

T.C. İSTANBUL KÜLTÜR ÜNİVERSİTESİ

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**FARKLI YÖNTEMLERLE KAZIK TAŞIMA KAPASİTESİNİN
DEĞERLENDİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Maral SAĞBAZAR

1309211005

Anabilim Dalı: İnşaat Mühendisliği

Program: Geoteknik

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Ersin AREL

MAYIS 2019

T.C. İSTANBUL KÜLTÜR ÜNİVERSİTESİ

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**FARKLI YÖNTEMLERLE KAZIK TAŞIMA KAPASİTESİNİN
DEĞERLENDİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Maral SAĞBAZAR

1309211005

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 19 Haziran 2019

Tezin Savunulduğu Tarih: 28 Mayıs 2019

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Ersin AREL

Jüri Üyeleri: Dr. İlhan Burak DURAN

Prof. Dr. Sami ARSOY (Kocaeli Üniversitesi)

MAYIS 2019

ÖNSÖZ

İstanbul Kültür Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Geoteknik programında yüksek lisans tezi olarak hazırlanan bu çalışmanın konusu farklı yöntemlerle kazık kapasitesinin değerlendirilmesidir.

Yüksek lisans eğitimim süresince ve tez aşamasında bana desteğini esirgemeyen danışman hocam Doç. Dr. Ersin Arel'e teşekkür ederim.

Lisans ve yüksek lisans eğitimim boyunca bilgilerini esirgemeyen ve bana mesleğimi sevdiren Prof. Dr. Akın Önalp'e teşekkür ederim.

Lisans ve yüksek lisans eğitimim boyunca bana destek olan Dr. Öğretim Üyesi İlhan Burak Duran'a teşekkür ederim.

Son olarak bugüne kadar her zaman yanımda olan ve bana emeği geçen aileme, başta İnş. Yük. Müh. Neşe Koca olmak üzere bana destek olan arkadaşlarıma teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

1	GİRİŞ	1
2	EKSENEL YÜK TAŞIYAN KAZIKLAR	2
2.1	Kazıkların Sınıflandırılması	3
2.1.1	İmal Edildiği Malzemeye Göre	3
2.1.2	Zemin Ortamına Yerleştirilme Biçimine Göre.....	4
2.1.3	Yük Taşıma Mekanizmasına Göre	4
3	TEKİL KAZIĞIN KAPASİTESİ	7
3.1	Alfa Metodu	8
3.2	Beta Metodu	9
3.3	Lambda Metodu.....	10
4	CPT İLE KAZIK KAPASİTESİ HESABI	11
5	LCPC YÖNTEMİ İLE KAZIK BOYUTLANDIRMA	12
5.1	Çakma Kazıkların Boyutlandırılması	20
6	SONLU ELEMANLAR METHODU	23
6.1	PLAXIS 2D Sonlu Elemanlar Yazılımı	23
6.1.1	Malzeme Modelleri.....	25
7	TEKİL KAZIK KAPASİTESİNİN HESAPLANMASI.....	26
7.1	Tıgçılar Mahallesi	28
7.1.1	Fore Kazık Kapasitesi	29
7.1.2	Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi	31
7.2	Yağçılar Mahallesi.....	41

7.2.1	Fore Kazık Kapasitesi	42
7.2.2	Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi	44
7.2.3	LCPC Yöntemi ile Hesaplanan Kazık Taşıma Kapasitelerinin Karşılaştırılması	44
7.2.4	Beta Yöntemine Göre Kazık Taşıma Kapasitesinin Hesaplanması	46
8	BULGULARIN DEĞERLENDİRİLMESİ	52
9	SONUÇ	54
10	KAYNAKÇA	55



ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 Sürtünme ve Uç Kazık Tipleri	2
Şekil 3.1 İnce daneli zeminler için α değerleri	9
Şekil 5.1 Ortalama kazık uç direncinin hesaplanması	16
Şekil 5.2 LCPC Yönteminde Maksimum Sürtünme Yapışma Eğrileri	20
Şekil 5.3 LCPC Yönteminde İnce Daneli Zeminler İçin Maksimum Sürtünme Yapışma Eğrileri	21
Şekil 5.4 LCPC Yönteminde İri Daneli Zeminler Maksimum Sürtünme Yapışma Eğrileri	21
Şekil 6.1 Düzlem deformasyon ve aksel simetri modeli	23
Şekil 6.2 Üçgen elemanların düğüm ve gerilme noktaları	24
Şekil 7.1 Derinliğe göre Adapazarı zemin sınıflandırma haritaları	26
Şekil 7.2 Adapazarı koni uç direnci (q_c) haritaları	27
Şekil 7.3 Zemin Profili	28
Şekil 7.4 Örnek zemin profili	30
Şekil 7.5 LCPC Yöntemine Göre Hesaplanan Fore Kazıkların Uç Dirençleri	31
Şekil 7.6 LCPC Yöntemine Göre Hesaplanan Fore Kazıkların Sürtünme Dirençleri	32
Şekil 7.7 LCPC Yöntemine Göre Hesaplanan Fore Kazıkların Son Taşıma Gücü	32
Şekil 7.8 Beta Yöntemine Göre Hesaplanan Kazıkların Uç Dirençleri	33
Şekil 7.9 Beta Yöntemine Göre Hesaplanan Kazıkların Sürtünme Dirençleri	33
Şekil 7.10 Beta Yöntemine Göre Hesaplanan Kazıkların Son Taşıma Kapasitesi	34
Şekil 7.11 İdealize Zemin Profili	35
Şekil 7.12 $E_{25} - q_c$ ve $E_{50} - q_c$ ilişkisi	36

Şekil 7.13 Model Geometrisi ve Sonlu Eleman Ağı.....	37
Şekil 7.14 Yük – oturma eğrisi ve kabul edilen göçme yükü	38
Şekil 7.15 Sonlu Eleman Yöntemine Göre Hesaplanan Son Kazık Kapasitesi	39
Şekil 7.16 LCPC , Beta ve Sonlu Elemanlar Yöntemlerine Göre Hesaplanan Son Kazık Taşıma Kapasiteleri (D= 45cm)	40
Şekil 7.17 LCPC , Beta ve Sonlu Elemanlar Yöntemlerine Göre Hesaplanan Son Kazık Taşıma Kapasiteleri (D= 65cm)	40
Şekil 7.18 LCPC , Beta ve Sonlu Elemanlar Yöntemlerine Göre Hesaplanan Son Kazık Taşıma Kapasiteleri (D= 80cm)	40
Şekil 7.19 Zemin Profili.....	42
Şekil 7.20 Örnek zemin profili	43
Şekil 7.21 LCPC Yöntemine Göre Hesaplanan Fore Kazıkların Uç Dirençleri	44
Şekil 7.22 LCPC Yöntemine Göre Hesaplanan Fore Kazıkların Sürtünme Dirençleri	45
Şekil 7.23 LCPC Yöntemine Göre Hesaplanan Fore Kazıkların Son Taşıma Gücü ..	45
Şekil 7.24 Beta Yöntemine Göre Hesaplanan Kazık Uç Dirençleri (D= 45cm)	46
Şekil 7.25 Beta Yöntemine Göre Hesaplanan Kazık Sürtünme Dirençleri	46
Şekil 7.26 Beta Yöntemine Göre Hesaplanan Son Kazık Taşıma Kapasitesi.....	47
Şekil 7.27 İdealize Zemin Modeli	48
Şekil 7.28 Yük – oturma eğrisi ve kabul edilen göçme yükü	49
Şekil 7.29 Sonlu Eleman Yöntemine Göre Hesaplanan Son Kazık Kapasitesi	50
Şekil 7.30 LCPC ve Beta Yöntemlerine Göre Hesaplanan Son Kazık Kapasitesi (D= 45cm)	50
Şekil 7.31 LCPC ve Beta Yöntemlerine Göre Hesaplanan Son Kazık Kapasitesi (D= 65cm)	51

Şekil 7.32 LCPC ve Beta Yöntemlerine Göre Hesaplanan Son Kazık Kapasitesi (D=80cm)51

Şekil 8.1 Farklı YASS Durumlarına Göre Son Kazık Kapasitesi53



TABLO LİSTESİ

Tablo 2.1 Kullanılacak Kazık Tipi Seçimi.....	5
Tablo 3.1 Kazık Ucu Taşıma Gücü Katsayısı	8
Tablo 3.2 δ Değerlerinin Zemin ve Kazık Malzemesine Göre Değişimi	10
Tablo 3.3 λ Değerleri	11
Tablo 5.1 Farklı zemin ve kazık tiplerine göre k_s değerleri	13
Tablo 5.2 Farklı zemin ve kazık tiplerine göre k_b değerleri.....	14
Tablo 5.3 LCPC Taşıma Gücü Faktörü k_b	15
Tablo 5.4 LCPC Yönteminde Kazık Kategorileri	17
Tablo 5.5 İnce Daneli Zeminler için LCPC Parametreleri.....	18
Tablo 5.6 İri Daneli Zeminler için LCPC Parametreleri.....	19
Tablo 5.7 LCPC Yönteminde Çakma Kazık Kategorileri	20
Tablo 5.8 Kil ve Silt İçin Kazık Türü ve İmal Yöntemine Göre Eğri Seçimi.....	22
Tablo 5.9 Kum ve Çakıl İçin Kazık Türü ve İmal Yöntemine Göre Eğri Seçimi	22
Tablo 5.10 LCPC Yöntemi İçin Taşıma Gücü Faktörü	23
Tablo 7.1 Zemin Parametreleri.....	29
Tablo 7.2 Sonlu Elemanlar Yazılımında Kullanılacak Zemin Parametreleri.....	36
Tablo 7.3 Farklı Yöntemlere Göre Elde Edilen Son Kazık Taşıma Kapasiteleri.....	41
Tablo 7.4 Zemin Parametreleri.....	42
Tablo 7.5 Sonlu Elemanlar Yazılımında Kullanılacak Zemin Parametreleri.....	49
Tablo 7.6 Farklı Yöntemlere Göre Elde Edilen Son Kazık Taşıma Kapasiteleri.....	52

SİMGELER LİSTESİ

α	: Adezyon faktörü
A_b	: Kazık uç kesit alanı
A_s	: Kazık yüzey alanı
A_t	: Kazık uç alanı
β	: Sürtünme katsayısı
D	: Kazık çapı
δ	: Zemin ve kazık arasındaki sürtünme açısı
f_b	: Kazığın birim uç direnci
f_s	: Birim çevre sürtünmesi
ϕ'_r	: Yoğrulmuş kilin efektif kayma direnci açısı
K	: Yanal toprak basıncı katsayısı
k_b	: Taşıma gücü faktörü
K_c	: Koni taşıma faktörü
k_s	: Çevre direnci faktörü
ξ	: Kazığın çevresi
q_c	: Koni uç direnci
$q_{eşd}$: Eşdeğer uç direnci
q_t	: Birim kazık uç direnci
Q_a	: İzin verilebilir tasarım kapasitesi
$Q_{çevre}$: Çevre sürtünmesi kapasitesi
Q_d	: Kazığın düşey kapasitesi

$Q_{uç}$: Kazık uç taşıma kapasitesi

σ'_v : Düşey efektif gerilme

S_u : Drenajsız kayma direnci



Enstitüsü	:	Lisansüstü Eğitim
Anabilim Dalı	:	İnşaat Mühendisliği
Programı	:	Geoteknik
Tez Danışmanı	:	Doç. Dr. Ersin Arel
Tez Türü ve Tarihi	:	Yüksek lisans – Mayıs 2019

ÖZET

FARKLI YÖNTEMLERLE KAZIK TAŞIMA KAPASİTESİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Bu çalışmada; LCPC yöntemine göre kazık tasarımının genel esasları ve kazık taşıma kapasitesinin belirlenmesi amacıyla, koni penetrasyon deneyi (CPT) verileri kullanılarak kazık tipinin, çapının ve boyunun taşıma kapasitesine olan etkileri araştırılmıştır.

LCPC yönteminde, araştırmacılar tarafından geliştirilmiş olan tablolar ve eğriler yardımıyla farklı zemin türleri, kazık yapım yöntemleri için kazık uç direnci ve kazık sürtünme direncinin belirlenmesinde kullanılmak üzere katsayılar elde edilmektedir. Karşılaştırma yapmak amacı ile farklı zeminlerde farklı kazık yapım yöntemleriyle kazık taşıma kapasitesi hesabı yapılmıştır. CPT verileri, Tübitak 104M387 nolu araştırma projesi veritabanından elde edilmiştir. Elde edilen veriler ile yapılan hesaplar sonucunda ortaya çıkan kazık taşıma kapasiteleri için grafikler oluşturulmuş, farklı parametrelerin kazık taşıma kapasitesi üzerindeki etkileri irdelenmiştir.

CPT verilerinden elde edilen zemin parametrelerinin kullanıldığı Beta yöntemi ve sonlu elemanlar yöntemiyle de kazık taşıma kapasitesi hesaplanarak, LCPC yöntemi ile kıyaslanmış, kazık taşıma kapasitesinde doğrudan ve dolaylı yöntem arasındaki farklar da ortaya konmuştur. Tasarım parametresi kabullerinin farklı oluşu, kazık taşıma kapasitesi açısından farklı sonuçlar verebilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Kazık, LCPC yöntemi, Koni Penetrasyon Deneyi, Taşıma kapasitesi

Institute : **Institute of Graduate Studies**
Department : **Civil Engineering**
Programme : **Geotechnical Engineering**
Supervisor : **Doç. Dr. Ersin Arel**
Degree Awarded and Date : **MS– May 2019**

ABSTRACT

EVALUATION OF BEARING CAPACITY OF PILES USING DIFFERENT METHODS

General principles of pile design and determination of pile bearing capacity according to LCPC method has been investigated in this study. The variables considered are pile type, pile diameter and length for calculating the capacity.

LCPC method comprises the use of empirical coefficients to determine the tip resistance and skin resistance for all types of soils and different installation methods.

Accordingly, calculations of pile capacity have been performed for different types of soils and installation methods. CPT data used in the analyses were obtained from the research report TÜBİTAK 104M387. Graphics composed for pile capacities and for different parameters on pile bearing capacity were studied for comparison purpose.

Pile capacities by the use of CPT results were also calculated with the Beta and finite element methods (FEM) for comparison with the LCPC method. It was found that differences may arise when pile capacity is calculated by direct and indirect methods.

Keywords: Pile, LCPC method, Cone Penetration Test, Bearing capacity

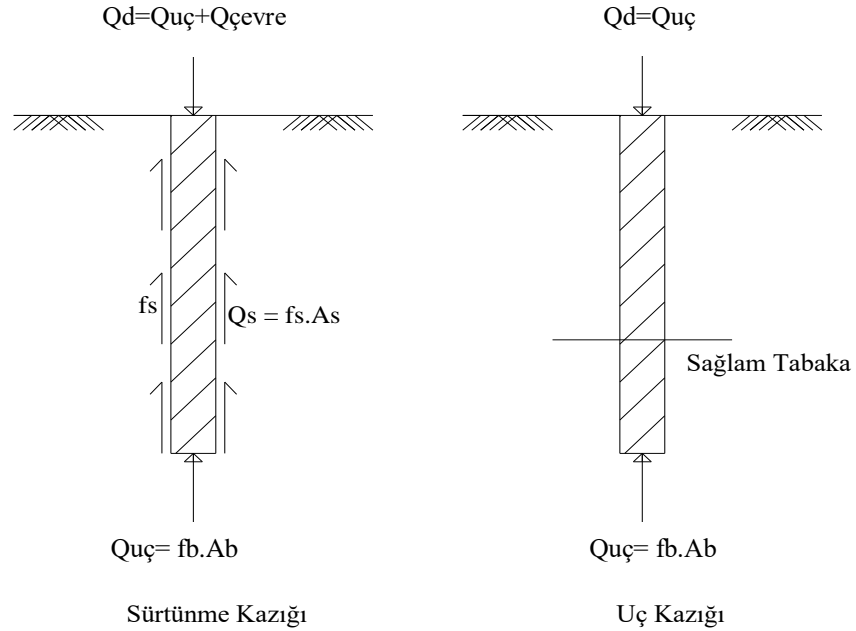
1. GİRİŞ

Geoteknik mühendisliği yapılarından olan tekil kazıkların tasarımında, kazık imalatının yapılacağı zeminin özelliklerinin belirlenmesi gereklidir. Özellikle yüksek yapılarda ve büyük projelerde tasarım parametreleri, güvenlik ve maliyet açısından büyük önem teşkil eder. Bu parametreler, çeşitli arazi ve laboratuvar deneyleri tarafından elde edilir. Tekil kazığın çalışma prensibini en iyi yansıtan koni penetrasyon deneyi (*Cone Penetration Test*, CPT) bu özelliğinin yanı sıra zemin özelliğini belirlemedeki sürekliliği ile kazık boyutlandırma da diğer yöntemlere göre avantaj sağlamaktadır.

Bu çalışmada arazi deneylerinden biri olan koni penetrasyon deneyinden elde edilen veriler ile LCPC (*Laboratoire Central des Ponts et Chaussées*) yöntemi kullanılarak farklı kazık boylarının ve çaplarının taşıma gücüne olan etkisinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Kazık taşıma kapasitesinin belirlenmesinde doğrudan yöntemlerden biri olan LCPC, CPT verilerinden elde edilen parametrelerin kullanıldığı Beta Yöntemi ve Sonlu elemanlar yöntemi ile arasındaki farklar ortaya konmuştur.

2. EKSENEL YÜK TAŞIYAN KAZIKLAR

Kazıklar; üst yapı yüklerini zemin tabakalarına aktarmak için kullanılan ahşap, beton veya çelik gibi malzemelerden üretilen yapısal elemanlardır. Yük aktarımı, kazık çevresiyle ya da doğrudan kazık ucuyla sağlam tabakaya olmaktadır. Ortamın kaya veya sert/sıkı zemin olması durumunda kazık ucuyla, sağlam tabakanın derinde olması durumunda ise sürtünme kazığı ile gerçekleşir. Şekil 2.1’de sürtünme ve uç kazık tipleri verilmiştir. Tüm kazıklar çevre sürtünmesi ve uç direnci birleşimiyle yükü taşıdığından bu ayırım çok yumuşak tabakada ya da sağlam tabakada geçerli olmaktadır.



Şekil 2.1 Sürtünme ve Uç Kazık Tipleri

Kazıklar aşağıdaki amaçlarla kullanılmaktadır (Bowles, 1966):

- Üst yapı yüklerini zemin tabakası boyunca taşımak,
- Su seviyesinin altındaki bodrum temellerinin kabarma veya dönme gibi kuvvetlere karşı ya da kule ayaklarının rüzgar gibi yanal yüklerin etkilerine karşı direnmesini sağlamak,
- Gevşek ve kohezyonsuz zemin ortamını iyileştirmek,
- Sıkışabilir zeminlerde yapılacak olan temellerin oturmasını önlemek,

- Köprü ayaklarının aşınmasının olası olduğu ortamlarda önlem olarak kullanmak.

1.1 Kazıkların Sınıflandırılması

Kazıklar; malzemesine, zemin ortamına yerleştirilme biçimine ve yük taşıma mekanizmasına göre sınıflanırlar.

1.1.1 İmal Edildiği Malzemeye Göre

- a. Beton Kazıklar: Yerinde dökme beton kazıklar, prekast beton kazıklar, delme şaftlı ve baret kazıklar yaygın olarak kullanılan beton kazıklardır. Yerinde dökme betonarme kazıklar; çelik bir silindirik kabuğun zemine istenilen derinliğe kadar ittirilip, içinin beton doldurulmasıyla yapılır. Bunlar yer değiştirme kazıkları olarak adlandırılır. Çelik silindir boru, kazığın taşıma kapasitesine katkıda bulunmaz sadece yapım aşaması içindir. Yapı yükü basmaya dayalıysa sadece beton kullanılır, eğer momentlerin ve yatay yüklerin de karşılanması gerekiyorsa çelik donatılardır da uygulanır. Önceden dökme kazıklar genelde kare veya sekizgen kesitli olarak fabrikada imal edilir. Kazıkların boyları biliniyorsa tercih edilirler. Önceden dökme kazıkların dezavantajı sevkiyatıdır.
- b. Çelik Kazıklar: Çelik kazıklar değişik şekillere ve boyutlara sahip, silindirik, konik uçlu ve H-profil gibi kazıklardır. 70 m'ye kadar uzunluğa sahip olabilirler. Kapalı ya da açık uçlu olarak çakılabilirler. Kayada imal edilirken konik uç kullanılır. Çelik kazığın kapasitesini arttırmak için betonla beraber kullanılabilir.
- c. Ahşap Kazıklar: Ahşap kazıklar çok eski zamanlardan beri kullanılmaktadır. Boyları ağaçların tiplerine göre değişiklik gösterse de genelde 12 m'dir.
- d. Plastik Kazıklar: Polimer kompozitler, PVC ve geri dönüştürülür malzemeden üretilen kompozit malzemeli kazıklardır. Deniz ortamlarında ve mevsimsel değişimlerden etkilenen zemin türlerinde kullanılır.
- e. Kompozit Kazıklar: Kompozit kazıklar için beton, çelik ve ahşap beraber kullanılabilir.

1.1.2 Zemin Ortamına Yerleştirilme Biçimine Göre

- a. Zemini yana ittirerek: Genelde zemine çakılmadan, vidalanmadan ya da tokmaklanmadan önce hazırlanırlar. Bu tip kazıklar zemine bir boru ya da kabuk ile zemine itildikten sonra, içleri beton ile doldurulur.
- b. Zeminde ötelenme oluşturmada: Bu kazıklar zeminin delgiyle dışarı çıkarılmasıyla imal edilirler. Delgi sonrası donatılı veya donatısız olarak beton ile doldurularak imal edilir.
- c. Sürekli burgu (*Continuous Flight Auger, CFA*): Bu kazıklar zeminde ötelenme oluşturmada imal edilirler. Donatı kafesi betonlanmadan sonra, yerine titreşimle ittirilir.

1.1.3 Yük Taşıma Mekanizmasına Göre

- a. Uç Direnci: Çalışma sahasında anakayanın ya da sert zeminin makul bir derinlikte bulunduğu durumlarda, kazıklar kaya tabakasına kadar uzatılabilir. Bu durumda kazığın taşıma gücü tamamen zeminin özelliğine bağlıdır, bu kazıklar uç kazıkları olarak isimlendirilirler.
Anakaya yerine, sıkı ya da sert zemin tabakasına rastlanırsa, kazıklar daha uzun bir şekilde soketlenebilir.
- b. Çevre Sürtünme/ Yapışması: Bu tip kazıklarda; kazığa gelen yük, kazık çevresi boyunca oluşan sürtünme direnci tarafından karşılanır. Sürtünme kazıkları, kazık taşıma kapasitesini arttırmak amacıyla daha uzun olabilirler. Kazığın kapasitesi shaft alanının bir fonksiyonudur. Orta - düşük yoğunluklu kum gibi zeminlerde sürtünme kazıkları kayma direncini arttırmak amacıyla kullanılabilirler. Kaya ya da sert zemin tabakası makul bir derinlikte değilse, uç kazıkları fazla uzun ve maliyetli olabilir. Böyle durumlarda kazıklar belirlenen derinliğe kadar yumuşak zemin tabakasına imal edilirler.
- c. Her ikisi ile: Çoğunlukla yük taşıma kapasitesi hem uç direnciyle hem de çevre sürtünmesiyle karşılanır.

