

- [1] [acikders.ankara.edu.tr/pluginfile.php/11674/mod_resource/content/1/Mimarlar%C4%B1k%20Bilgisi%209.%20Hafta%20Temeller.pDf.](http://acikders.ankara.edu.tr/pluginfile.php/11674/mod_resource/content/1/Mimarlar%C4%B1k%20Bilgisi%209.%20Hafta%20Temeller.pdf), Erişim Tarihi: 16.05.2019.
- [2] Çiniciođlu, S.F. Seminer, İmo İstanbul, Zeminlerde Statik ve Dinamik Yüklere Altında Taşıma Gücü Anlayışı ve Hesabı, İstanbul Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü.
- [3] [www.mimarlikinsaat.com/temel-cesitleri-ve-turleri/.](http://www.mimarlikinsaat.com/temel-cesitleri-ve-turleri/), Erişim Tarihi: 21.05.2019.
- [4] Ersoy, U., Betonarme 2 Döřeme ve Temeller 1.Baskı, Evrim Yayınevi, İstanbul, 125-245, 1995.
- [5] Doğangün, A., Betonarme Yapıların Hesap ve Tasarımı, Birsan Yayınevi, İstanbul, 1-780, 2002.
- [6] Uzuner, B.A., Temel Mühendisliđine Giriş, 3.Baskı, Derya Kitabevi, Trabzon, 1-305, 2006.
- [7] Özcan, K., Yapı, 8.Baskı, Bilim Yayınları, Ankara, 1-345, 2000.
- [8] Celep, Z., Kumbasar, N., Betonarme Yapılar, Beta Dağıtım, ISBN 975-95405-3-3, İstanbul, 440-507, 2001.
- [9] Önalp, A., Sert, S., Geoteknik Bilgisi 3 Bina Temelleri, Birsan Yayınevi, İstanbul, 1-375, 2006.
- [10] Ulusay, R., Uygulamalı Jeoteknik Bilgiler, Genişletilmiş 4. Baskı, TMMOB Jeoloji Mühendisler Odası Yayınları, Ankara, 1-38, 2001.
- [11] [docplayer.biz.tr/5536591-Derin-temeller-celal-bayar-universitesi-turgutlu-meslek-yuksekokulu-insaat-bolumu-ogretim-gorevlisi-tekin-tezcan-insaat-yukse-muhendisi.html.](http://docplayer.biz.tr/5536591-Derin-temeller-celal-bayar-universitesi-turgutlu-meslek-yuksekokulu-insaat-bolumu-ogretim-gorevlisi-tekin-tezcan-insaat-yukse-muhendisi.html), Erişim Tarihi: 06.06.2019.
- [12] [eng.harran.edu.tr/moodle/moodldata/129/Ders_Notlari/yapiteknolojisi_3.pDf.](http://eng.harran.edu.tr/moodle/moodldata/129/Ders_Notlari/yapiteknolojisi_3.pdf), Erişim Tarihi: 17.06.2019.

- [13] Mollamahmutoglu, M., Kayabalı, K., Temel Tasarımı İlkeler ve Uygulamalar, 2. Baskı, Gazi Kitabevi, Ankara, 2005.
- [14] Tuncan, A., Anadolu Üniversitesi Ders Notları, İnşaat Mühendisliği Bölümü.
- [15] Odbay, O., Kazıklı temeller ve düşey yükler altında kazıklı temel sistemlerinin hesap ve analiz yöntemlerinin rasyonelleştirilmesi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul 1995.
- [16] insapedia.com/kazik-temeller-kullanım-alanları-ve-kazik-temel-çeşitleri/, Erişim Tarihi: 23.05.2019.
- [17] Özkan, M.T., Sağlamer, A., Kazıklı Temeller, Dünya İnşaat, 131/7, 34-40, 1995.
- [18] geoproje.com.tr/Temel-Alti-Kazik-_3674.html, Erişim Tarihi: 13.06.2019.
- [19] Birand, A.A., Kazıklı Temeller, Teknik Yayınevi, Ankara, 2001.
- [20] www.humbarahane.com/temeller-ve-temel-çeşitleri/, Erişim Tarihi: 19.06.2019.
- [21] Demir, M.E., Kazık taşıma gücünün kazık yükleme testi ve statik formüller vasıtası ile tayini ve değerlendirmesi İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi, 2018.
- [22] Prakash, S., Sharma, H.D., “Pile Foundation In Engineering Practise”, John Wiley & Sons Inc., U.S.A., 1990.
- [23] Yeğit, M., Farklı çapta, derinlikte ve sayıdaki kazıkların grup davranışı, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi, 2017.
- [24] Das, B.M., Principals of Foundation Engineering, Brooks/Cole Engineering Divison, California, 1984.
- [25] Ordemir, İ., “Pile Foundations”, ODTÜ, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 1984.
- [26] Bowles, J.E., Foundation Analysis ve Design, 5. Baskı, Mc Graw Hill Companies, Inc., USA, 1996.
- [27] [Bowles, J.E., Foundation Analysis ve Design, 5. Baskı, Mc Graw Hill Companies, Inc., USA, 1996.