Kazığın davranışı, kazık tipi, zemin şartları ve özellikleri, yapım yöntemi ve yükleme koşulları olmak üzere birçok farklı faktöre göre değişiklik gösterir. Kazığın performansı, desteklediği yapının işletilebilirliğini etkiler. Tablo 2.1’de kazık tipleri ve özellikleri özetlenmiştir.

Tablo 2.1 Kullanılacak Kazık Tipi Seçimi (Budhu, 2010)

Kazık Tipi	Kesit (m)	Genel Boy (m)	Ortalama Yük (kN)	İzin Verilen Gerilme (MPa)	İzin Verilen Çakma Gerilmesi (MPa)	Avantajlar	Dezavantajlar
Yerinde dökme beton	0.15- 1.5	≤35	600	4.5- 8.5	$0.85f_c$	Çakmaya dayanıklı, deniz organizmalarına dayanıklı, kolay kontrol edilebilir, uzunluğu kolayca değiştirilebilir.	Beton dökülürken kavislenebilir. Komşu kazıklar piriz almadan çakıldığı zaman hasar görebilir.
Prekast betonarme	0.15- 0.3	≤35	750	4.5- 7	$0.85f_c$	Belirli boylar için ekonomiktir. Ahşaptan daha yüksek kapasiteye sahiptir.	Kazıkların kesilmesi ve boyutlandırılması pahalıdır. Sevkiyatı problemlidir. Uzun kazıkların sevkiyatı pahalı, kırılabilir.
Prekast öngermeli beton	0.15- 0.6	≤35	1000	$\frac{f'_c}{3} - 0.27f_{pe}$ $(f_{pe})_{min} = 5$ MPa $(f_{pe})_{max} = 34.5$ MPa	$0.85f_c - f_{pe}$	Belirli boylar için ekonomiktir. Betonarme kazıktan daha az geçirimli. Deniz ortamı için elverişlidir.	Kazıkların kesilmesi ve boyutlandırılması pahalıdır. Sevkiyatı problemlidir. Uzun kazıkların sevkiyatı pahalı, kırılabilir. Basma gerilmesi öngörme arttıkça azalır.
Konik uçlu silindirik	Değişken	<60	2000	40- 70		Parçalar halinde taşınabilir, yüksek kapasitelidir, uzun boyludur.	İmalatı maliyetlidir.

Çelik boru	0.2- 1	<35	900	59- 83	186- ASTM A252, f _y = 207 GR 1217 ASTM A572, f _y = 241 GR 2 310 ASTM A572, f _y = 345 GR 3	Yüksek aksenal ve yanal kapasite. Çakmaya dayanıklı, kolay kontrol edilebilir, boyu kolayca değiştirilebilir. Bozulmaya dayanıklıdır.	Korozif çevreye karşı bakıma gereksinim duyar.
Beton dolgulu boru	0.2- 1	<35	900	Beton: 4.5- 8.5 Çelik: 62- 83	223- ASTM A36, f _y = 248 310 ASTM A572, f _y = 345	Yüksek aksenal ve yanal kapasite. Çakmaya dayanıklı, kolay kontrol edilebilir, boyu kolayca değiştirilebilir. Bozulmaya dayanıklıdır.	Korozif çevreye karşı bakıma gereksinim duyar.
Çelik H- profil	Webs: 1- 3 Flange: 0.2- 0.35	<60	900	59- 83	223- ASTM A36, f _y = 248 310 ASTM A572, f _y = 345	Zeminde ötelenme oluşturmaz, çakmaya dayanıklı, yüksek aksenal ve yanal kapasite, boyu kolayca değiştirilebilir.	Korozif çevreye karşı bakıma gereksinim duyar.
Ahşap	0.125- 0.45	12- 35	250	5.5- 8.5	5.5- 8.3	Düşük maliyetlidir ve yenilenebilir bir kaynaktır.	Düşük kapasite. Yeraltı suyu varlığında korunmadığı takdirde bozulabilir. Çakmaya dayanıklı değil.
Mikrokazık	0.05- 0.3	<25	1000	Beton: 4.5- 8.5 Çelik: 59- 83	Beton ve çelik boru kazıklara benzer	Yüksek kapasitelidir, düşük baş yüksekliğine sahiptir, düşük gürültü ve vibrasyonla imal edilir.	

3. TEKİL KAZIĞIN KAPASİTESİ

Tekil kazığın kapasitesi; kazık yükleme deneyi, dinamik analizlerden, laboratuvar deneylerinden elde edilen zemin parametrelerine göre yapılan statik analizler ve arazi deneylerinden elde edilen verilerin kullanıldığı yöntemlerle belirlenir.

Kazıkların tasarımında ve analizinde, kazıkları sınıflandırabilmek için hangi zeminde çalışacağını saptamak önemlidir. Uç kazıkları yükün büyük bir bölümünü uç kısmıyla transfer ederek, sürtünme kazıkları ise yükün büyük bir kısmını çevrelerindeki zemine direnç göstererek taşırlar. Sürtünme kazıklarının davranışı esas olarak çevrelerindeki zeminle olan ilişkiye göre değişim gösterir.

Kazığın düşey kapasitesi (Q_d), kazık uç taşıma kapasitesi ($Q_{uç}$) ve çevre sürtünme kapasitesinin ($Q_{çevre}$) toplanmasıyla hesaplanır,

$$Q_d = Q_{uç} + Q_{çevre} = f_b \times A_b + \sum_0^L f_s \times \xi d_z \dots\dots\dots(3.1)$$

Burada f_b kazığın birim uç direnci, A_b kazık uç kesit alanı, f_s birim çevre sürtünmesi, ξ kazığın çevresidir.

Toplam gerilme analizinde kazık uç direnci f_b Formül 3.2 ile hesaplanır:

$$f_b = S_u \times N_c \dots\dots\dots(3.2)$$

Burada S_u kilin drenajsız kayma direnci, N_c ise taşıma gücü katsayısıdır ve 9 olarak kabul edilir (de Ruitter and Beringen, 1979).

Efektif gerilmelere bağlı yapılan kazık uç direnci hesabı ise Formül 3.3'te verilmiştir.

$$f_b = N_t \times \sigma'_{0D_f} \dots\dots\dots(3.3)$$

Uç taşıma gücü katsayısı N_t değerleri Tablo 3.1'den kullanılır.

Tablo 3.1 Kazık Ucu Taşıma Gücü Katsayısı (Fellenius, 1991)

Zemin	ϕ'	N_t
Kil	25-30	3-30
Silt	28-34	20-40
Kum	32-40	30-150
Çakıl	35-45	60-300

Tekil kazıkta birim çevre sürtünmesi (f_s) Alfa, Beta ve Lambda Metodu yaklaşımları ile hesaplanır.

1.2 Alfa Metodu

Alfa metodu toplam gerilme analizi için, ince daneli zeminlerdeki kazıkların taşıma kapasitesini belirlemek amacıyla ortaya çıkmıştır. Alfa metodunda Formül 3.4 ile birim çevre sürtünmesi hesaplanır. Adezyon katsayısı (α), drenajsız kayma direnci (s_u) ile f_s (birim çevre sürtünmesi) bulunur (Formül 3.4).

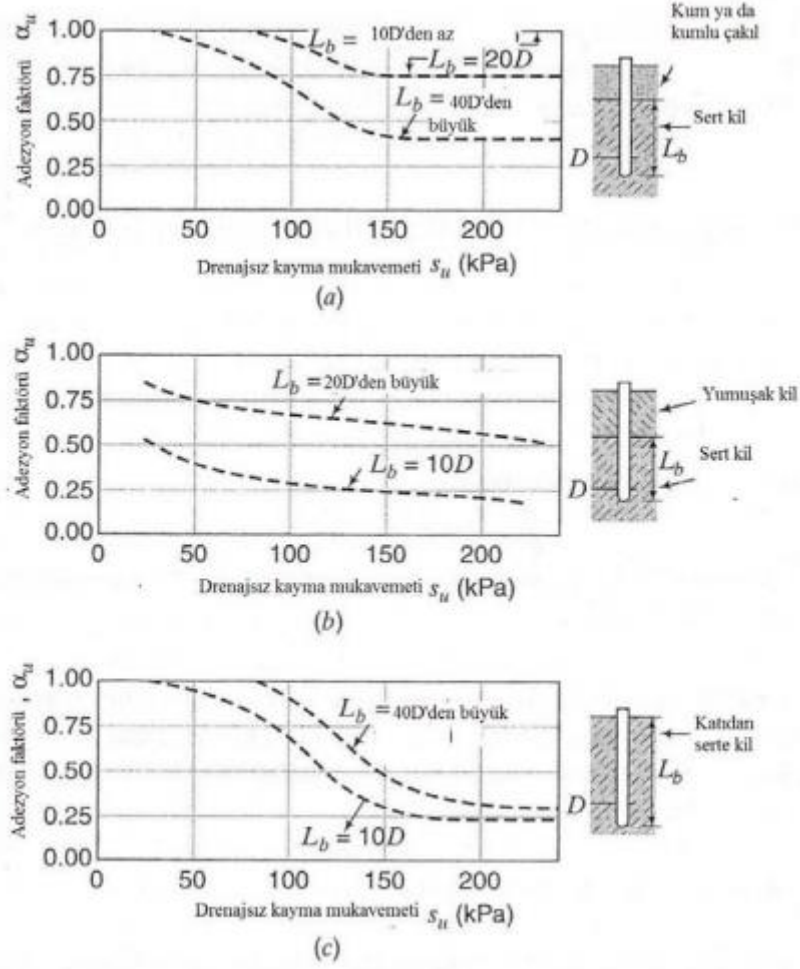
$$f_s = \alpha \times s_u \dots\dots\dots (3.4)$$

Toplam gerilme analizi için adezyon katsayısı hesaplanırken API (*American Petroleum Institute*) (3.5) ve (3.6) formüllerinin kullanılmasını önermiştir.

$$\alpha = 0.5 \times \sqrt{s_u \times \sigma'_{z0}} \dots\dots\dots (3.5)$$

$$\alpha = 0.5 \times s_u^{0.75} \times (\sigma'_{z0})^{0.25} \dots\dots\dots (3.6)$$

Tomlinson (1987)'un önerdiği yöntemle göre α katsayısı Şekil 3.1'den drenajsız kayma direnci S_u ve kazığın kil birim içerisindeki boyuna bağlı olarak bulunur:



Şekil 3.1 İnce daneli zeminler için α değerleri

1.3 Beta Metodu

Beta metodu; efektif gerilme parametreleri kullanarak, iri daneli zeminlerde kısa ve uzun dönem kazık kapasitesi ve ince daneli zeminlerde uzun dönem kazık kapasitesini belirlemek amacıyla ortaya çıkmıştır. Birim sürtünme (f_s) düşey efektif gerilme (σ'_v) ve β katsayısının çarpılmasıyla elde edilir. β katsayısı ise yanal gerilme katsayısı (K_s) ve zemin- kazık sürtünme katsayısı ($\tan \phi'_r$) değerlerinden elde edilir.

$$f_s = \sigma'_v \times \beta \dots\dots\dots(3.7)$$

$$\beta = K_s \times \tan \phi'_r \dots\dots\dots(3.8)$$

$$\delta \approx \phi'_r$$

Farklı zemin ve kazık malzemesine göre kil ve kazık arasındaki drenajlı sürtünme açısı δ 'nın değeri Tablo 3.2'den bulunabilir.

Tablo 3.2 δ Değerlerinin Zemin ve Kazık Malzemesine Göre Değişimi (Fellenius, 1991)

Zemin	δ (°)	Sürtünme Üst Limiti f_{smax} (kPa)
Çok gevşek orta sıkı kum, silt	15	48
Gevşek- sıkı kum, silt	20	67
Orta sıkı- sıkı kum, kum/silt karışımı	25	83
Sıkı- çok sıkı kum, silt	30	96
Sıkı- çok sıkı kum, çakıl	35	111

Kazık Malzemesi	δ (°)
Çelik	0.67- 0.83 ϕ
Beton	0.90- 1.00 ϕ
Ahşap	0.80- 1.00 ϕ

Yanal gerilme katsayısı K_s normal konsolide killer için:

$$K_s = (1 - \sin \phi'_r) \dots \dots \dots (3.9)$$

Aşırı konsolide killer için:

$$K_s = (1 - \sin \phi'_r)(OCR)^{0.5} \dots \dots \dots (3.10)$$

bağıntıları ile elde edilir.

1.4 Lambda Metodu

Lambda metodunda birim sürtünme (f_s), derinliğe bağlı bir fonksiyon olarak kabul edilir. Bu yöntem hem normal hem de aşırı konsolide killer için kullanılabilir.

$$f_s = \lambda \times (\bar{\sigma}'_v + 2\bar{s}_u) \dots \dots \dots (3.11)$$

λ : Kazık boyuna bağlı bir katsayı

$\overline{\sigma'_v}$: Kazık boyunca hesaplanan ortalama düşey efektif gerilme

s_u : Ortalama drenajsız kayma direnci

Kazık boyuna göre λ değerleri Tablo 3.3'de verilmektedir.

Tablo 3.3 λ Değerleri (Önalp ve Sert, 2006)

z (m)	0	3	7	15	23	30	60
λ	0.50	0.36	0.27	0.22	0.17	0.15	0.12

4. CPT İLE KAZIK KAPASİTESİ HESABI

Koni penetrasyon deneyi (CPT) yaygın olarak kullanılan arazi deneylerinden biridir. Deney ilk olarak Hollanda'da 1934'te kumlu zeminlerde, çakma kazık tasarımı yapılması amacıyla kullanılmıştır. Koni penetrasyon deneyi, izdüşüm alanı 10 cm² ve koni tepe açısı 60° olan konik uçlu silindir bir çubuğun 20 mm/s sabit hızla zemine itilmesi sırasında oluşan kuvvetlerin ölçülmesi prensibine dayanır. Deney sırasında uç direnci (q_c), çevre sürtünmesi (f_s) ve PCPT (*PiezoCone Penetration Test*) ile boşluk suyu basıncı (u_w) değerleri elde edilir.

Koni penetrasyon deneyi verileri ile kazık kapasitesi doğrudan ve dolaylı olmak üzere dört farklı yöntemle hesaplanabilir (Wrana, 2015).

Doğrudan Yöntemler: Koni uç direnci ile kazık direnci arasındaki benzerlikten yararlanır. Bazı yöntemlerde birim çevre direncini belirlemek için koni gömleğinden ölçülen çevre sürtünmesinden yararlanılır. Kazığı ve koniyi; ortalama efektif gerilme, zemin sıkışabilirliği ve rijitlik etkiler.

Ampirik Yöntemler: İlk formüller mekanik koni penetrometlerinden bulunan koni direnci (q_c) değerine dayanmaktadır. Elektronik koni penetrometrelerinin kullanılmaya başlanmasıyla birlikte bu yöntemle elde edilen koni direncinin (q_c) yanı sıra, boşluk suyu basıncı (u_1 ve u_2) ve sürtünme direnci de kullanılmaya (f_s) başlanmıştır.

Yarı Ampirik Yöntemler: CPT verileri ile ek parametreler (kazık yüzeyi sürtünme açısı δ , kayma direnci açısı ϕ' , sükunetteki yanal toprak basıncı katsayısı K, düşey efektif

gerilme σ'_{v0} , likit limit w_L , eşdeğer kazık çapı d , drenajsız kayma direnci S_u , bağıl yoğunluk I_D , plastisite indisi I_p) kullanılır.

Dolaylı Yöntemler: Taşıma gücünü belirlemek amacıyla, CPT'den elde edilen koni uç direnci (q_c) ve çevre sürtünmesi (f_s) değerleri ile kayma direnci açısı (ϕ) ve drenajsız kayma direnci (S_u) parametreleri elde edilir. Kazık kapasitesi, elde edilmiş olan zemin parametreleri yardımıyla hesaplanır.

5. LCPC YÖNTEMİ İLE KAZIK BOYUTLANDIRMA

LCPC (*Laboratoire Central des Ponts et Chaussées*) yöntemi (Bustamante ve Gianescilli, 1983); zemin türü, kazık türü ve koni uç direnci dikkate alınarak, ampirik hesaplamalar sonucunda ortaya çıkmıştır. Bu yaklaşım koni uç direncini (q_c), zemin türünü, kazık türünü, uygulama yöntemi faktörlerini, maksimum sürtünme (f_s) ve her tabaka için sürtünme yapışma eğrileri dikkate alınarak değerlendirir. Zemin türü ve kazık uygulama yöntemi dikkate alınarak kazık uç direnci (q_c) ve koni taşıma faktörü (k_b) hesaplanır.

LCPC yönteminin basitleştirilmiş hali aşağıdaki gibidir:

$$f_b = k_b \times q_{esd} \dots\dots\dots (5.1)$$

$$f_s = \frac{1}{k_s} \times q_c \dots\dots\dots (5.2)$$

Burada;

q_{esd} = eşdeğer uç direnci

k_s = çevre direnci faktörü

k_b ve k_s değerleri kazık yapım yöntemine olduğu kadar zeminin cinsine ve sıklık derecesine de bağlıdır. Tablo 5.1 ve Tablo 5.2 k_s ve k_b nin sırasıyla farklı zemin ve kazık türlerine göre değerlerini göstermektedir. Bustamante ve Gianeselli'ye (1983) göre çakma kazıklar için k_b değeri H kazıklar ve boru kazıklar gerekli yükleme testi yapılmadan direkt olarak uygulanmamalıdır.

Tablo 5.1 Farklı zemin ve kazık tiplerine göre k_s değerleri

Zemin Cinsi	q_c / P_a	k_s değeri				Maksimum q_s / P_a					
		Tip									
		IA	IB	IIA	IIB	IA	IB	IIA	IIB	IIIA	IIIB
Yumuşak kil ve çamur	<10	30	30	30	30	0.15	0.15	0.15	0.15	0.35	-
Orta sertlikte kil	10- 50	40	80	40	80	0.35 (0.8)	0.35 (0.8)	0.35 (0.8)	0.35	0.8	≤ 1.2
Silt ve gevşek kum	≤ 50	60	150	60	120	0.35	0.35	0.35	0.35	0.8	-
Sıkı – katı kil ve kompakt tebeşir	> 50	60	120	60	120	0.35 (0.8)	0.35 (0.8)	0.35 (0.8)	0.35	0.8	≤ 2.0
Yumuşak tebeşir	≤ 50	100	120	100	120	0.35	0.35	0.35	0.35	0.8	-
Orta sıklıkta kum ve çakıl	50- 120	100	200	100	200	0.8 (1.2)	0.35 (0.8)	0.8 (1.2)	0.8	1.2	≤ 2.0
Ayrışmış- çatlamış tebeşir	> 50	60	80	60	80	1.2 (1.5)	0.8 (1.2)	1.2 (1.5)	1.2	1.5	≤ 2.0
Sıkı- çok sıkı kum ve çakıl	> 120	150	300	150	200	1.2 (1.5)	0.8 (1.2)	1.2 (1.5)	1.2	1.5	≤ 2.0

- P_a = referans gerilme = 100 kPa
- Tip IA: Delme kazık, şaftlı çamurla delinen, içi boş burgu ile delinen, vidalı kazık, kuyu, baret kazık, düşük enjeksiyon basıncıyla imal edilen mikrokazık.
- Tip IB: Kaplama borulu delme ve çakma beton kazıklar.
- Tip IIA: Çakma hazır beton kazıklar ve öngermeli beton kazıklar.
- Tip IIB: Çakma çelik kazıklar.
- Tip IIIA: Çakma beton kazıklar
- Tip IIIB: Yüksek basınçta enjeksiyonlu kazıklar

Tablo 5.2 Farklı zemin ve kazık tiplerine göre k_b değerleri

Zemin Cinsi	q_c / P_a	k_b değeri	
		1. Grup	2. Grup
Yumuşak kil ve çamur	<10	0.40	0.50
Orta sertlikte kil	10- 50	0.35	0.45
Silt ve gevşek kum	≤ 50	0.40	0.50
Sıkı – katı kil ve kompakt tebeşir	> 50	0.45	0.55
Yumuşak tebeşir	≤ 50	0.20	0.30
Orta sıkılıkta kum ve çakıl	50- 120	0.40	0.50
Ayrışmış- çatlamış tebeşir	> 50	0.20	0.40
Sıkı- çok sıkı kum ve çakıl	> 120	0.30	0.40

- P_a = referans gerilme = 100 kPa
- 1.Grup: Delme kazık, şaftlı çamurla delinen, içi boş burgu ile delinen, vidalı kazık, kuyu, baret kazık, düşük enjeksiyon basıncıyla imal edilen mikro kazık
- 2.Grup: Çakma yerinde dökme beton kazıklar ve Tablo 5.1’de yer alan Tip IIA, IIB, IIIA.

Eşdeğer uç direnci $q_{eşd}$, D = kazık çapı olmak üzere, kazık ucundan $1.5D$ altının ve üstünü boyunca ölçülen koni direncinin aritmetik ortalamasını temsil eder. $q_{eşd}$ 'in belirlenmesi aşağıdaki basamakların izlenmesiyle oluşur:

Koni direnci q_c eğrisi ham eğrideki yerel düzensizlikleri ortadan kaldırmak için normalleştirilir.

Kazık ucunun $1.5D$ altından ve üstünden ölçülen ortalama koni direncinden q_{cort} elde edilir.

Eşdeğer koni direnci $q_{eşd}$, eğrilerin $0.7q_{cort}$ 'den küçük ve $1.3q_{cort}$ 'den büyük okumaları elendikten sonra geriye kalan değerlerin ortalaması alınarak hesaplanır.

LCPC yönteminde, kazık uç direnci ve çevre sürtünmesi için farklı güvenlik sayıları kullanılır. Çevre sürtünmesi için 2 ve uç direnci için 3 kabul edilerek aşağıdaki formül elde edilir:

$$Q_w = \frac{Q_L^s}{2} + \frac{Q_L^b}{3} \dots\dots\dots (5.3)$$

Q_w = izin verilen taşıma gücü

Q_L^s = limit çevre sürtünmesi direnci

Q_L^b = limit uç direnci

Titi ve Abu- Farsakh (1999), öngermeli betonarme çakma kare kazıkların kapasitelerinin bulunmasına yönelik çalışmalar gerçekleştirmiştir. Bu yöntemde, hem kazığın birim uç taşıma kapasitesi (q_t) hem de kazığın birim sürtünmesi (f_s) koni uç direncinden (q_c) elde edilir. Koni sürtünmesi (f_s) kullanılmaz. Kazığın birim uç kapasitesi (q_t) Formül 5.4 ile bulunur:

$$q_t = k_b \times q_{esd} \dots\dots\dots (5.4)$$

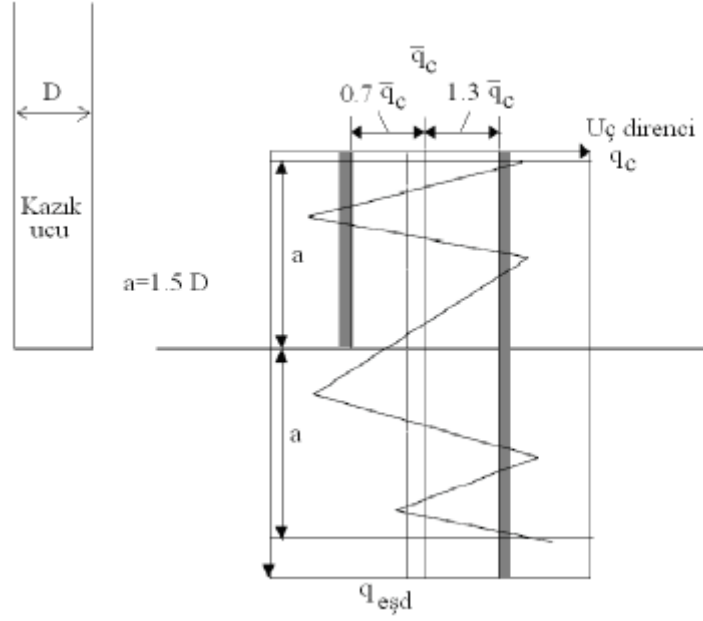
Burada k_b zemin türü ve kazık tipine göre 0.15- 0.60 arasında değişen (Tablo 5.3) ampirik taşıma gücü faktörüdür.

Tablo 5.3 LCPC Taşıma Gücü Faktörü k_b

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

q_{esd} eşdeğer koni uç direncidir ve aşağıdaki şekilde hesaplanır (Şekil 5.1):

1. D = kazık çapı olmak üzere, kazık ucunun $1.5D$ altından ve üstünden ölçülen ortalama koni direncinden q_{cort} elde edilir.
2. Eşdeğer koni direnci q_{esd} , eğrilerin $0.7q_{cort}$ 'den küçük ve $1.3q_{cort}$ 'den büyük okumaları elendikten sonra geriye kalan değerlerin ortalaması alınarak hesaplanır.



Şekil 5.1 Ortalama kazık uç direncinin hesaplanması (Bustamante ve Gianselli, 1982)

Her zemin tabakası için birim sürtünme (f_s) zeminin; eşdeğer koni uç direnci ($q_{eşd}$), zemin türü, kazık tipi ve yapım yöntemi dikkate alınarak belirlenir. Birim sürtünme aşağıdaki adımlar izlenerek belirlenir:

1. Kazık tipi dikkate alınarak Tablo 5.4'ten kazık kategorisi seçilir.
2. Her zemin tabakası için Tablo 5.5 ve Tablo 5.6'dan zemin türüne, eşdeğer koni uç direncine ve kazık kategorisine uygun olan eğri numarası seçilir. Kil ve silt için Tablo 5.5 ve kum ve çakıl için Tablo 5.6 kullanılır.
3. Maksimum sürtünmeyi (f_s) elde etmek için seçilen eğri numarası Şekil 5.2'den bulunur.

Tablo 5.4 LCPC Yönteminde Kazık Kategorileri (Titi ve Abu- Farsakh, 1999)

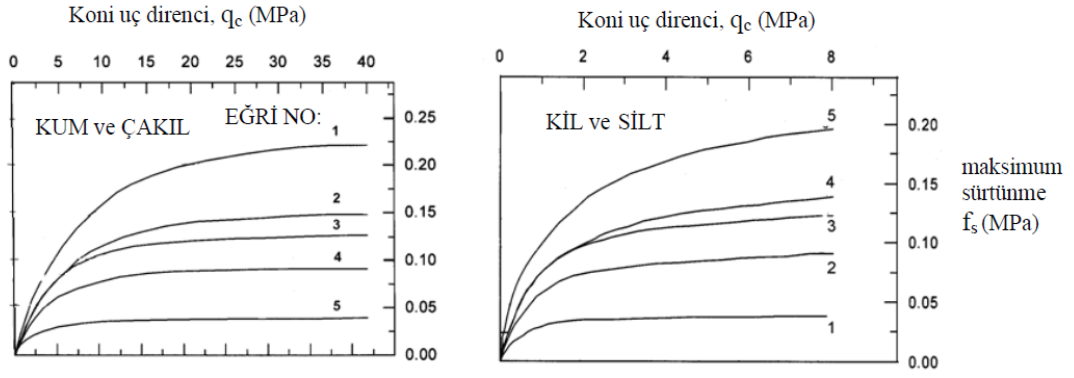
Kategori	Kazık Türü	Yapım Yöntemi
1	bentonitsiz delme şaftlı	YASS üstündeki killerde uygulanır: kuyuyu çamurla desteklemeden imal ediliyor.
2	şaftı çamurla delinen	Kuyu çamurla dolu tutulurken betonlama dipten, çamuru yukarıya ittirerek yapılıyor.
3	kaplama borulu delme	Çelik muhafaza borusunun tutucu niteliğinden yararlanılarak imal ediliyor. Beton döküldükçe boru dışarıya çekiliyor.
4	içi boş burgu ile delinen	Uzunluğu en az kazık boyu kadar olan sürekli burgu ile imal ediliyor. Beton döküldükçe beton dışarı çekiliyor.
5	Kuyu	Kazı elle, işçilerin kuyunun dibinde çalışmasıyla yapılıyor. Kuyu yüzeyi destekler veya kaplama borusu ile tutuluyor.
6	tip 1 mikrokazık	D<250 mm olan kaplama borulu delme kazık. Kplama borusu indirilip içi betonla doldurulduktan sonra ağız kapatılarak içeriye basınçlı hava uygulanarak boru dışarı çekilir.
7	vidalı kazık	İri daneli ve YASS altındaki zeminlerde uygulanmaz. Helezon bir uç ondüle borunun önünde yerine itilir. Uç ters çevrilip kaplama borusunu geri alırken betonlama yapılır.
8	çakma beton	150- 500 mm çaplı boru, H kazıklar; 2, 3, 4 parça palplanştan oluşturulan kutular. Kazık profili büyük çarıkla çakılırken beton çarığın yanından basılır ve bir manto oluşturur.
9	çakma hazır beton kazık	Çakılarak veya titreştirilerek indirilen betonarme veya öngermeli beton kazıklar.
10	çakma çelik	Sadece çakma çelik H, boru ve kaynakla oluşturulan çelik kazıklar.
11	öngermeli içi boş kazık	Çakmadan önce biraraya getirilen hafif donatılı içi boş, silindirik beton. Birimler 1.5- 3m boy, 700- 900mm çap, 150mm et kalınlıklı ve ucu açık.
12	ucu tıkaçlı beton çakma kazık	Çakma uçtaki kuru beton tıkaçla yapılır. Borular dışarı çekilirken düşük çökme değerli beton dövülerek yerleştirilir.
13	çakma boru kazık	Ucu tıkaçlı boru yerine indirilir, orta çökme değerli betonla doldurulduktan sonra sadece boru çekilir.
14	içeri itilen beton kazık	Kazık çapı 300- 600 mm, boyu 0.5- 3.5 m olan prefabrike veya yerinde dökülen parçalardan oluşturulur. Parçalar hidrolik güçle yerine itilir.
15	içeri itilen çelik kazık	Sadece çelik kazıklar yerine hidrolik güçle itiliyor.
16	tip 2 mikrokazık	Çapı <250 mm. Donatı kafesi şafta yerleştirildikten sonra betonlama aşağıdan yukarıya yapılır.
17	yüksek basınçta enjeksiyonlu	Çapı >250 mm. Enjeksiyon sistemi yüksek basınçlar sağlayarak betonu basmalıdır.

Tablo 5.5 İnce Daneli Zeminler için LCPC Parametreleri (Titi ve Abu- Farsakh, 1999)

Eğri No.	q_c (MPa)	Kazık Kategorisi	İmal/ Yerleştirme İşlemi
1	<0.7 >0.7	1 → 17 1, 2	
2	>1.2 >1.2 >1.2 >1.2 >1.2	4, 5, 8, 9, 10, 11, 13, 14, 15 7 6 1, 2 3	<p>-Deneyimler üzerine, 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.</p> <p>-$q_c < 25$ 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.</p> <p>-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.</p> <p>-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 Nolu eğriyi kullan.</p>
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 5.6 İri Daneli Zeminler için LCPC Parametreleri (Titi ve Abu- Farsakh, 1999)

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, 15	
2	>3.5	6, 7, 9, 11, 12, 13, 14, 15	-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.
	>5	2, 3	-Sadece ince kumlar ve boyu 30m'den kısa delme kazıklar için. İnce kumda $L > 30$ m için f_s 1 ve 2 Nolu eğriler arasında. Yükleme deneyi sonuçları yoksa No.1'i kullan.
	>5	4	-Bir miktar kohezyon gösteren kumlar için kullanılır.
3	>7.5	6, 7, 9, 10, 11, 13, 14, 15, 17	-İri çakıllı kum ve çakıl içindir. Beton kazıklarda yükleme deneyi ile kanıtlanıyorsa No.4 eğriyi kullan.
	>7.5	2, 3	- $L < 30$ 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 5.2 LCPC Yönteminde Maksimum Sürtünme Yapışma Eğrileri (Titi ve Abu-Farsakh, 1999)

1.5 Çakma Kazıkların Boyutlandırılması

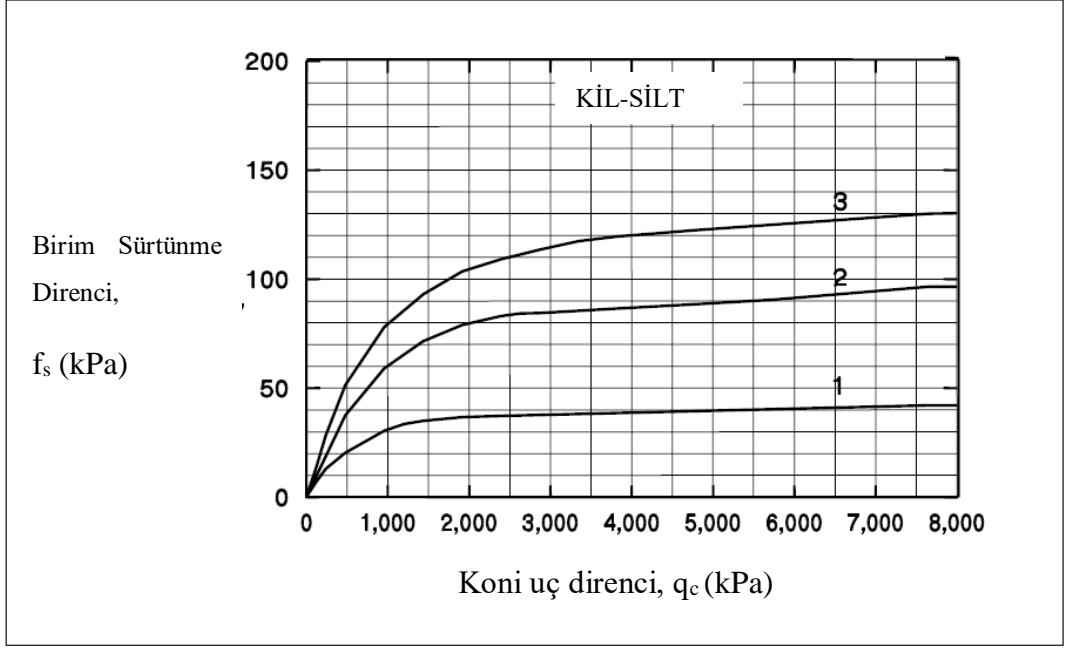
Yıllar içinde endüstrinin gelişmesiyle beraber taşıma kapasitesi hesaplanmasında daha yeni ve hassas yöntemlere ihtiyaç duyulmaya başlanmıştır. Bu sebeple çakma kazıkların taşıma kapasitesi hesabında değişiklikler yapılmıştır.

Çakma kazıklar, yapım yöntemine göre Tablo 5.7 ile kategorize edilir.

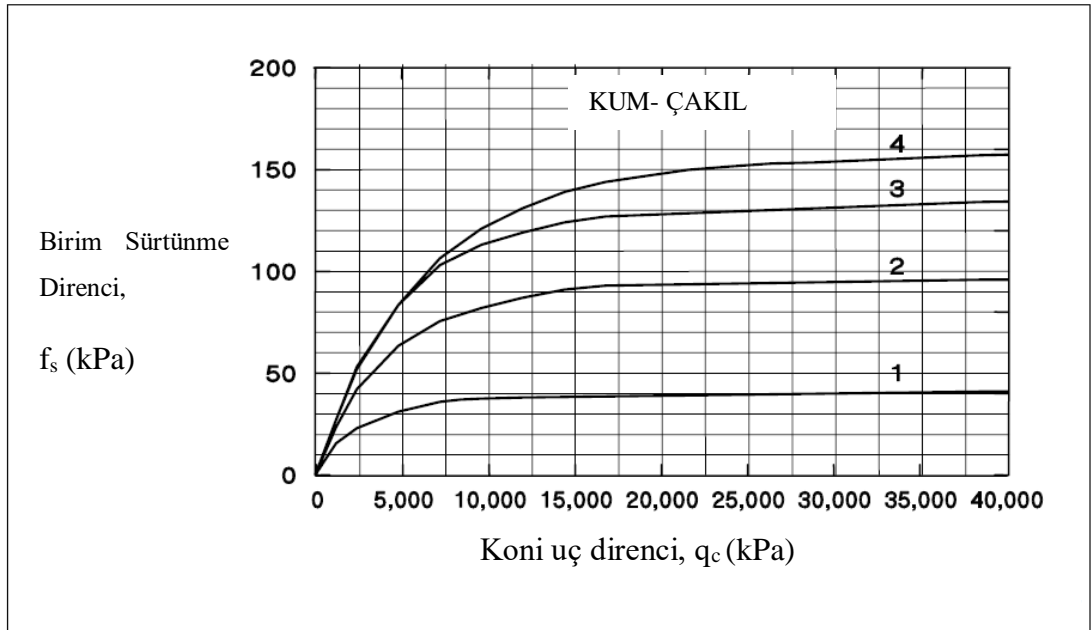
Tablo 5.7 LCPC Yönteminde Çakma Kazık Kategorileri (FHWA, 2006)

Kazık Türü	Kazık Tanımı	Yapım Yönetimi
A	Çakma hazır beton kazık	Çakılarak veya titreştirilerek indirilen betonarme veya öngermeli beton kazıklar.
B	Çakma çelik kazık	Sadece çakma çelik H, boru ve kaynakla oluşturulan çelik kazıklar.
C	Çakma öngermeli içi boş beton kazık	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.

Zemin türü, kazık kategorisi ve kazık uç direnci dikkate alınarak, her zemin tabakası için Şekil 5.3 ya da Şekil 5.4 kullanılarak, Tablo 5.8 ve Tablo 5.9 (FHWA, 2006) yardımıyla sürtünme direnci belirlenir. Koni uç direncinin (q_c) 700 ve 1200 kPa arasında olduğu durumlarda Tablo 5.8'de hangi eğri kullanılacağına dair bir açıklama bulunmamaktadır. Bu durumda sürtünme direncini (f_s) bulmak için 1 ve 2 numaralı eğriler arasında enterpolasyon yapılması önerilmektedir.



Şekil 5.3 LCPC Yönteminde İnce Daneli Zeminler İçin Maksimum Sürtünme Yapışma Eğrileri



Şekil 5.4 LCPC Yönteminde İri Daneli Zeminler Maksimum Sürtünme Yapışma Eğrileri

Tablo 5.8 Kil ve Silt İçin Kazık Türü ve İmal Yöntemine Göre Eğri Seçimi

Eğri No.	q_c (kPa)	Kazık Türü	İmal/Yerleştirme İşlemi
1	<700	A, B, C	
2	>1200	A, B, C	Deneyimlerin gösterdiği üzere, çelik kazıklar için plastisitesi yüksek zeminlerde f_s 1 No.lu eğriye kadar düşebilir. Tüm çakma beton kazıklar için kumlu, çakıllı veya düşük plastisiteli zeminlerde $q_c > 2500$ kPa ise 3 No.lu eğriyi kullan.
3	>1200	A	Tüm çakma beton kazıklar için kumlu, çakıllı veya düşük plastisiteli zeminlerde $q_c > 2500$ kPa ise 3 No.lu eğriyi kullan.

Tablo 5.9 Kum ve Çakıl İçin Kazık Türü ve İmal Yöntemine Göre Eğri Seçimi

Eğri No.	q_c (kPa)	Kazık Türü	İmal/Yerleştirme İşlemi
1	<3500	A, B, C	
2	>3500	A, B, C	İnce kumlar için. Bu zeminlerde çelik kazıkta sürtünme küçük olacağından aksi yükleme deneyi ile bulunmamışsa eğri No.1'i kullan. $q_c > 7500$ kPa olan ince kumda kazıklarda 2 No.lu eğriyi kullan.
3	>7500	A, B	İri çakıllı kum ve çakıl içindir. Beton kazıklarda yükleme deneyi ile kanıtlanıyorsa No.4 eğriyi kullan.
4	>7500	A	Yükleme deneyiyle kanıtlanıyorsa çakıllı iri kum ve çakıl için.

Birim kazık uç direnci, Tablo 5.10 (FHWA, 2006)' dan elde edilen koni taşıma gücü katsayısının (K_c) ve ortalama koni uç direncinin çarpımıyla elde edilir (Formül 5.5).

$$f_b = K_c \times q_c \dots\dots\dots(5.5)$$

Tablo 5.10 LCPC Yöntemi İçin Taşıma Gücü Faktörü

Zemin Türü	Taşıma Gücü Faktörü, K_C
Kil- Silt	0.600
Kum- Çakıl	0.375

6. SONLU ELEMANLAR METODU

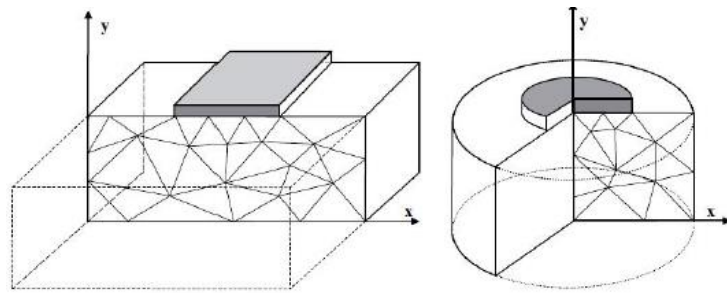
Sonlu Elemanlar Methodu (SEM), bir sınır değer probleminin gerçek sonucuna yaklaşmak için, sistemi elemanlara ayırıp modellenmesidir. Bu elemanlar düğüm noktalarına (*node*) sahiptir ve bu yöntemle düğüm noktalarını ne kadar yer değiştirdiği yaklaşık olarak hesaplanır.

Bilgisayarların kullanılmaya başlanmasıyla beraber, mühendislik problemlerinin çözümünde sonlu eleman yöntemi de yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır.

1.6 Sonlu Elemanlar Yazılımı

Çalışmada Geoteknik mühendisliğinde; deformasyon, stabilite ve yeraltı suyu akışının analizi için geliştirilmiş Plaxis 2D sonlu eleman yazılımı kullanılmıştır.

İlk aşamada geometri oluşturulmuştur. Problemin amacına göre aksel düzlem deformasyon (plane strain) ve aksel simetri (axisymmetrical) olmak üzere iki farklı model geometrisi seçeneği bulunmaktadır (Şekil 6.1).

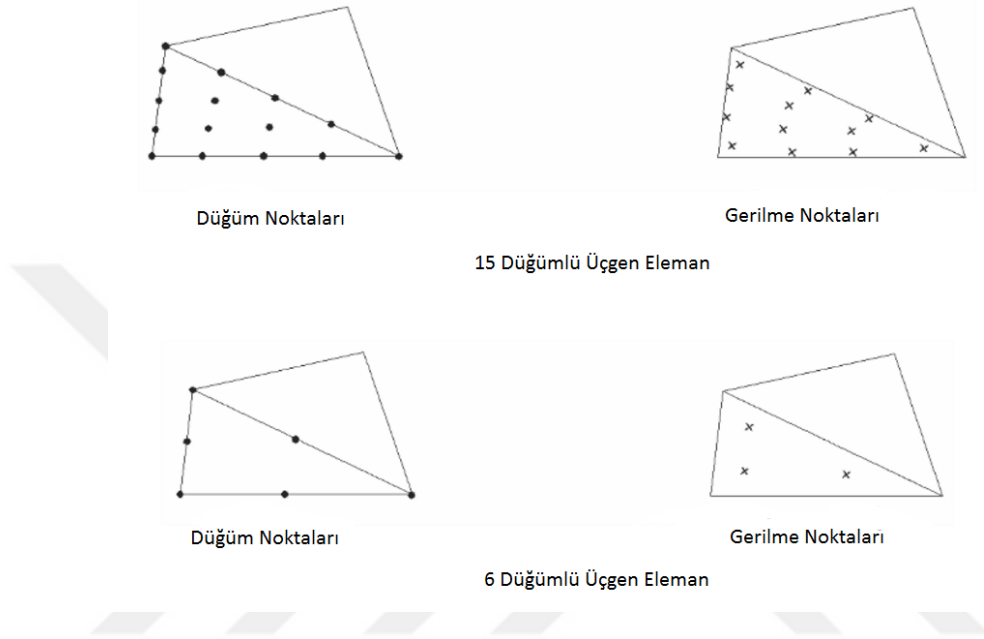


Şekil 6.1 Düzlem deformasyon ve aksel simetri modeli (Brinkgreve v.d. 2017)

Düzlem deformasyon (*plain strain*) modelinde, üniform kesite sahip geometriler ve buna karşılık gelen gerilme durumu kesite dik gelen belirli bir uzunluk boyunca kullanılır.

Eksenel simetri (*axisymmetric*) modelinde problem z eksenine etrafında simetrik olduğu kabul edilir. X eksenine sistemin yarıçapını, y eksenine ise simetri eksenini temsil eder.

Model seçiminin ardından sistem sonlu eleman ağı (mesh) olarak adlandırılan, birbirine düğüm noktaları ile bağlı olan sonlu sayıda elemana ayrılır. Bu elemanlar üçgen olup 15 düğümlü ve 6 düğümlü olmak üzere iki ayrı tiptedirler (Şekil 6.2).