- [28] Kabaca, H., Kazıkların Taşıma Gücü Ve Oturma Parametrelerinin İncelenmesi Taşıma Gücü İçin Yeni Bir Metot Önerisi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi, 2018.
- [29] Meyerhof, G.G., “Bearing Capacity ve Settlement of Pile Foundations”, Journal of Geotech. Eng. Div., ASCE, Vol.102, No.GT3, 1976.
- [30] Das, B.M., “Principles of Foundation Engineering, SI”, 7th Edition, Cengage Learning, sf. 535-629, 2007.
- [31] Kulhawy, F.H., “Limiting tip ve side resistance, fact or fallacy, Analysis and Design of Pile Foundations, ASCE, San Fransisco, 1984.
- [32] American Petroleum Isntitute, “API Recommended Practice for Planning, Designing ve Constructing Fixed Offshore Patforms”, Washington, D.C., 1984.
- [33] Budhu, M., “Soil Mechanics ve Foundations 2nd Edition”, John Wiley & SonsInc., U.S.A., 2007.
- [34] O’Neill, M. W., ve L. C. Reese. “Drilled Shafts: Construction Procedures ve Design Methods”, Publication No. FHWA-IF-99-025. Federal Highway Administration, Washington, DC., 1999.
- [35] Das, B.M., “Principles of Foundation Engineering, SI”, 7th Edition, Cengage Learning, sf. 535-629, A.B.D, 2007.
- [36] Burland, J.B., “Shatf Friction of Piles in Clay - a Simple Fundamantal Approach”, Ground Engineering, Vol. 6, No. 3, sf. 30-42, 1973.
- [37] Vijyavergiya, V.N. ve Fotch, J.A., “A New Way to Predict Capacity of Piles in Clay” 4th. Offshore Tech. Conf. Houston, TX. OTC Paper 1718, 1972.
- [38] Erol, O., Çekinmez, Z., Geoteknik Mühendisliğinde Saha Deneyleri 1.Cilt Yüksel Proje Yayınları, 14-01, 2014.
- [39] Schmertmann, J.H., “Guidelines for cone penetration test, performance ve design” US Federal Highway Administration, Washington, DC, Report, FHWA-TS-78-209, 1-145, 1978.
- [40] Method for Laterally Loaded Piles” Int. Conf. Of Soil Mechanics ve Foundation Engineering, San Francisco, 3: 1353.
- [41] Reese, L.C., Isenhower, W.M., Wang, S.T., “Analysis ve design of Shallow ve Deep Foundations” John Wiley, 2006.

- [42] Ng, W.W. C., Simons, N., Menzies, M., “Soil Structure Engineering of Deep Foundations, Excavations ve Tunnels” Thomas Telford, 2003.
- [43] Wrana, B., Pile load capacity calculation methods, *Studia Geotechnica et Mechanica*, Vol. 37, No. 4, 2015.
- [44] Sağbazar M., Farklı yöntemlerle kazık taşıma kapasitesinin değerlendirilmesi, T.C. İstanbul Kültür Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi, 2019.
- [45] Lunne, T., Robertson, P.K., Powell, J.J.M., “Cone penetration testing in geotechnical practice” Blackie Academic & Professional, Champan & Hall, UK, 1997.
- [46] DIN 4014, “Bored Piles: Construction procedure, design ve bearing behavior” German Code, Berlin, 1990.
- [47] Briaud, J.L., ve Miran, J., “The Cone Penetrometer Test. Report No. FHWA – SA-91-043” U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration Office of Technology Applications, Washington, D.C., 1-161, 1991.
- [48] Coduto, D. P. “Foundation Design Principles ve Practices” Prentice Hall, Englewood Cliffs, N.J., 1994.
- [49] De Ruiter, J. ve Beringen F.L., “Pile foundations for large North Sea structures” *Marine Geotechnology*, 3(3), 267-314, 1979.
- [50] Abu-Farsakh, M. Y., Morvant, M., & Zhang, Z., Subsurface Site Investigations with Cone Penetration Testing: Louisiana Develops Cost-efficient Procedures for Bridge Projects. Transportation Research Board, 2007.
- [51] Turan E., Statik ve dinamik düşey yükler altındaki kazıklı temellerin davranışı, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 2006.
- [52] Özdemir O.U., Kazıklı radye temellerde taban basıncı değişiminin incelenmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 2006.

ÖZGEÇMİŞ

Sevde Yelmer, 19.01.1991 tarihinde Kocaeli İzmit'te doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini İzmit'te tamamladı. 2010 yılında Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümüne başladı ve 2015 Ocak ayında buradan mezun oldu. 2016 yılında Sakarya Üniversitesi Geoteknik Anabilim dalında yüksek lisans eğitimine başladı. 2017 yılında Malkoçoğulları İnş. Taah. Ltd. Şti firmasında inşaat mühendisi olarak çalıştı. Daha sonra 2018 yılında Saroğlu İnş. Tas. Ltd. Şti firmasında çalıştı. Şu an Elso Müh. Tas. A.Ş. firmasında çalışmaktadır.