Şekil 6.2 Üçgen elemanların düğüm ve gerilme noktaları (Brinkgreve v.d., 2017)

15 düğümlü üçgen varsayılan öğedir. Dördüncü dereceden enterpolasyon sağlar ve sayısal entegrasyon on iki Gauss noktalarını (gerilme noktaları) içerir. Yapısal elemanlar ve arayüzler için eleman tipi, burada seçilen zemin eleman tipiyle uyumlu olacak şekilde otomatik olarak alınır.

15 düğümlü üçgen, zorlu sorunlar için yüksek kalitede gerilme sonuçları üreten, örneğin sıkıştırılmaz zeminler için çökme hesaplamalarında olduğu gibi çok hassas bir elementtir. 15 düğümlü üçgenler daha fazla bellek tüketimine ve daha yavaş hesaplama ve işlem performansına yol açar. Bu nedenle daha basit bir eleman türü de mevcuttur.

6 düğümlü üçgen yer değiştirmeler için ikinci dereceden bir enterpolasyon sağlar ve sayısal entegrasyon üç gauss noktasını içerir. Yapısal elemanlar ve arayüzler için

eleman tipi, burada seçilen zemin eleman tipiyle uyumlu olacak şekilde otomatik olarak alınır.

6 düğümlü üçgen, yeterli sayıda element kullanılması şartıyla standart deformasyon analizlerinde iyi sonuçlar veren oldukça doğru bir elementtir. Bununla birlikte, eksenel simetrik modellerde veya (mümkün) arızanın taşıma kapasitesi hesaplama veya phi-c azaltma yoluyla güvenlik analizi gibi bir rol oynadığı durumlarda dikkat gösterilmelidir. Arıza yükleri veya güvenlik faktörleri genellikle 6 başlı elemanlar kullanılarak öngörülür. Bu durumlarda 15 düğümlü elemanların kullanılması tercih edilir.

1.6.1 Malzeme Modelleri

Zeminlerin ve kayaların mekanik davranışları çeşitli hassasiyet derecelerinde modellenebilir. Hooke Yasası, mevcut en basit yük- gerilme ilişkisi olarak düşünülebilir. Fakat Young modülü (E) ve Poisson oranı (v) olmak üzere sadece iki parametre içerdiğinden zemin ve kaya davranışının temel özelliklerini yakalamak için genellikle çok hamdır. Plaxis 2D 2019 yazılımında, farklı davranışları temsil etmek üzere geliştirilmiş bir çok malzeme modeli bulunmaktadır.

1.6.1.1 Lineer Elastik Model (LE)

Lineer elastik model, Hooke Kanunu'nun izotropik elastisitesine dayanır. Young modülü (E) ve Poisson oranı (v) olmak üzere iki basit elastik parametreyi içerir. Lineer elastik model zemin için uygun olmadığından dolayı, zemin içindeki beton elemanlar gibi sert hacimleri ya da ayrışmamış kaya oluşumlarını modellemek için kullanılabilir.

1.6.1.2 Mohr- Coulomb Modeli (MC)

Doğrusal elastik- tam plastik bir model olan Mohr- Coulomb modeli, beş adet parametre içerir. Bunlar elastisite modülü (E), Poisson oranı (v), kayma direnci açısı (ϕ), kohezyon (c) ve dilatansi açısıdır (ψ).

1.6.1.3 Pekleşen Zemin Modeli (HS)

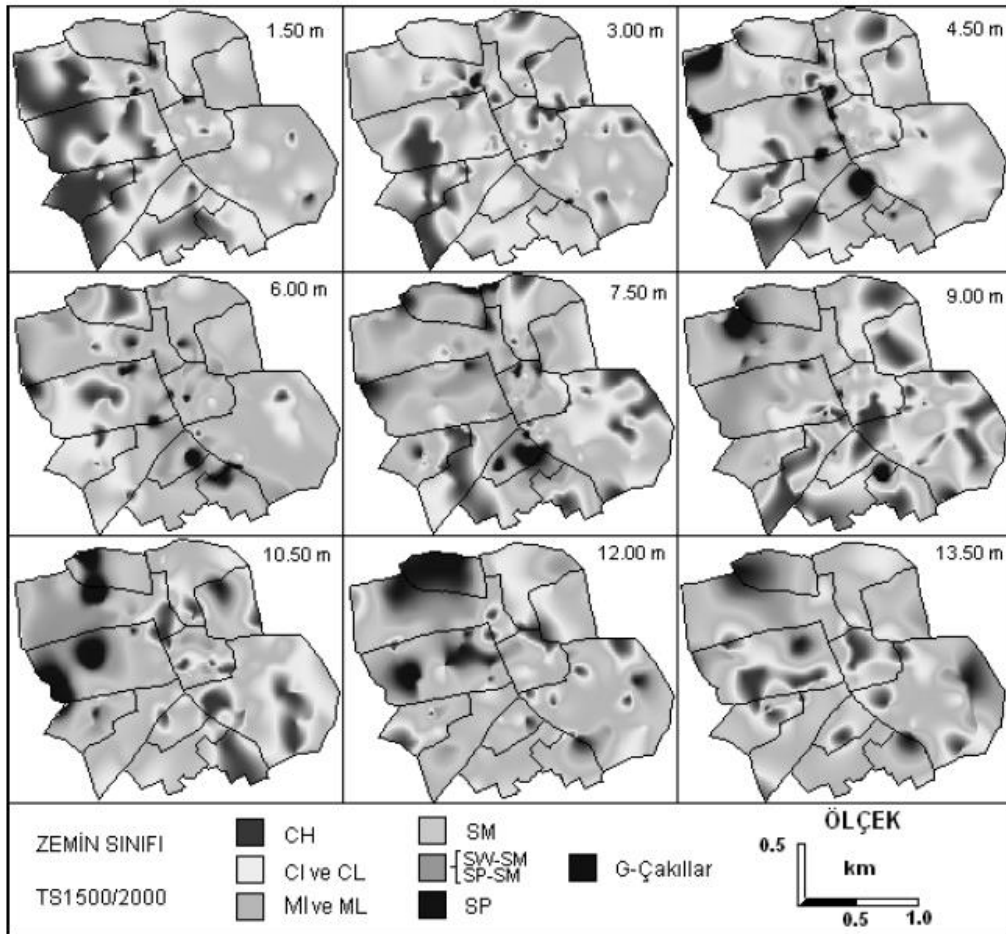
Pekleşen zemin modeli (HS), zemin davranışını simüle eden ileri bir modeldir. Mohr- Coulomb modeli gibi sınır gerilme hali kayma direnci açısı (ϕ), kohezyon (c) ve dilatansi açısı (ψ) ile tanımlanır. Fakat rijitlik parametreleri olarak Mohr- Coulomb modelinden farklı olarak üç farklı parametre kullanılır: referans sekant modülü (E_{50}^{ref})

, yükleme/boşaltma referans elastisite modülü (E_{ur}^{ref}), referans tanjant rijitliği (E_{oed}^{ref}). Üç eksenli deney yapılmadığı takdirde E_{ur}^{ref} parametresi $E_{ur}^{ref} = (3-4) \times E_{50}^{ref}$ olarak alınabilir.

7. TEKİL KAZIK KAPASİTESİNİN HESAPLANMASI

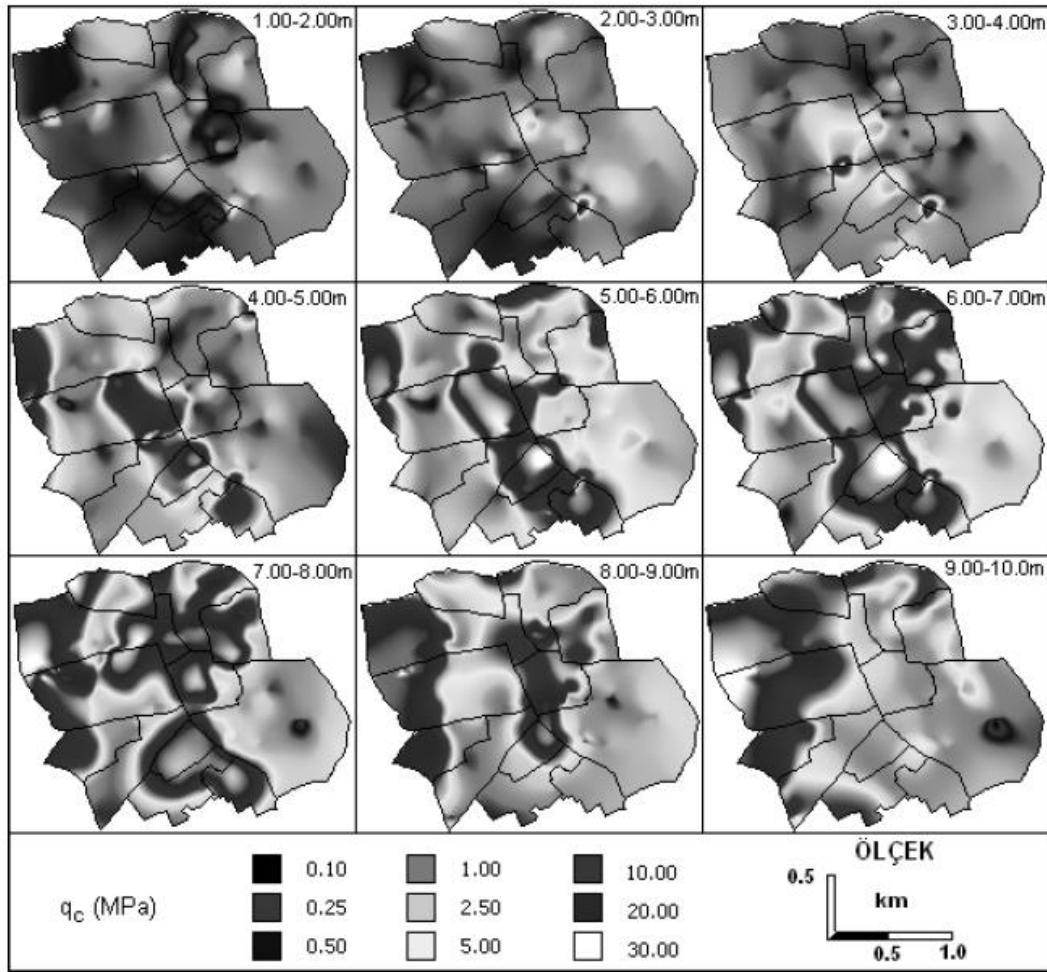
Bu çalışmada; Sakarya İli, Adapazarı İlçesi, Tıgçılar ve Yağcılar mahallelerinde yapılmış olan CPT verileri kullanılarak tekil kazıkların farklı yapım yöntemi, boy ve çaplarına göre taşıma kapasiteleri hesaplanmıştır. CPT verileri, Tübitak 104M387 nolu projenin veritabanından elde edilmiştir. 300 adet CPT verisi ile bu verilere ait koni uç direnci (q_c), sürtünme direnci (f_s) ve boşluk suyu basıncı (u_2) değerleri kullanılmıştır.

Adapazarı merkez mahallelerinde yoğunlaşan bu çalışmalar sonucunda Adapazarı zemin haritaları oluşturulmuştur (Şekil 7.1). Bu haritada zemin sınıfı dağılımları gösterilmiştir.



Şekil 7.1 Derinliğe göre Adapazarı zemin sınıflandırma haritaları (Bol, E., Arel E., Önalp A., 2007)

CPT verileriyle ayrıca Adapazarı koni uç direnci haritaları oluşturulmuştur (Şekil 7.2). Bunun için koni uç direnci (q_c) değerleri normalleştirilmeden kullanılmıştır.



Şekil 7.2 Adapazarı koni uç direnci (q_c) haritaları (Bol, E., Arel E., Önalp A., 2007)

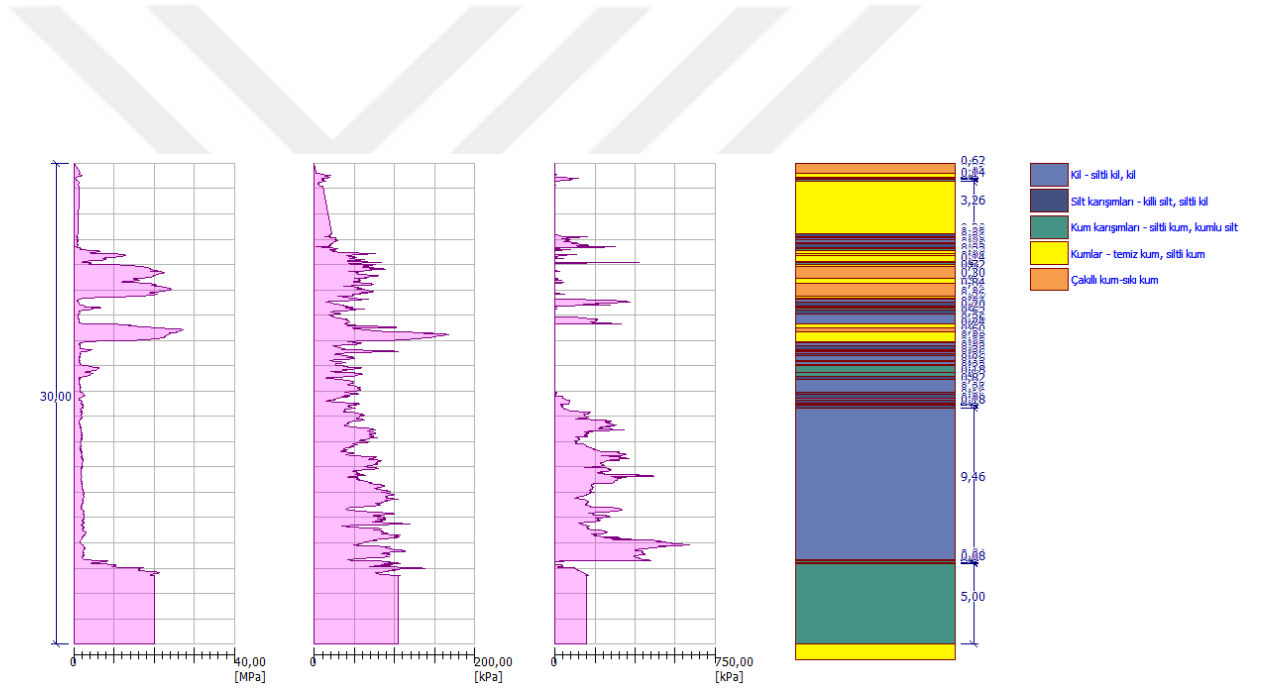
LCPC yöntemiyle kazık kapasitesi hesaplanması amacıyla GEO5 yazılımı kullanılmıştır. Bu yazılım, geoteknik yapıların doğru ve güvenli tasarımı için kullanılan bir limit denge yazılımıdır. Yazılım; farklı standartlar, yöntemler ve katsayılar için analiz yapma imkanı sunmaktadır. Ayrıca içerdiği “Kazık CPT” modülü ile CPT verilerini kullanarak kazık taşıma kapasitesi hesaplamaktadır. Bu çalışmada tekil kazıklar “Kazık CPT” modülü ile boyutlandırılmıştır. Drenajlı zemin parametreleri kullanarak taşıma kapasitesi hesaplayan Beta yöntemi, efektif parametrelerle hesap yaptığı ve hem iri daneli zeminler hem de ince daneli zeminlerde uygulanabildiği için karşılaştırma yapma amaçlı seçilmiştir.

1.7 Tığcılar Mahallesi

Tığcılar Mahallesi'nde yapılmış olan CPT (CTI013) verileri kullanılmıştır.

GEO5, analizlerinde CPT'den elde edilmiş olan derinliğe bağlı koni direnci q_c (MPa), yerel sürtünme f_s (kPa) ve boşluk basıncı u_2 (kPa) değerleri kullanılmaktadır.

GEO5, CPT verileriyle yazılımda tanımlı olan sınıflandırma yöntemleriyle zemini tabakalar halinde zemin tipine göre şematik olarak vermektedir. Robertson (2010)'a göre yapılan zemin sınıflandırılmasında zemin profilini kil, siltli karışımları, kum karışımları oluşturmaktadır (Şekil 7.3). 0.28m derinliğinde yeraltı suyuna rastlanılmıştır.



Şekil 7.3 Zemin Profili

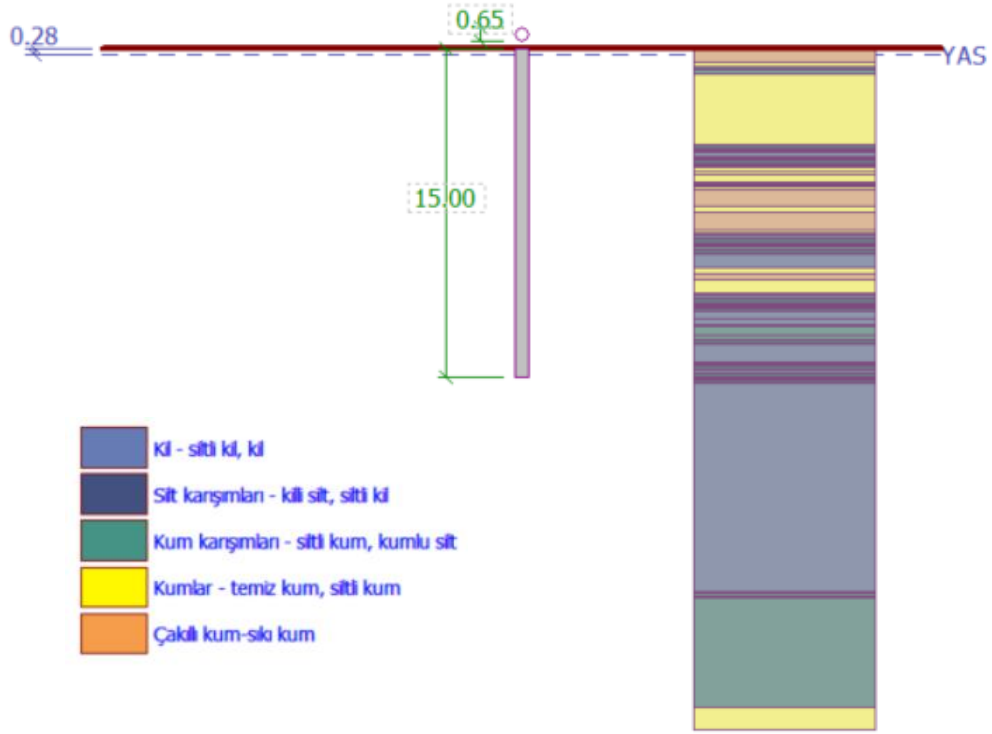
Yazılımın CPT verileri ile belirlemiş olduğu zemin türüne göre, yazılım kendisine tanımlı olan veri tabanından zemin parametrelerini belirlemiştir. Parametreler Tablo 7.1'de verilmiştir.

Tablo 7.1 Zemin Parametreleri

Zemin Türü	Birim Hacim Ağırlık ρ (kN/m ³)	Drenajlı Kayma Direnci Açısı ϕ' (°)	Doygun Birim Hacim Ağırlık ρ (kN/m ³)	Aşırı Konsolidasyon Oranı OCR
Kil- siltli kil/kil	19.00	20	19.00	
Silt karışımları – killi silt/siltli kil	19.00	23	19.00	
Kum karışımları- siltli kum/kumlu silt	19.00	22	19.00	
Kum- temiz kum/siltli kum	19.00	30	19.00	≤ 2
Çakıllı kum/ sıkı kum	19.00	34	19.00	≤ 2

1.7.1 Delme (Fore) Kazık Kapasitesi

CPT verileri (Ek A) ile fore kazık taşıma kapasitesi Şekil 7.4'te verilen zemin profilinden ve Tablo 7.1'de q_c ve f_s değerlerine göre belirlenmiş olan zemin tipine göre elde edilmiş olan parametreler kullanılmıştır. $D= 65\text{cm}$ çapında, $L= 15\text{m}$ uzunluğundaki fore kazığın taşıma kapasitesi hesaplanmıştır. Kazık malzemesi olarak beton seçilmiştir. Farklı çap ve uzunluktaki fore kazıklar için tekrar edilen hesaplar Ek B'de sunulmuştur.



Şekil 7.4 Örnek zemin profili

1.7.1.1 LCPC Yöntemine Göre Taşıma Kapasitesi Hesabı

Beton fore kazığının taşıma kapasitesi GEO5 yazılımıyla, ülkemizde de geçerli olan EN 1997 -2 standardı kullanılarak, LCPC yöntemine göre hesaplanmıştır.

Beton fore kazığının çevre sürtünmesiyle taşıdığı yük, son sürtünme direnci $R_s = 1059.13\text{kN}$ olarak bulunmuştur. Beton fore kazığının uç direnciyle taşıdığı yük, son uç direnci $R_b = 217.80\text{kN}$ olarak bulunmuştur.

$D= 65\text{cm}$ $L= 15\text{m}$ beton fore kazığının son kazık kapasitesi;

$$R_c = R_s + R_b = 1059.13 + 217.80 = 1276.94\text{kN}$$

olarak hesaplanmıştır.

1.7.1.2 Beta Yöntemine Göre Taşıma Kapasitesi Hesabı

Drenajlı zemin parametreleri kullanarak taşıma kapasitesi hesaplayan Beta yöntemi, karşılaştırma yapma amaçlı seçilmiştir.

Beton fore kazığının çevre sürtünmesiyle taşıdığı yük, Formül 3.7, Formül 3.8, Tablo 3.2, Tablo 3.9 ve Tablo 3.10 kullanılarak son sürtünme direnci $R_s = 157.40\text{ kN}$ olarak

bulunmuştur. Beton fore kazığının uç direnciyle taşıdığı yük, Formül 3.3 ve Tablo 3.1 kullanılarak son uç direnci $R_b = 472.86$ kN olarak bulunmuştur.

$D= 65\text{cm}$ $L= 15\text{m}$ beton fore kazığının son kazık kapasitesi;

$$R_c = R_s + R_b = 157.40 + 472.86 = 630.26\text{kN}$$

olarak hesaplanmıştır.

1.7.2 Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi

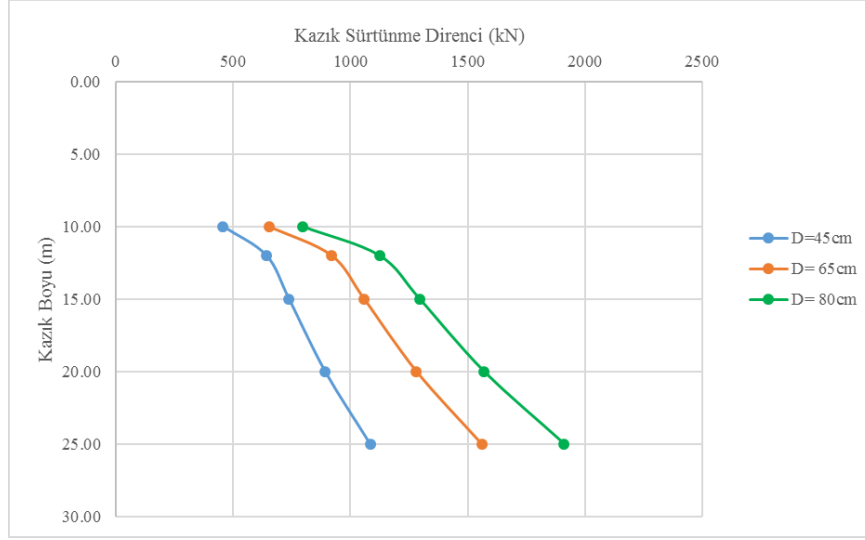
LCPC yöntemine göre kazık taşıma kapasitesinin incelenmesi amacıyla CPT verileri ile kazıkların taşıma kapasitesi hesaplanmıştır. Yöntem CPT verilerinden elde edilen zemin parametreleri kullanılarak Beta yöntemi ve sonlu eleman yöntemiyle hesaplanan kazık taşıma kapasiteleri ile karşılaştırılmıştır.

1.7.2.1 LCPC Yöntemi ile Hesaplanan Kazık Taşıma Kapasitelerinin Karşılaştırılması

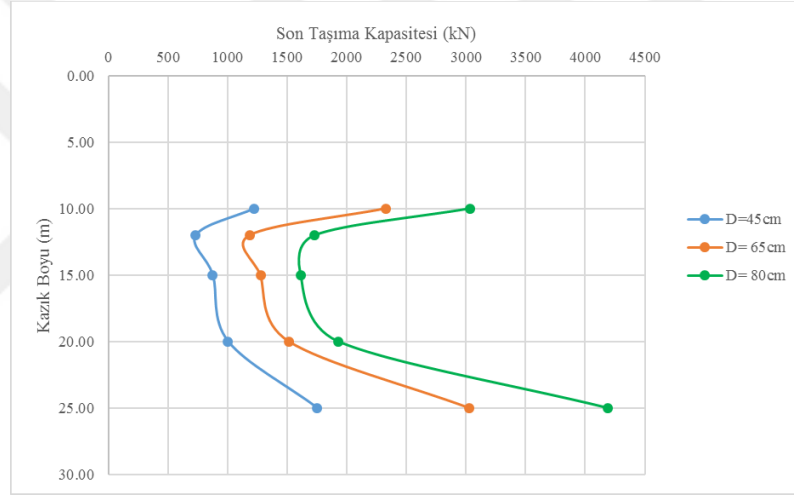
Derinlik boyunca fore kazık için elde edilen kazık uç direnci, kazık sürtünme direnci ve son taşıma kapasitesi 45, 65 ve 80cm çaplı kazıklar için Şekil 7.5, 7.6 ve Şekil 7.7'de gösterilmektedir.



Şekil 7.5 LCPC Yöntemine Göre Hesaplanan Fore Kazıkların Uç Dirençleri



Şekil 7.6 LCPC Yöntemine Göre Hesaplanan Fore Kazıkların Sürtünme Dirençleri



Şekil 7.7 LCPC Yöntemine Göre Hesaplanan Fore Kazıkların Son Taşıma Gücü

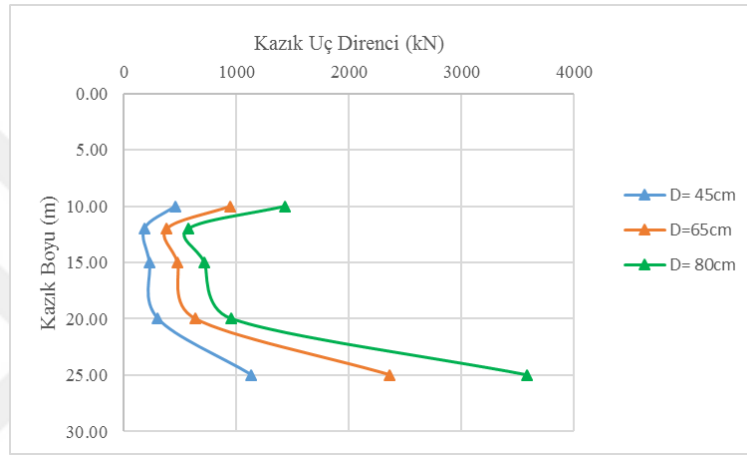
Şekil 7.5'te kazıkların uç direnç değerlerine bakıldığında, L= 10m olan kazıkların uç direncinin L=12m, L= 15m ve L= 20m boyundaki kazıklara göre daha yüksek bir değere sahip olduğu anlaşılmaktadır. Şekil 7.4'te örnek zemin profilinde görüldüğü üzere 10m'de çakıllı kum tabakası bulunmaktadır. Çakıllı kum tabakasının q_c değeri, diğer zemin tabakalarından daha yüksek olmasından dolayı bu fark görülmektedir.

Şekil 7.6'da kazıkların sürtünme direncinin derinlikle birlikte artış gösterdikleri görülmektedir. Sürtünme direncinin belirlenmesinde kazığın bulunduğu farklı ortamlara ait kat sayıları etkili olmaktadır.

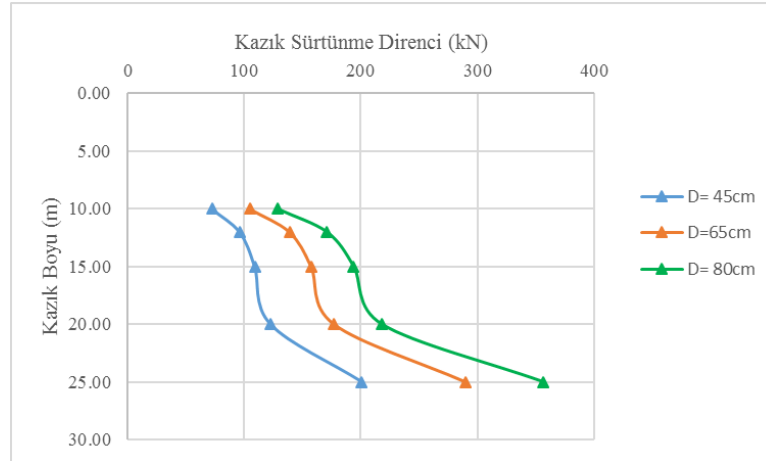
Derinlik boyunca fore kazıklar için elde edilen son taşıma gücünde kazık uç direnci belirleyici etken olmuştur. Şekil 7.7’de L=10m boyundaki kazıkların L=12m, L= 15m ve L= 20m boyundaki kazıklara oranla daha yüksek taşıma gücüne sahip olduğu görülmektedir.

1.7.2.2 Beta Yöntemine Göre Kazık Taşıma Kapasitesinin Hesaplanması

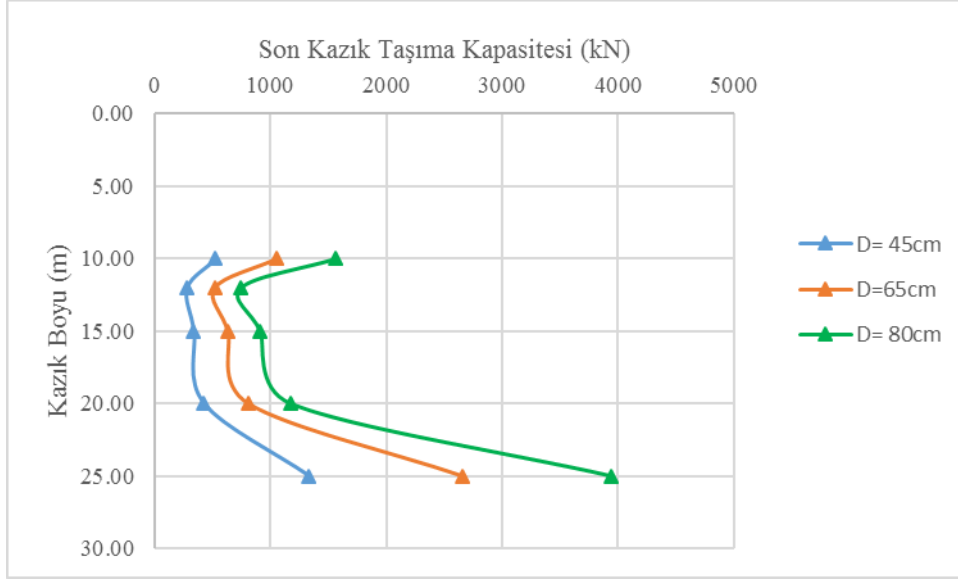
Derinlik boyunca fore kazık için elde edilen kazık uç direnci, kazık sürtünme direnci ve son taşıma kapasitesi 45, 65 ve 80cm çaplı kazıklar için Şekil 7.8, Şekil 7.9 ve Şekil 7.10’da gösterilmektedir.



Şekil 7.8 Beta Yöntemine Göre Hesaplanan Kazıkların Uç Dirençleri



Şekil 7.9 Beta Yöntemine Göre Hesaplanan Kazıkların Sürtünme Dirençleri



Şekil 7.10 Beta Yöntemine Göre Hesaplanan Kazıkların Son Taşıma Kapasitesi

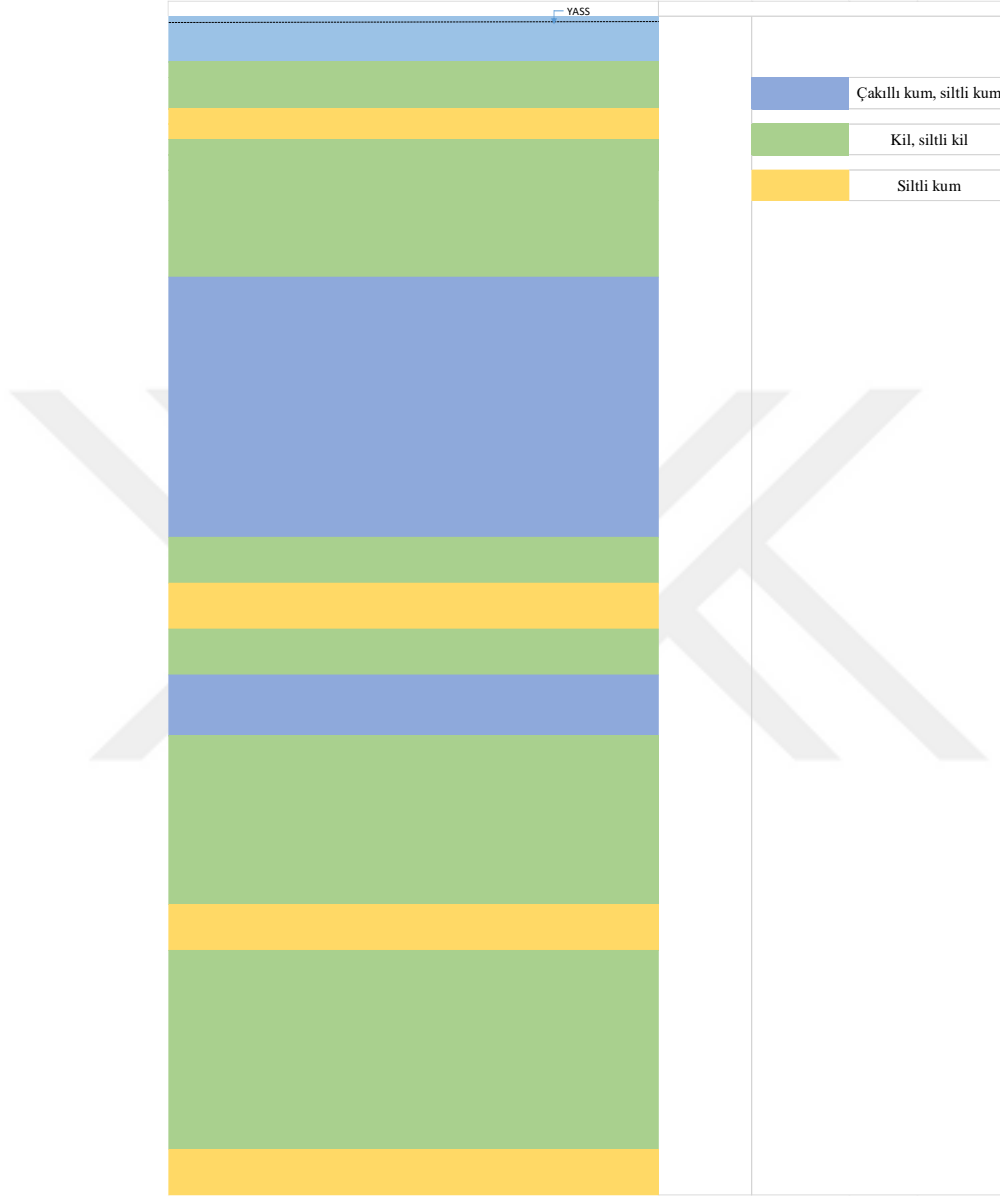
Kazıkların uç direnç değerlerine bakıldığında $L=10\text{m}$ olan kazıkların uç direncinin $L=15\text{m}$ ve $L=20\text{m}$ boya sahip kazıklardan daha yüksek bir değere sahip olduğu anlaşılmaktadır. Buradan zemin türünün ve zemin türüne göre kabul edilen katsayıların, kazık uç direncine olan etkisi anlaşılmaktadır.

Kazıkların sürtünme direnci değerlerine bakıldığında derinlikle beraber artış gösterdikleri görülmektedir. Hesaplamalarda kullanılan katsayılar ve parametreler detaylı olarak Ek B'de sunulmuştur.

İlgili zemin profili için kazıkların son taşıma kapasitelerinin belirlenmesinde kazık uç direncinin kazık sürtünme direncine göre daha belirleyici bir etken olduğu Şekil 7.10'da görülmektedir.

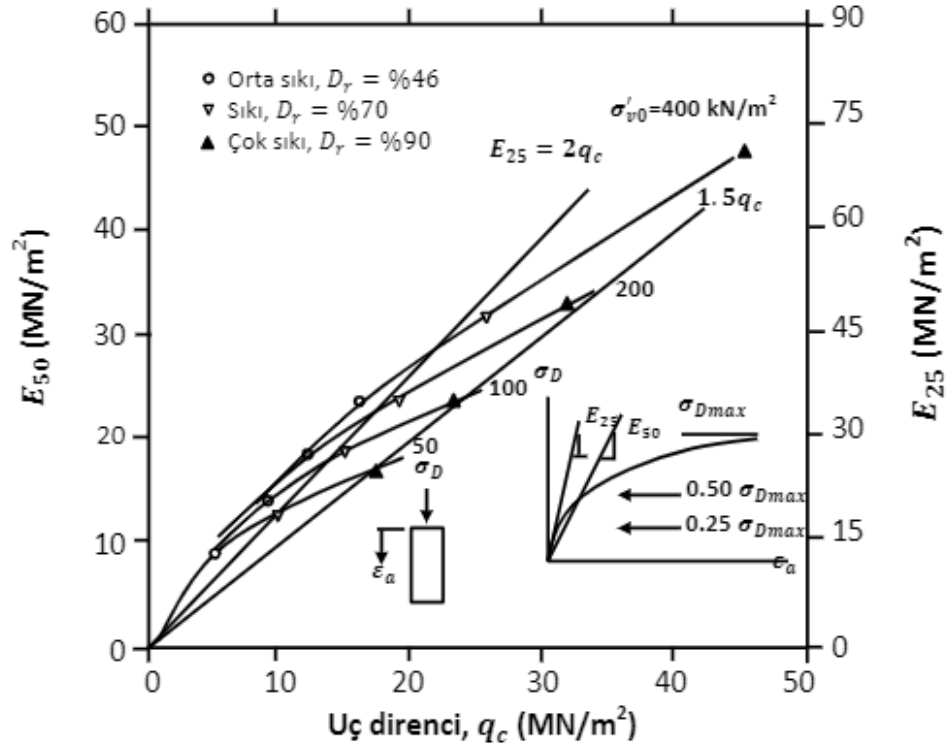
1.7.2.3 Sonlu Elemanlar Yöntemine Göre Kazık Taşıma Kapasitesinin Hesaplanması

PLAXIS 2D ile yapılan analizler için oluşturulmuş olan idealize zemin profili Şekil 7.11’de verilmiştir.



Şekil 7.11 İdealize Zemin Profili

2D olarak tekil kazığın davranışının tanımlanabilmesi için model tipi aksel simetri (*axisymmetry*) seçilmiştir. Oluşturulan idealize zemin profiline göre tabakalar tanımlanmış olup; sekant modülleri (E_{50}) CPT’den elde edilen q_c değerlerine göre Şekil 7.12’deki eğriler kullanılarak belirlenmiştir. Kullanılan temel parametreler Tablo 7.2 de özetlenmiştir.



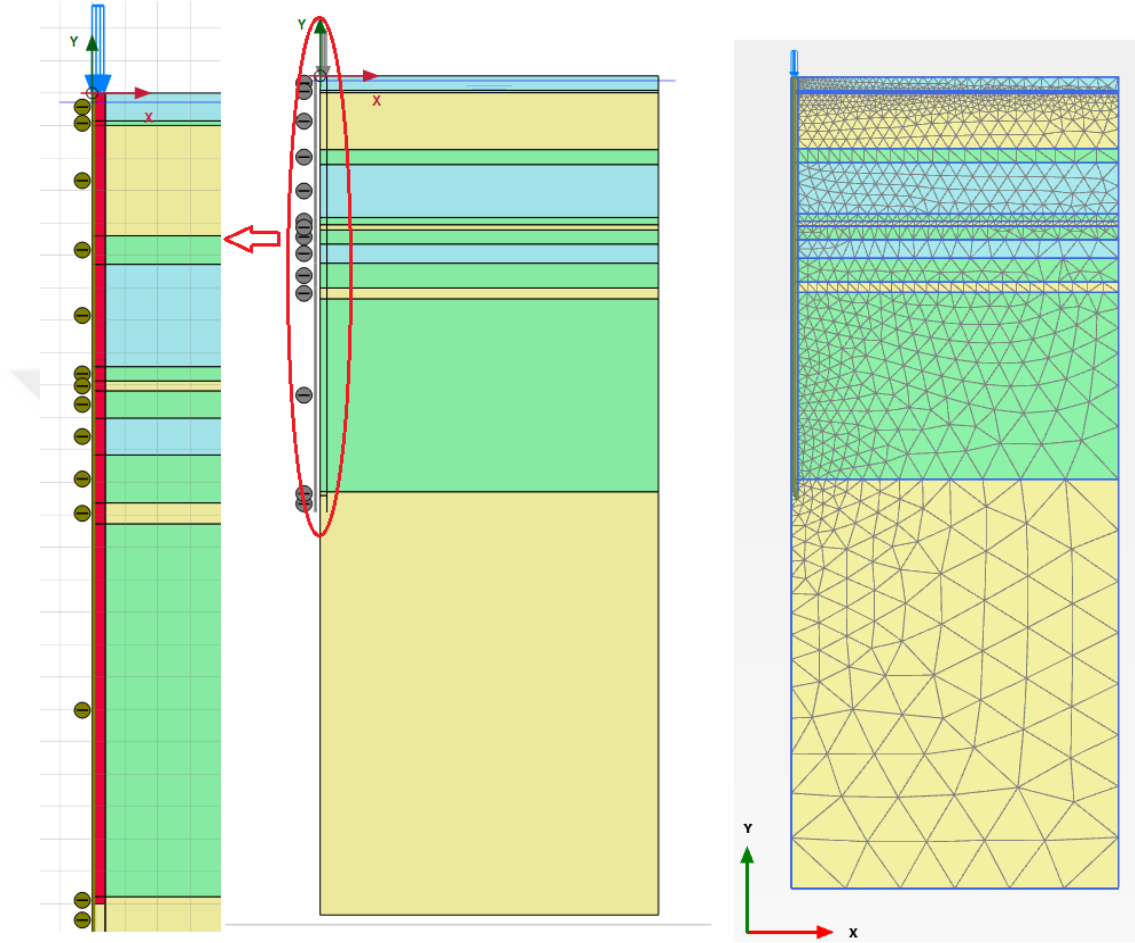
Şekil 7.12 E_{25} - q_c ve E_{50} - q_c ilişkisi (Robertson ve Campanella, 1983)

Modelde kazık için lineer elastik (*linear elastic*) ve zemin için ise pekleşen zemin (*hardening soil*) bünye modeli kullanılmıştır.

Tablo 7.2 Sonlu Elemanlar Yazılımında Kullanılacak Zemin Parametreleri

Zemin Tabakası	Çakıllı kum, siltli kum	Kil, siltli kil	Siltli kum
Doğal Birim Hacim Ağırlığı ρ_n (kN/m ³)	19.00	19.00	19.00
Elastisite Modülü E_s (MPa)	20.00	15.00	15.00
Kayma Direnci Açısı ϕ (°)	32	22	23
Kohezyon c (kPa)	1.00	1.00	1.00

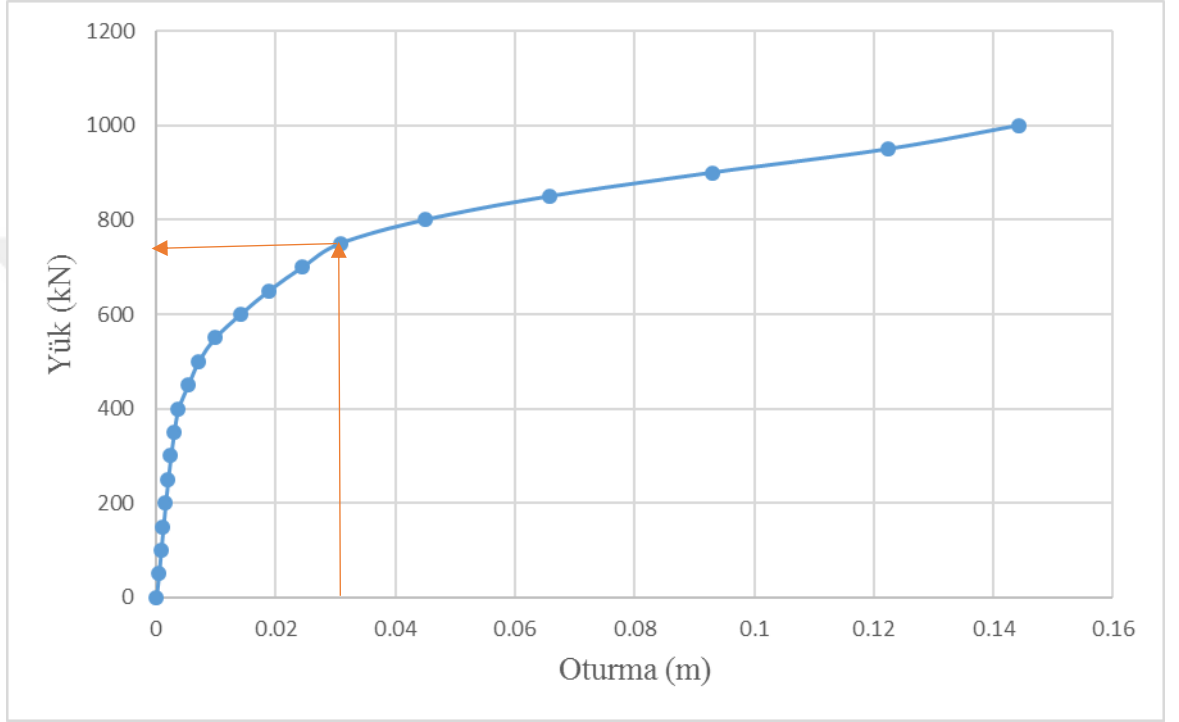
Modele ait geometri Şekil 7.13'te verilmiştir. Geometri oluşturulduktan sonra kazık çevresinde daha hassas olacak biçimde sonlu eleman ağı (*mesh*) oluşturulmuştur. Ayrıca aksenal yükleme altında kazığın zemin içerisinde görece hareketini etkileyecek olan ara yüzey elemanları (*interface*) da modele dahil edilmiştir.



Şekil 7.13 Model Geometrisi ve Sonlu Eleman Ağı

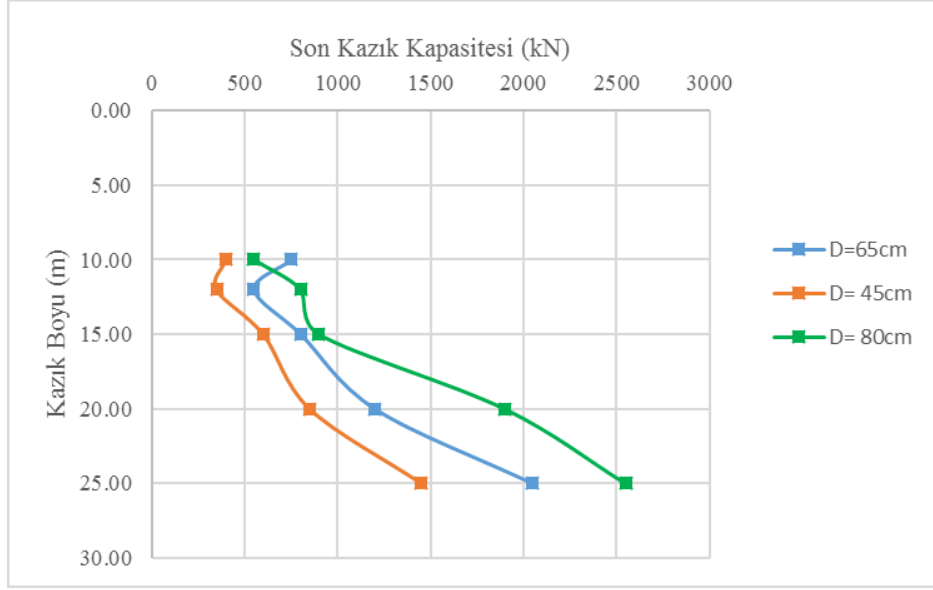
İlk aşamada K_0 şartları altında doğal durumda efektif gerilme ve boşluk suyu basınçları hesaplanmıştır. İkinci aşamada ise, kazık ile ara yüzey elemanları aktif hale getirilmiş ve sonraki aşamalarda kazık göçme yüküne varana kadar yük artırımı ile devam edilmiştir. Aksenal simetri özelliği göz önünde tutularak kazığın yarıçapı genişliğinde kazık modellenmiştir. Her yükleme aşamasında; modelin y-ekseni etrafında 360° döndürülmesiyle oluşacak kazığın yüzey alanı göz önünde tutularak, hedeflenen aksenal yük değerini sağlayacak çizgisel yük tanımlanmıştır.

Plaxis 2D ile elde edilen son taşıma gücü, göçmeye varmayan kazıklarda, kazık yükleme deneyindeki ortalama yük artışı esas alınarak yük artırımı devam ettirilmiştir. Sonlu eleman yazılımında yük-oturma eğrisinin keskin dönüş yapan bir eğri olması nedeniyle plastikleşmeye başladığı yük, göçme yükü kabul edilmiştir. Şekil 7.14'te Plaxis yük-oturma eğrisinde bu durum belirtilmiştir.



Şekil 7.14 Yük – oturma eğrisi ve kabul edilen göçme yükü

Derinlik boyunca kazıklar için elde edilen son taşıma gücü değerleri Şekil 7.15'de gösterilmektedir.



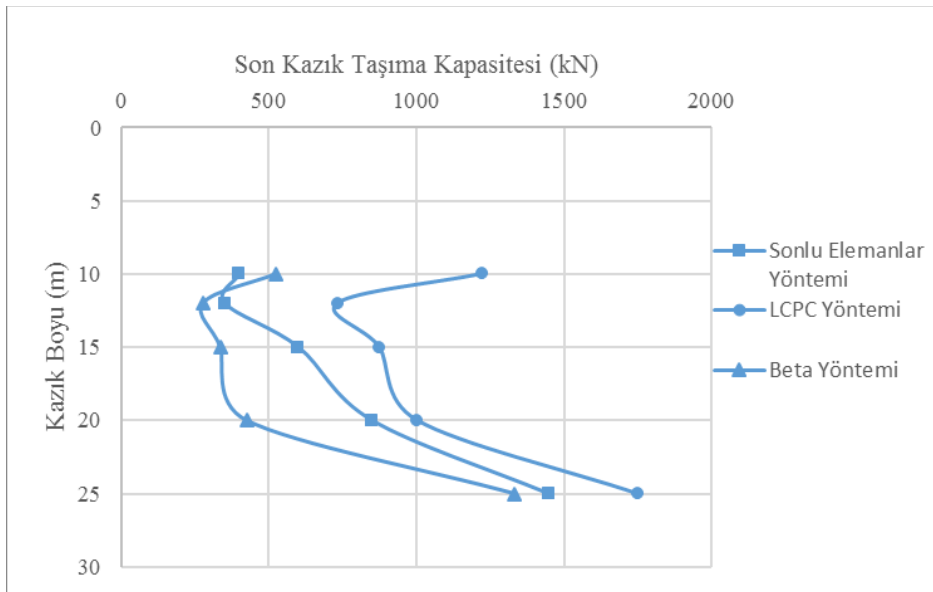
Şekil 7.15 Sonlu Eleman Yöntemine Göre Hesaplanan Son Kazık Kapasitesi

Kazıkların son taşıma kapasitelerine bakıldığında derinlikle beraber artış gösterdikleri görülmektedir.

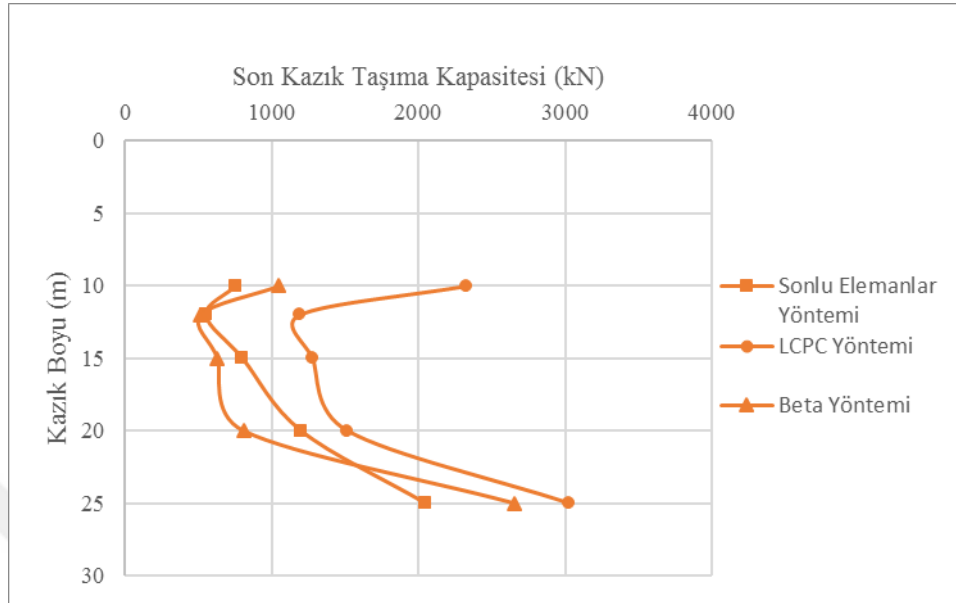
1.7.2.4 Farklı Yöntemlere Göre Kazık Taşıma Kapasitelerinin Karşılaştırılması

CTI0013 profili için 45cm, 65cm ve 80cm çaplarında, 10 ve 25m arasında değişen betonarme fore kazıkların son taşıma kapasiteleri LCPC, Beta ve Sonlu Elemanlar yöntemlerine göre hesaplanmıştır.

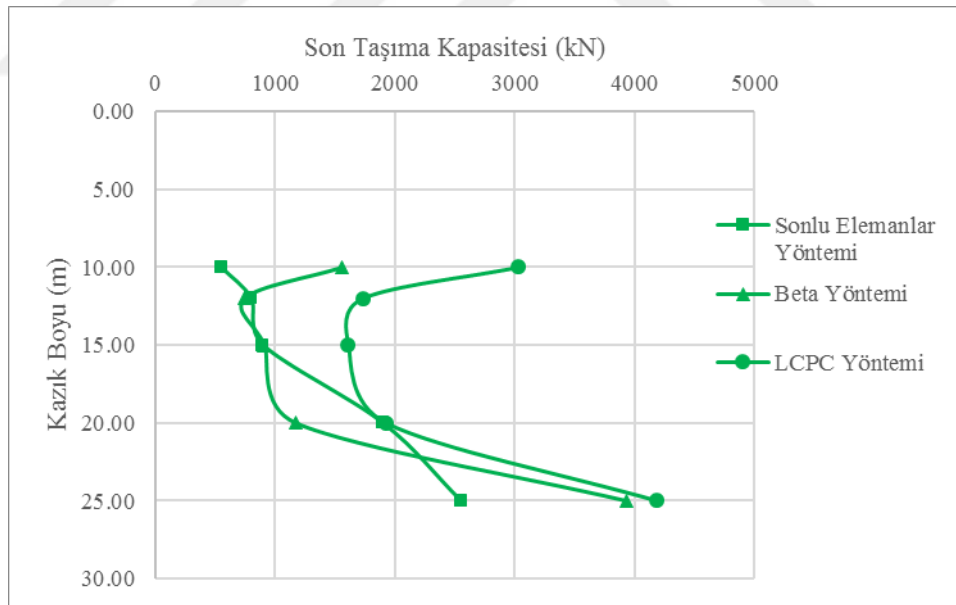
Derinlik boyunca kazıklar için elde edilen son kazık taşıma kapasiteleri farklı kazık çapları için Şekil 7.16, Şekil 7.17 ve Şekil 7.18’de gösterilmektedir.



Şekil 7.16 LCPC , Beta ve Sonlu Elemanlar Yöntemlerine Göre Hesaplanan Son Kazık Taşıma Kapasiteleri (D= 45cm)



Şekil 7.17 LCPC , Beta ve Sonlu Elemanlar Yöntemlerine Göre Hesaplanan Son Kazık Taşıma Kapasiteleri (D= 65cm)



Şekil 7.18 LCPC , Beta ve Sonlu Elemanlar Yöntemlerine Göre Hesaplanan Son Kazık Taşıma Kapasiteleri (D= 80cm)

Örnek profil için yapılan son kazık taşıma kapasitesi hesapları sonucunda CPT değerleri ile doğrudan hesaplanan LCPC yöntemine göre elde edilen taşıma kapasiteleri, dolaylı olarak elde edilen parametreler ile hesaplanan Beta yöntemine göre hesaplanan değerlerden ortalama %97 ve Sonlu Elemanlar yöntemine göre

ortalama %100 daha yüksek çıkmıştır. Yöntemlerin kabul etmiş olduğu kazık ucu taşıma katsayılarının uç direnci üzerindeki etkisi görülmektedir. Tüm yöntemlere göre hesaplanmış olan son kazık taşıma kapasiteleri Tablo 7.3'te özet olarak sunulmuştur.

Tablo 7.3 Farklı Yöntemlere Göre Elde Edilen Son Kazık Taşıma Kapasiteleri

Kazık Boyu (m)	Kazık Çapı (cm)	Son Kazık Taşıma Kapasitesi (kN)		
		LCPC	Beta	Sonlu Elemanlar
10	45	1222	525	400
12	45	733	277	350
15	45	874	335	600
20	45	1003	424	850
25	45	1751	1333	1450
10	65	2326	1050	750
12	65	1189	517	550
15	65	1276	630	800
20	65	1515	807	1200
25	65	3024	2653	2050
10	80	3030	1561	550
12	80	1731	743	800
15	80	1612	910	900
20	80	1926	1172	1900
25	80	4186	3937	2550

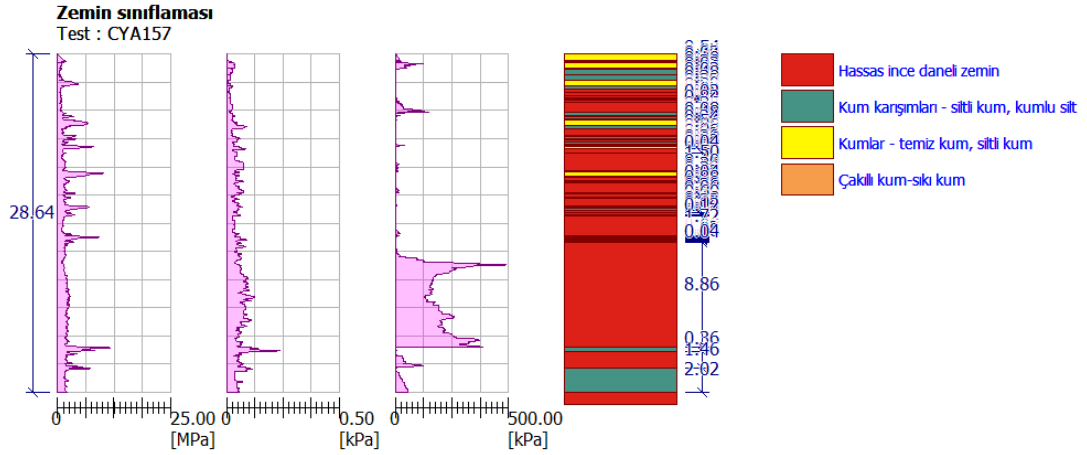
1.8 Yağcılar Mahallesi

Yağcılar Mahallesi'nde yapılmış olan CPT (CYA157) verileri kullanılmıştır.

CPT'den elde edilmiş olan derinliğe bağlı koni direnci q_c (MPa), yerel sürtünme f_s (kPa) ve boşluk basıncı u_2 (kPa) değerleri kullanılmaktadır.

GEO5, CPT verileriyle yazılımda tanımlı olan sınıflandırma yöntemleriyle zemini tabakalar halinde zemin tipine göre şematik olarak vermektedir. Robertson (2010)'a

göre yapılan zemin sınıflandırılmasında zemin profilini hassas ince daneli zemin, kum karışımları, kum ve çakıllı kum oluşturmaktadır (Şekil 7.19). Yapılmış olan CPT’de yer altı suyu rapor edilmemiştir.



Şekil 7.19 Zemin Profili

Yazılımın CPT verileri ile belirlemiş olduğu zemin türüne göre, yazılım kendisine tanımlı olan veri tabanından zemin parametrelerini belirlemiştir. Parametreler Tablo 7.4’te verilmiştir.

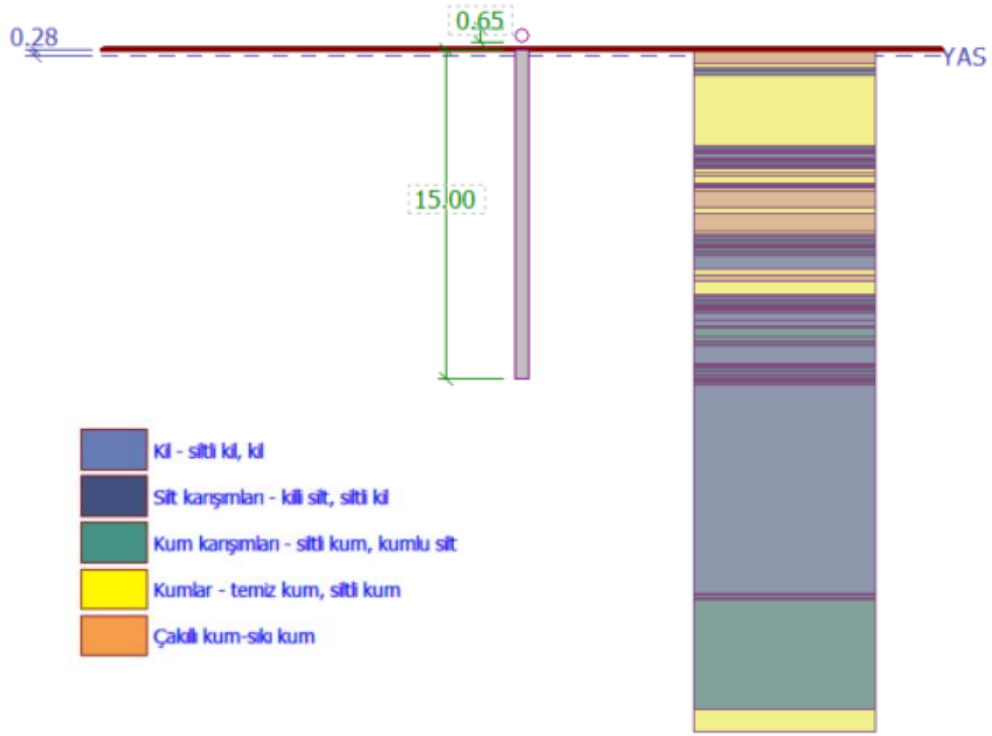
Tablo 7.4 Zemin Parametreleri

Zemin Türü	Birim Hacim Ağırlık ρ (kN/m ³)	Drenajlı Kayma Direnci Açısı ϕ' (°)	Doygun Birim Hacim Ağırlık ρ (kN/m ³)
Hassas ince daneli zemin	19.00	15	19.00
Kum karışımları- siltli kum/kumlu silt	19.00	22	19.00
Kumlar- temiz kum/siltli kum	19.00	30	19.00
Çakıllı kum/ sıkı kum	19.00	34	19.00

1.8.1 Fore Kazık Kapasitesi

CPT verileri (Tablo A.2) ile fore kazık taşıma kapasitesi Şekil 7.20’de verilen zemin profilinden ve Tablo 7.4’te verilen, zemin tipine uygun olarak belirlenmiş olan zemin

parametreleri kullanılmıştır. D= 65 cm çapında, L= 15m uzunluğundaki fore kazığın taşıma kapasitesi hesaplanmıştır. Kazık malzemesi olarak beton seçilmiştir.



Şekil 7.20 Örnek zemin profili

1.8.1.1 LCPC Yöntemine Göre Taşıma Kapasitesi Hesabı

Beton fore kazığın taşıma kapasitesi GEO5 yazılımıyla, ülkemizde de geçerli olan EN 1997 -2 standardı kullanılarak, LCPC yöntemine göre hesaplanmıştır.

Beton fore kazığın çevre sürtünmesiyle taşıdığı yük, son sürtünme direnci $R_s = 593.27$ kN olarak bulunmuştur. Beton fore kazığın uç direnciyle taşıdığı yük, son uç direnci $R_b = 219.84$ kN olarak bulunmuştur.

D= 65cm L= 15m beton fore kazığın son kazık kapasitesi;

$$R_c = R_s + R_b = 593.27 + 219.84 = 813.11kN$$

olarak hesaplanmıştır.

1.8.1.2 Beta Yöntemine Göre Taşıma Kapasitesi Hesabı

Drenajlı zemin parametreleri kullanarak taşıma kapasitesi hesaplayan Beta yöntemi, karşılaştırma yapma amaçlı seçilmiştir. Beta yöntemi hem fore hem de çakma kazık taşıma kapasitesi hesabı için kullanılmaktadır.

Beton fore kazığın çevre sürtünmesiyle taşıdığı yük, Formül 3.7, Formül 3.8, Tablo 3.2, Tablo 3.9 ve Tablo 3.10 kullanılarak son sürtünme direnci $R_s = 93.18$ kN olarak bulunmuştur. Beton fore kazığın uç direnciyle taşıdığı yük, Formül 3.3 ve Tablo 3.1 kullanılarak son uç direnci $R_b = 472.86$ kN olarak bulunmuştur.

$D= 65\text{cm}$ $L= 15\text{m}$ beton fore kazığın son kazık kapasitesi;

$$R_c = R_s + R_b = 93.18 + 472.86 = 566.04\text{kN}$$

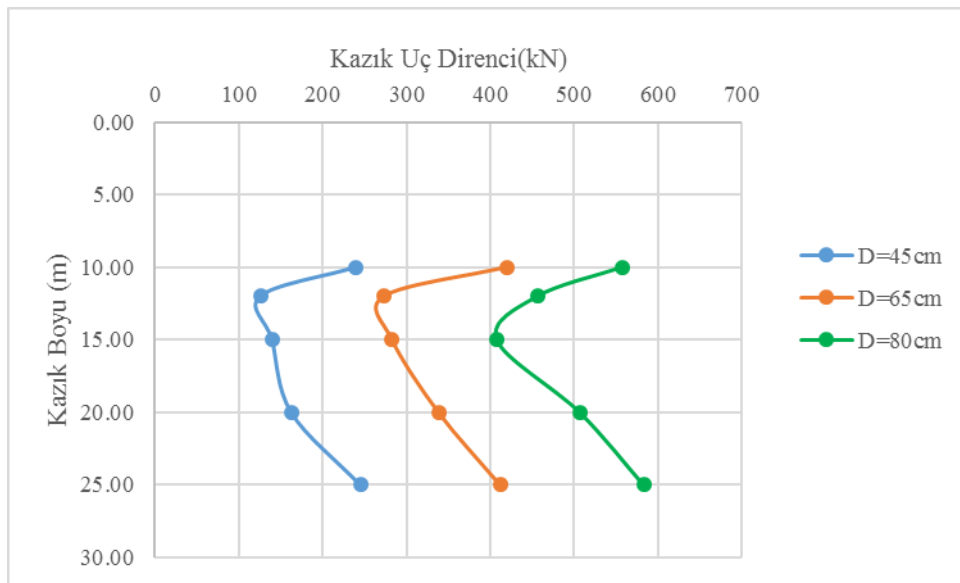
olarak hesaplanmıştır.

1.8.2 Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi

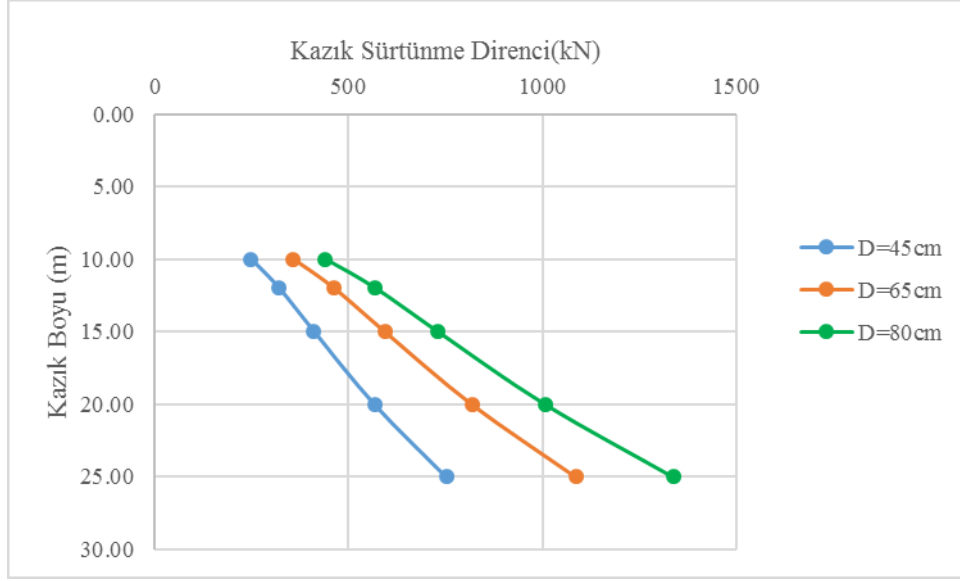
LCPC yöntemine göre kazık taşıma kapasitesinin incelenmesi amacıyla CPT verileri ile kazıkların taşıma kapasitesi hesapları yapılmıştır. Yöntem CPT verilerinden elde edilen zemin parametreleri kullanılarak Beta yöntemi ve sonlu elemanlar yöntemiyle hesaplanan kazık taşıma kapasitesi ile karşılaştırılmıştır.

1.8.3 LCPC Yöntemi ile Hesaplanan Kazık Taşıma Kapasitelerinin Karşılaştırılması

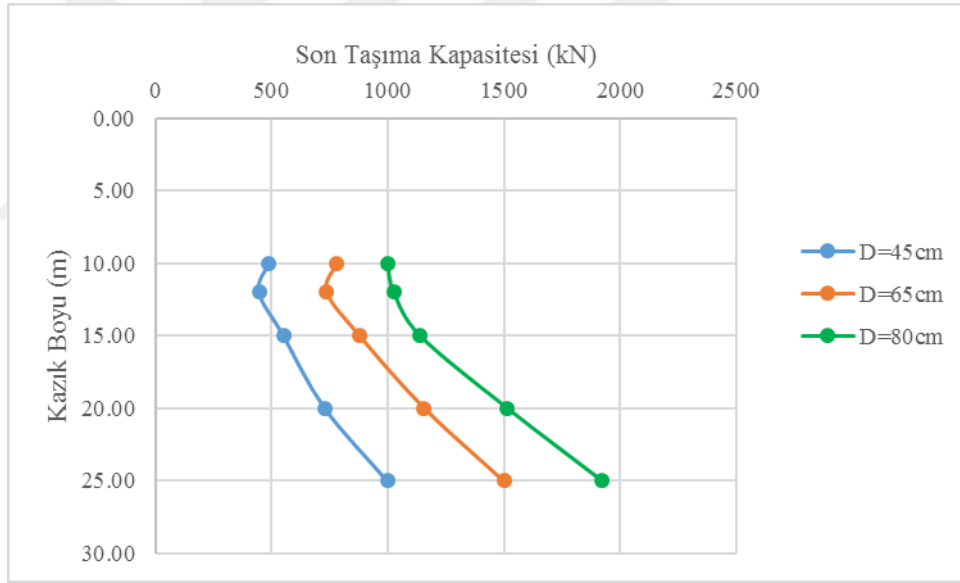
Derinlik boyunca fore kazık için elde edilen kazık uç direnci, kazık sürtünme direnci ve son taşıma kapasitesi 45, 65 ve 80cm çaplı kazıklar için Şekil 7.21, Şekil 7.22 ve Şekil 7.23'te gösterilmektedir.



Şekil 7.21 LCPC Yöntemine Göre Hesaplanan Fore Kazıkların Uç Dirençleri



Şekil 7.22 LCPC Yöntemine Göre Hesaplanan Fore Kazıkların Sürtünme Dirençleri



Şekil 7.23 LCPC Yöntemine Göre Hesaplanan Fore Kazıkların Son Taşıma Gücü

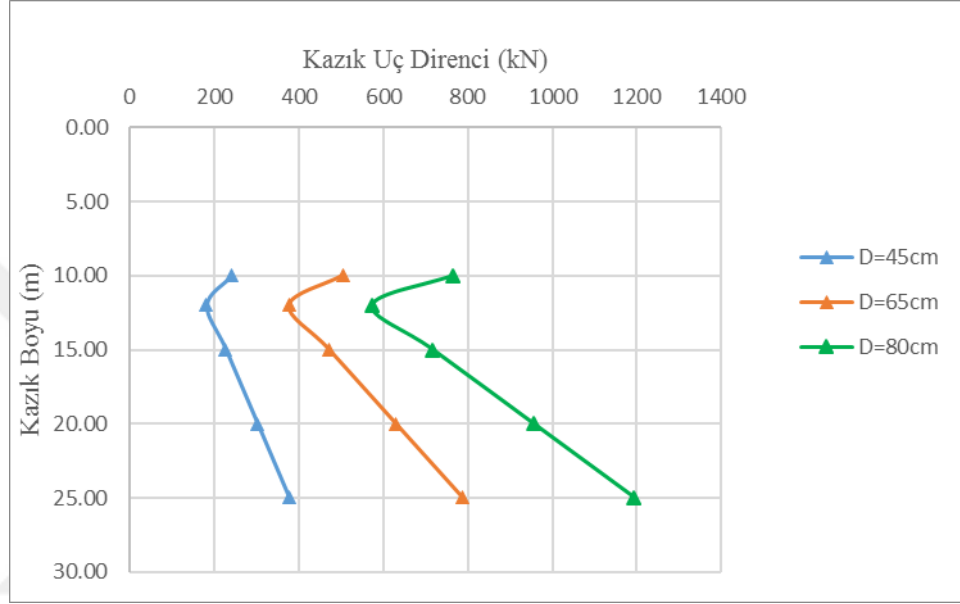
Kazıkların uç direnç değerlerine bakıldığında $L=10\text{m}$ olan kazıkların uç direncinin $L=12\text{m}$, $L=15\text{m}$ ve $L=20\text{m}$ boya sahip kazıklardan daha yüksek bir değere sahip olduğu anlaşılmaktadır. Buradan koni uç direncinin ve zeminin kazık uç direncine olan etkisi anlaşılmaktadır.

Kazıkların sürtünme direnci değerlerine bakıldığında derinlikle beraber artış gösterdikleri görülmektedir. Hesaplamalarda kullanılan katsayılar ve parametreler detaylı olarak Ek B'de sunulmuştur.

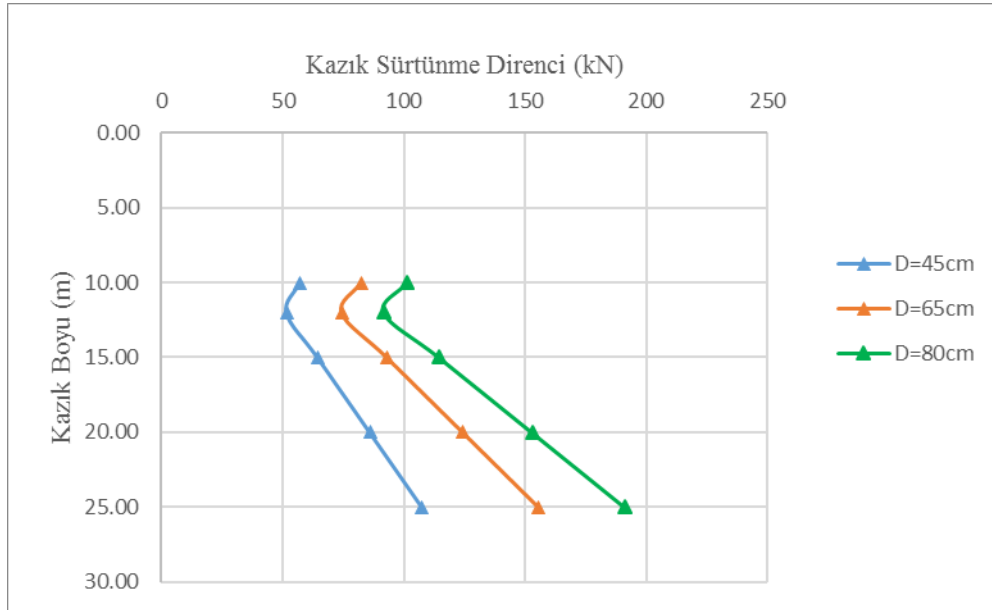
Kazıkların sürtünme direnci değerlerine bakıldığında derinlikle beraber artış gösterdikleri görülmektedir.

1.8.4 Beta Yöntemine Göre Kazık Taşıma Kapasitesinin Hesaplanması

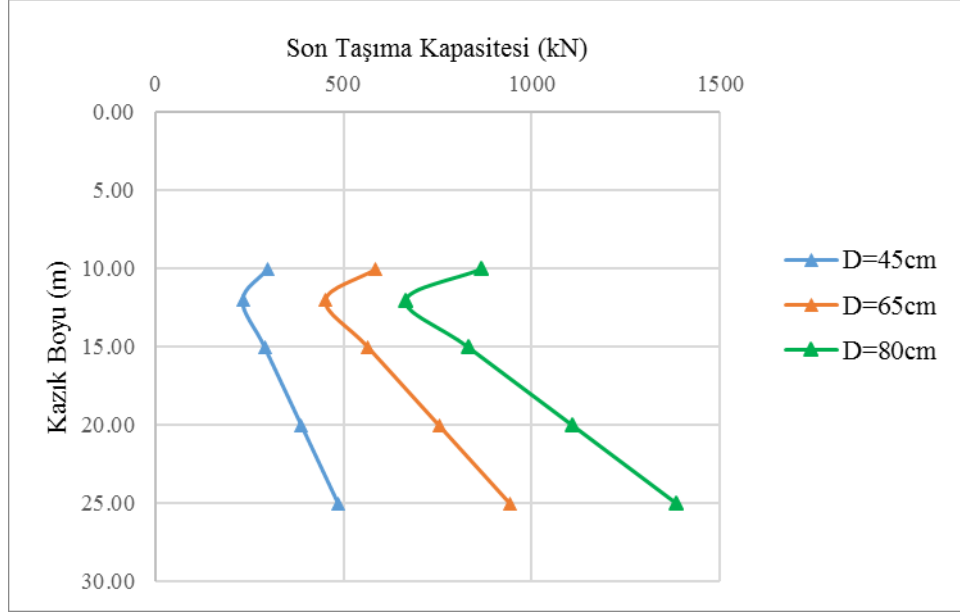
Yapılan örnek hesaplar neticesinde, derinlik boyunca kazıklar için elde edilen kazık uç dirençleri, sürtünme dirençleri ve son kazık taşıma kapasiteleri farklı kazık çapları için Şekil 7.24, Şekil 7.25 ve Şekil 7.26'de gösterilmektedir.



Şekil 7.24 Beta Yöntemine Göre Hesaplanan Kazık Uç Dirençleri (D= 45cm)



Şekil 7.25 Beta Yöntemine Göre Hesaplanan Kazık Sürtünme Dirençleri



Şekil 7.26 Beta Yöntemine Göre Hesaplanan Son Kazık Taşıma Kapasitesi

Kazıkların uç direnci değerlerine bakıldığında $L=10\text{m}$ olan kazıkların uç direncinin $L=12\text{m}$ boya sahip kazıklardan daha yüksek bir değere sahip olduğu anlaşılmaktadır. Buradan zemin türüne göre kabul edilen katsayıların, kazık uç direncine olan etkisi anlaşılmaktadır.

Kazıkların sürtünme direnci değerlerine bakıldığında derinlikle beraber artış gösterdikleri görülmektedir. Hesaplamalarda kullanılan katsayılar ve parametreler detaylı olarak Ek B'de sunulmuştur.

1.8.4.1 Sonlu Elemanlar Yöntemine Göre Kazık Taşıma Kapasitesinin Hesaplanması

PLAXIS 2D ile yapılan analizler için oluşturulmuş idealize zemin modeli Şekil 7.27'de verilmiştir.



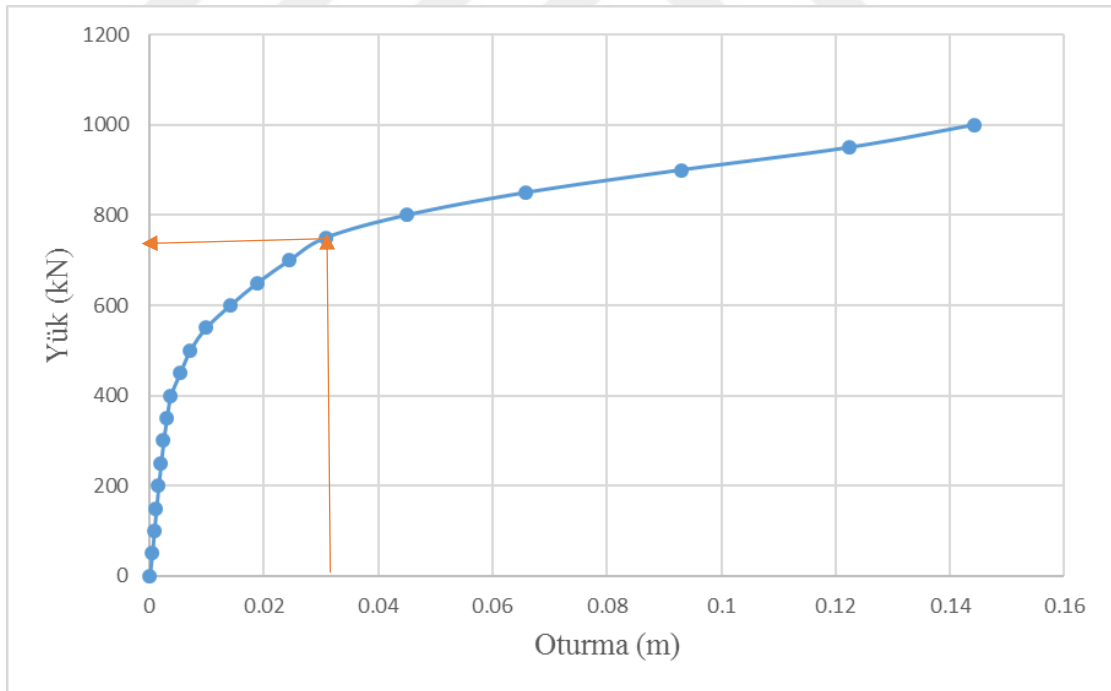
Şekil 7.27 İdealize Zemin Modeli

Modelde, kazık için lineer elastik (*linear elastic*) ve zemin için bünye modeli pekleşen zemin (*hardening soil*) seçilip, sekant modülü E_{50} CPT'den elde edilen q_c değerine göre şekil 7.12'deki eğriler kullanılarak belirlenmiştir.

Tablo 7.5 Sonlu Elemanlar Yazılımında Kullanılacak Zemin Parametreleri

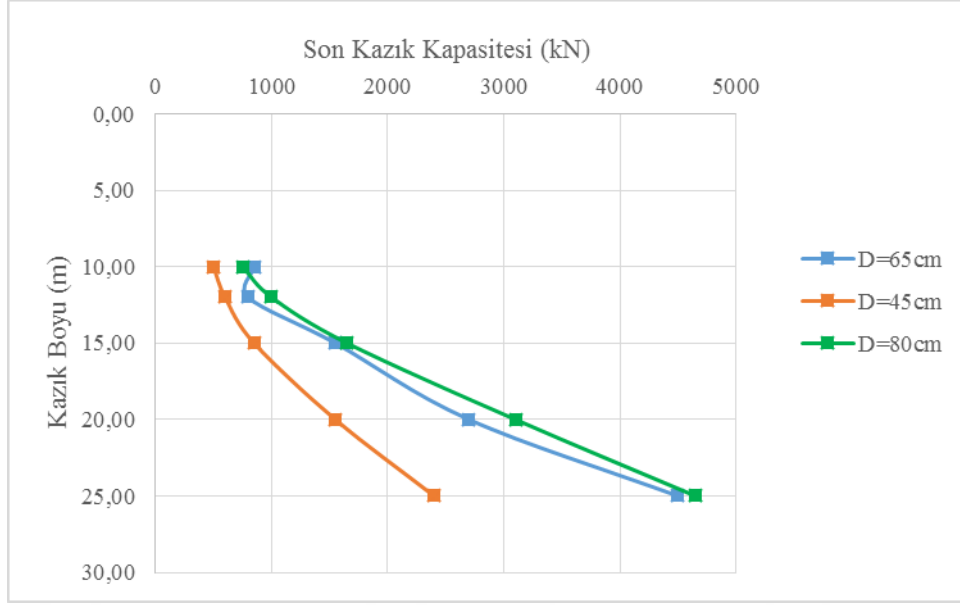
Zemin Tabakası	Kumlar, kum karışımları	Kil, siltli karışımları
Doğal Birim Hacim Ağırlığı ρ_n (kN/m ³)	19.00	19.00
Elastisite Modülü E_s (MPa)	10.00	7.00
Kayma Direnci Açısı ϕ (°)	30	22
Kohezyon c (kPa)	3.00	1.00

Sonlu elemanlar yöntemi ile elde edilen son taşıma gücü kapasitesi, göçmeye varmayan kazıklarda, kazık yükleme deneyindeki ortalama yük artışı esas alınarak yük artırımı devam ettirilmiştir. Sonlu eleman yazılımında yük-oturma eğrisinin keskin dönüş yapan bir eğri olması neyle plastikleşmeye başladığı yük göçme yükü kabul edilmiştir. Şekil 7.28’de Plaxis yük-oturma eğrisinde bu durum belirtilmiştir.



Şekil 7.28 Yük – oturma eğrisi ve kabul edilen göçme yükü

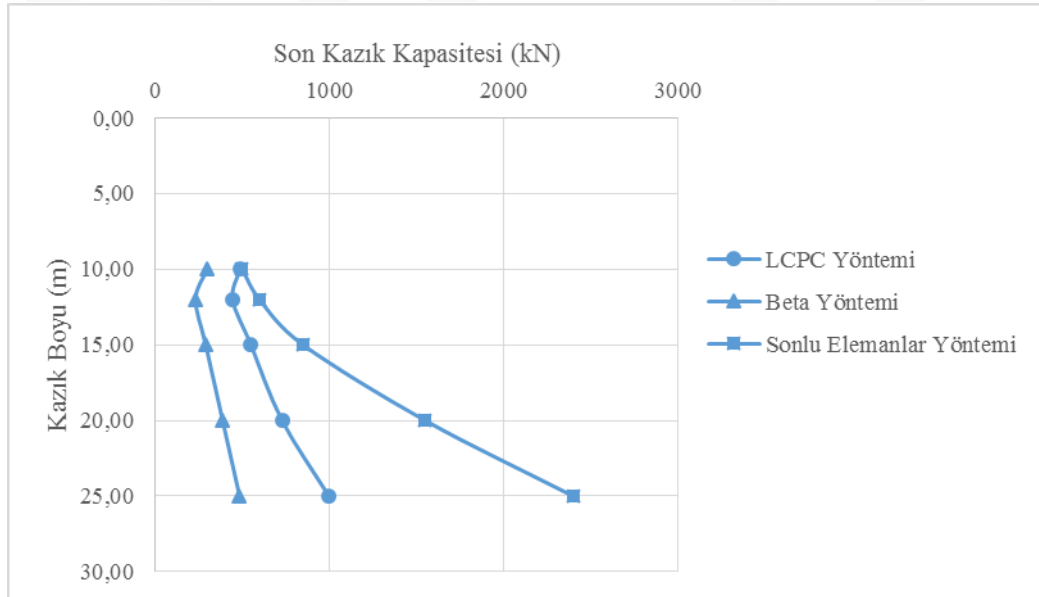
Derinlik boyunca kazıklar için elde edilen son taşıma gücü değerleri Şekil 7.29’da gösterilmektedir.



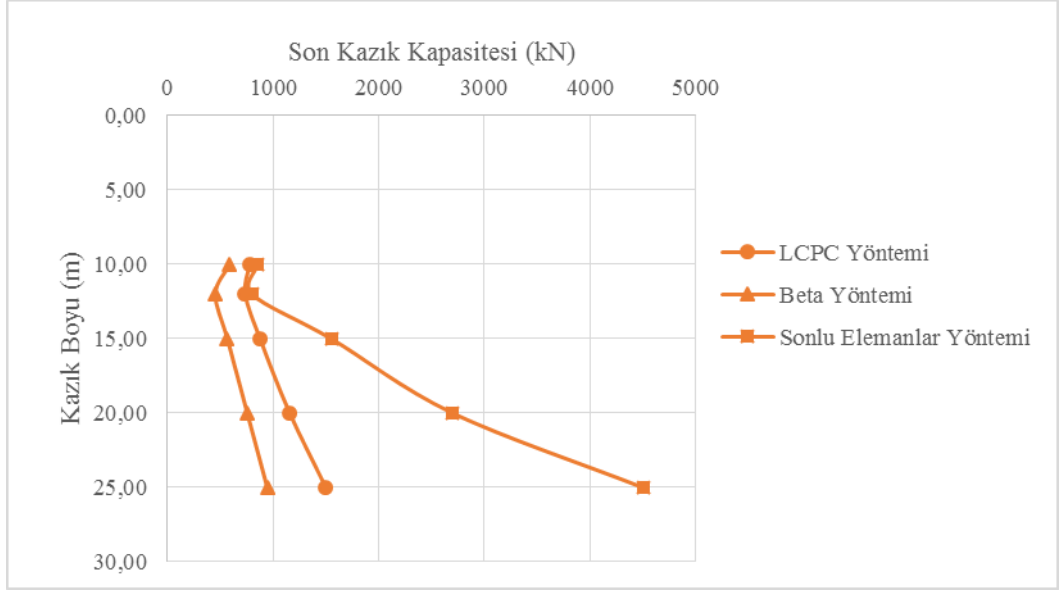
Şekil 7.29 Sonlu Eleman Yöntemine Göre Hesaplanan Son Kazık Kapasitesi

1.8.4.2 Farklı Yöntemlere Göre Kazık Taşıma Kapasitelerinin Karşılaştırılması

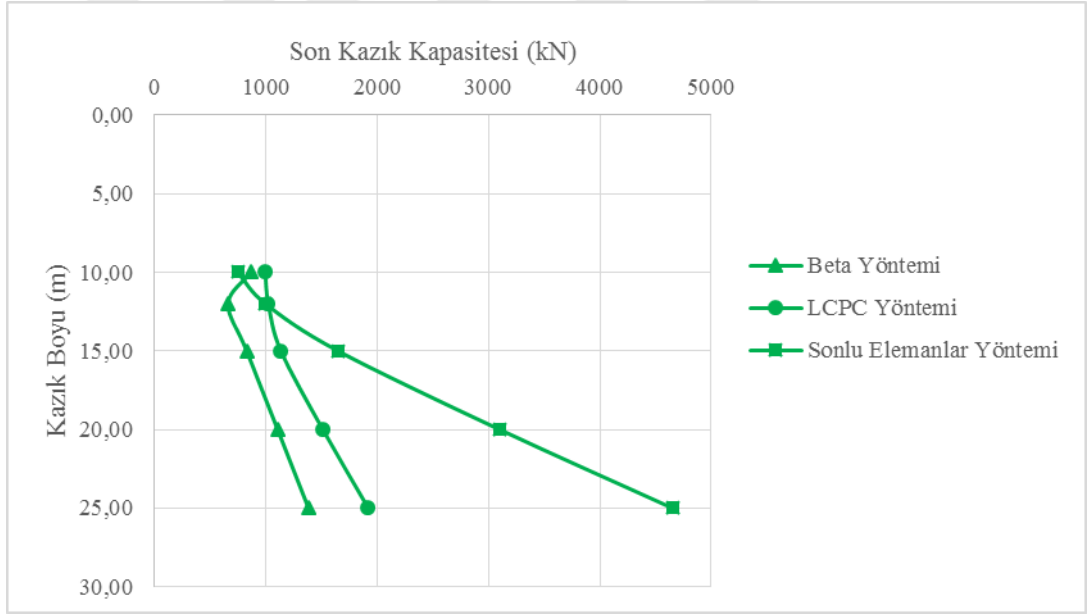
Derinlik boyunca farklı yöntemler ile elde edilen son kazık kapasiteleri farklı kazık çapları için Şekil 7.30, Şekil 7.31 ve Şekil 7.32’de gösterilmektedir.



Şekil 7.30 LCPC ve Beta Yöntemlerine Göre Hesaplanan Son Kazık Kapasitesi (D=45cm)



Şekil 7.31 LCPC ve Beta Yöntemlerine Göre Hesaplanan Son Kazık Kapasitesi (D=65cm)



Şekil 7.32 LCPC ve Beta Yöntemlerine Göre Hesaplanan Son Kazık Kapasitesi (D=80cm)

Örnek profil için yapılan son kazık taşıma kapasitesi hesapları sonucunda CPT değerleri ile doğrudan hesaplama yapılan LCPC yöntemine göre elde edilen taşıma kapasiteleri dolaylı olarak elde edilen parametreler ile hesaplanan Beta yöntemine göre hesaplanan değerlerden ortalama %59 ve Sonlu Elemanlar yöntemine göre ortalama %40 daha düşük çıkmıştır. Yöntemlerin kabul etmiş olduğu kazık ucu taşıma

katsayılarının uç direnci üzerindeki etkisi görülmektedir. Tüm yöntemlere göre hesaplanmış olan son kazık taşıma kapasiteleri Tablo 7.6’da özet olarak sunulmuştur.

Tablo 7.6 Farklı Yöntemlere Göre Elde Edilen Son Kazık Taşıma Kapasiteleri

Kazık Boyu (m)	Kazık Çapı (cm)	Son Kazık Taşıma Kapasitesi (kN)		
		LCPC	Beta	Sonlu Elemanlar
10	45	487	298	500
12	45	445	232	600
15	45	550	291	850
20	45	729	388	1550
25	45	997	485	2400
10	65	776	586	850
12	65	735	452	800
15	65	875	566	1550
20	65	1156	754	2700
25	65	1499	943	4500
10	80	997	865	750
12	80	1025	664	1000
15	80	1138	830	1650
20	80	1513	1107	3100
25	80	1921	1384	4650

8. BULGULARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

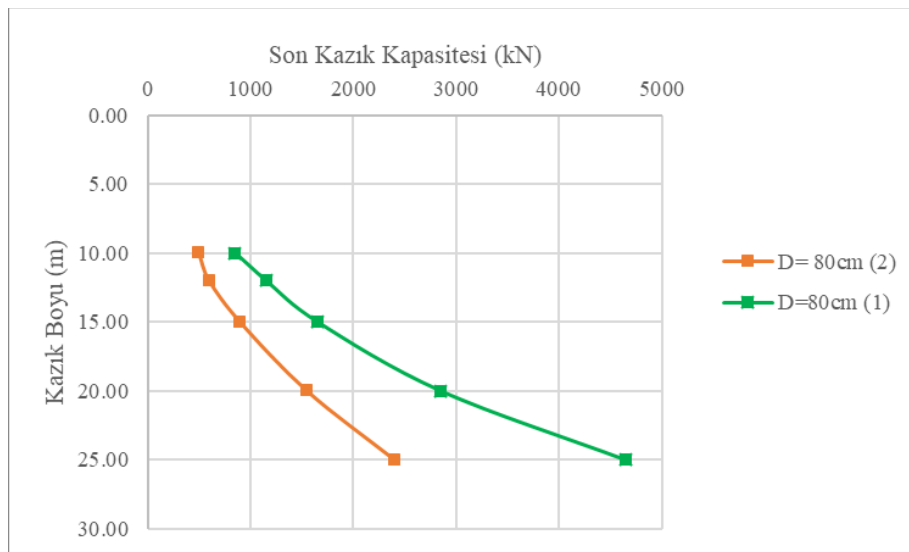
LCPC yöntemi aksenal yük taşıyan kazıkların kapasitelerinin hesaplanmasında kullanılan bir yöntemdir. Araştırmalar kapsamında ortaya çıkan Bölüm 5’te yer alan, Bustamante ve Gianeeselli (1982) tarafından belirlenmiş olan ampirik formüller kullanılarak, zemin sınıflandırılmalarına göre eğriler ve katsayılar yardımıyla hesap edilmektedir.

Adapazarı’nın farklı bölgelerinden elde edilen CPT verileriyle LCPC yöntemine göre kazık taşıma kapasitesi hesaplanmış olup bu hesaplar, CPT verilerinden dolaylı olarak

elde edilen parametrelere göre hesaplanmış olan kazık taşıma kapasiteleriyle karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucunda LCPC yöntemi ile hesap edilen taşıma gücü değerleri diğer kazık taşıma kapasitesi hesaplarına göre yüksek çıkmaktadır. Bunun nedeni olarak CPT verilerinin daha sık olarak elde edilmesi ve zemin profilini daha iyi tanımlamasından kaynaklanmaktadır.

CPT verisi ile yapılan hesaplamalar sonucunda farklı boy ve çaptaki fore kazıklar için LCPC yöntemi ile taşıma gücü hesapları yapılmış ve boy artışının bu yöntemde kazık toplam taşıma gücünü arttırmadığı durumların olduğu tespit edilmiştir. Bunun nedeni ise, zemin tabakalarında elde edilen parametrelerin zemin türüne göre farklılık göstermesidir.

Tığcılar ve Yağcılar Mahalleleri'ndeki son kazık taşıma kapasiteleri karşılaştırıldığında her iki profile de Beta Yöntemi'nin diğer yöntemlere göre en düşük sonucu verdiği görülmektedir. Sonlu Elemanlar Yöntemi'ne göre ise Yağcılar Mahallesi'ndeki örnek profil daha düşük zemin parametrelerine sahip olmasına rağmen, bu profile Tığcılar Mahallesi'ne göre daha yüksek kazık taşıma kapasitesi elde edilmektedir. Yapılan ek analizlerde, yer altı suyunun varlığının bu metoda olan etkisi görülmektedir. Yer altı suyu varlığında kazık taşıma kapasitesi %54 daha düşük olmaktadır. Şekil 8.1'de birinci durum YASS gözlemlenmediği durumu, ikinci durum ise YASS'ın yüzeyle olduğu durumu göstermektedir.



Şekil 8.1 Farklı YASS Durumlarına Göre Son Kazık Kapasitesi

9. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada arazi deneylerinden biri olan koni penetrasyon deneyi (CPT) verileri ile LCPC yöntemi kullanılarak farklı kazık boyları ve çaplarına göre kazık taşıma kapasiteleri hesaplanmıştır.

Tığcılar Mahallesi'nden elde edilen örnek profil için yapılan son kazık taşıma kapasiteleri farklı yöntemlerle karşılaştırılmıştır. CPT verilerinden doğrudan hesaplama yapan LCPC yöntemi, dolaylı olarak elde edilen parametreler ile hesaplanan Beta yöntemine göre ortalama %97 ve Sonlu elemanlar yöntemine göre elde edilen değerlerden ortalama %100 daha yüksek çıkmıştır.

Yağcılar Mahallesi'nde ise; LCPC yöntemine göre elde edilen taşıma kapasiteleri, Beta yöntemine göre hesaplanan değerlerden ortalama %59 ve Sonlu Elemanlar yöntemine göre ortalama %40 daha düşük çıkmıştır.

Her iki zemin profili karşılaştırıldığında; Sonlu Elemanlar Methodu'nda Yağcılar Mahallesi'nden elde edilen örnek profil için elde edilen son kazık taşıma kapasitesi düşük zemin parametrelerine sahip olmasına rağmen, Tığcılar Mahallesi'nden elde edilen örnek profil için elde edilen son kazık taşıma kapasitesinden daha yüksek sonuçlar elde edilmiştir. Yer altı suyunun varlığı bu yöntemde belirgin bir rol oynarken aynı fark LCPC yönteminde görülmemiştir.

Bu çalışmadan sonrası için hem CPT hem de kazık yükleme deney sonuçları bulunan bir uygulamadan sağlanacak veriler ile yapılan analizlerde kullanılan yaklaşımların geliştirilmesi önerilmektedir.

10. KAYNAKLAR

Bowles, J.E. Foundation Analysis and Design, McGraw-Hill, Inc., New York, 1982, p. 816.

Budhu, M., Soil mechanics and foundations 3rd edition, John Wiley & Sons, Inc., NJ, 2010, p. 781.

Bol, E., Arel, E. ve Önalp, A., Yerel Zemin Koşullarının Deprem Hasarına Etkisi-Adapazarı Örneği, Altıncı Ulusal Deprem Konferansı, İstanbul, 16-20 Ekim 2007

de Ruiter, J., and F.L. Beringen. Pile Foundations for Large North Sea Structures. Marine Geotechnology, Vol. 3, No. 3, 1979, pp. 267-314.

API. (1993) RP 2A-LRFD Planning, Designing and Constructing Fixed Offshore Platforms – Load and Resistance Factor Design. Supplement 1, Washington, DC: API, 1997.

Tomlinson, M. J. ve Woodward, J., Pile Design and Construction Practice 5th Ed, Taylor & Francis Group, 2008.

Fellenius, B.H., Basics of Foundation Design, 2006.

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

Hannigan, P.J., Goble, G.G., Likins, G.E., Rausche, F., Design and Construction of Driven Pile Foundations- Volume I Report FHWA-NHI-05-042, Washington D.C., 2006.

Bustamante, M., and L. Gianeeselli., Pile Bearing Capacity Predictions by Means of Static Penetrometer CPT, Proceedings of the 2nd European Symposium on Penetration Testing, ESOPT-II, Amsterdam, 1982, Vol. 2, pp. 493-500.

Titi, H. H., Abu-Farsakh, M.Y., Evaluation of Bearing Capacity of Piles from Cone Penetration test Data, LTRC Project No. 98-3GT, Louisiana, 1999, 115 sayfa.

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

Wrana, B., Pile Load Capacity Calculation Methods, Studia Geotechnica et Mechanica, Vol. 37, No. 4, 2015.

Plaxis 2D 2019, Reference Manual, 2019.

Plaxis 2D 2019, Material Model Manual, 2019.

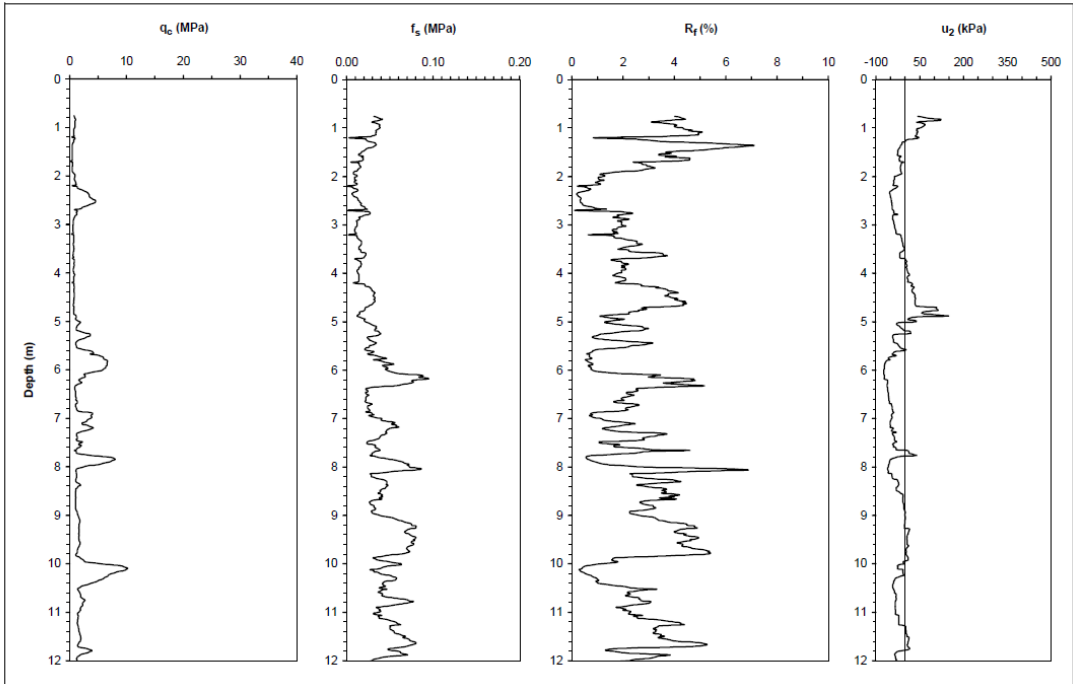
TÜBİTAK MAG 104M387, Sıvılaşma Potansiyelinin Belirlenmesinde Koni Penetrasyon Deneyi (CPT) Sönümlenme Yönteminin Uygulanması, 2007.



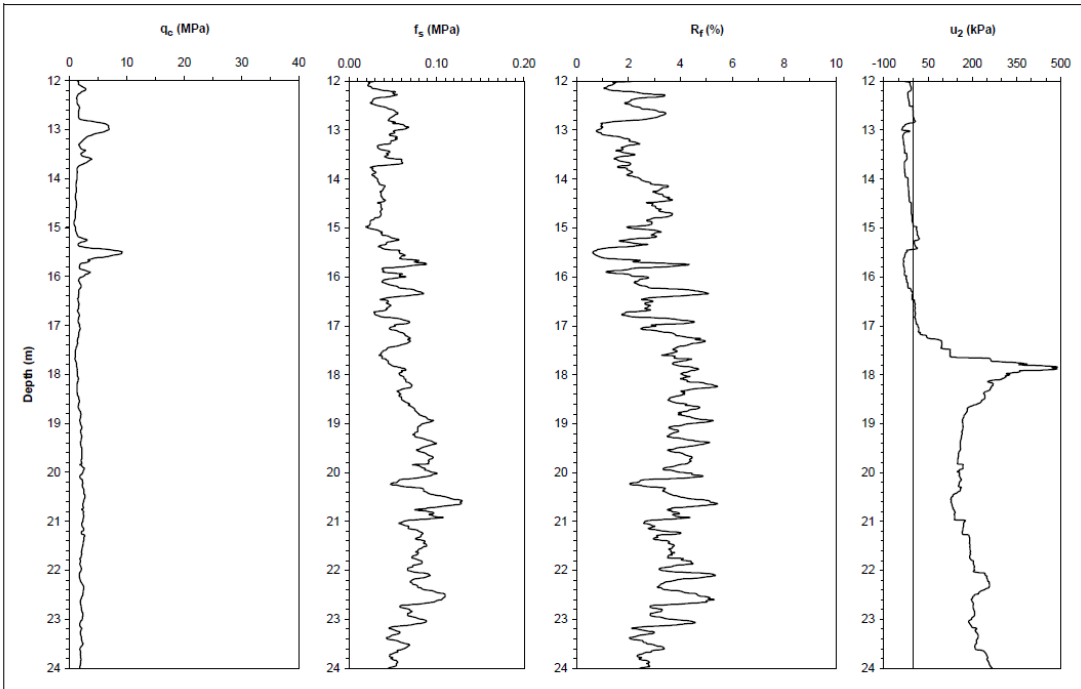


EK A

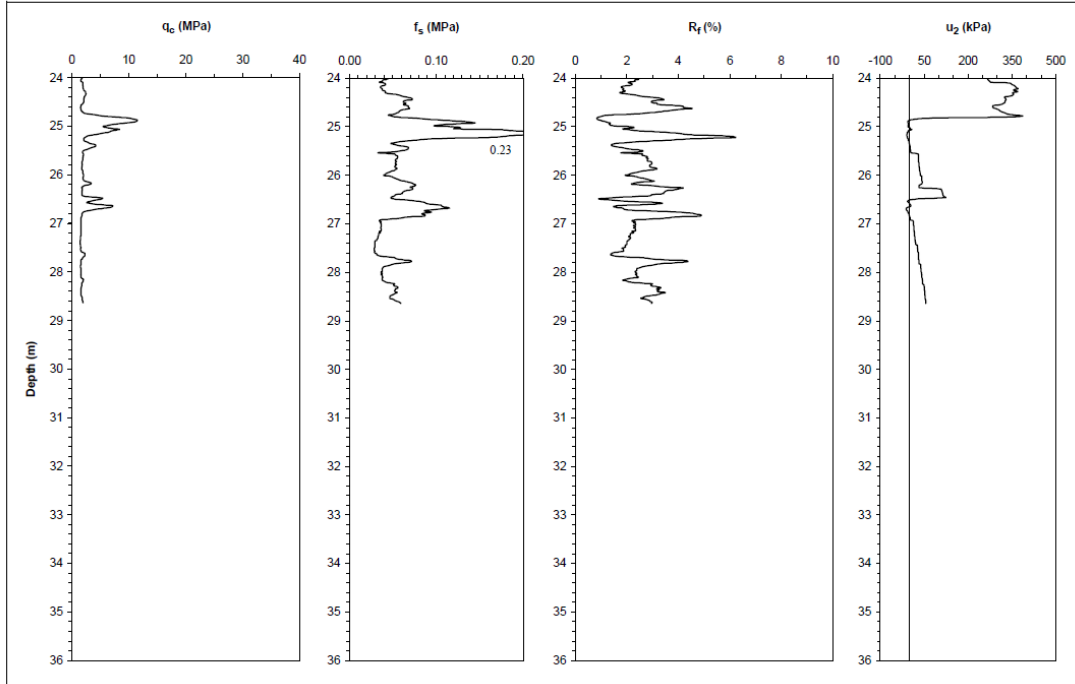
UCB-BYU-UCLA ZETAŞ-SAU Joint Research	Project Name: Ground Failure and Building Performance in Adapazari, Turkey Location: Site H - Kınalı Street, Yağcılar District, Adapazari GPS Coordinates: 40.78419°N 30.41295°E Test Number: CPT-H2 Type of Cone: ELC10 CFPS No. 991232 (a.p. v.d. Berg) File Name: cpth2.txt Operator: ZETAŞ (Zemin Teknolojisi, A. Ş.) Notes: Probed with percussion hammer 75 cm to check for utilities	Page: 1 of 3 Elevation: -24 cm with respect to CPT-H1 Date: July 14, 2000 Water Table Elevation: Not measured Responsible Engineers: J. D. Bray and R. B. Sancio, U. C. Berkeley
Sponsored by: NSF, PEER Caltrans, CEC, PG&E		



UCB-BYU-UCLA ZETAŞ-SAU Joint Research	Project Name: Ground Failure and Building Performance in Adapazari, Turkey Location: Site H - Kınalı Street, Yağcılar District, Adapazari GPS Coordinates: 40.78419°N 30.41295°E Test Number: CPT-H2 Type of Cone: ELC10 CFPS No. 991232 (a.p. v.d. Berg) File Name: cpth2.txt Operator: ZETAŞ (Zemin Teknolojisi, A. Ş.) Notes: Probed with percussion hammer 75 cm to check for utilities	Page: 2 of 3 Elevation: -24 cm with respect to CPT-H1 Date: July 14, 2000 Water Table Elevation: Not measured Responsible Engineers: J. D. Bray and R. B. Sancio, U. C. Berkeley
Sponsored by: NSF, PEER Caltrans, CEC, PG&E		



UCB-BYU-UCLA ZETAŞ-SAU Joint Research	Project Name: Ground Failure and Building Performance in Adapazari, Turkey Location: Site H - Kinalı Street, Yağcılar District, Adapazari GPS Coordinates: 40.78419°N 30.41295°E Test Number: CPT-H2 Type of Cone: ELC10 CFPS No. 991232 (a.p. v.d. Berg)	Page: 3 of 3 Elevation: -24 cm with respect to CPT-H1 Date: July 14, 2000 Water Table Elevation: Not measured Responsible Engineers: J. D. Bray and R. B. Sancio, U. C. Berkeley
Sponsored by: NSF, PEER Caltrans, CEC, PG&E	File Name: cpth2.txt Operator: ZETAŞ (Zemin Teknolojisi, A. Ş.) Notes: Probed with percussion hammer 75 cm to check for utilities	





Tablo B.1 LCPC Yöntemi İle Fore Beton Kazık Kapasitesi

L (m)	D (m)	Son sürtünme direnci R_s (kN)	Son uç direnci R_b (kN)	Son kazık kapasitesi R_c (kN)
10	0.45	457.64	764.64	1222.17
12	0.45	642.32	91.24	733.55
15	0.45	738.80	108.94	874.74
20	0.45	892.98	110.58	1003.56
25	0.45	1085.16	666.46	1751.63
10	0.65	652.96	1673.53	2326.49
12	0.65	919.76	269.55	1189.31
15	0.65	1059.13	217.80	1276.94
20	0.65	1281.83	233.52	1515.34
25	0.65	1559.43	1464.98	3024.41
10	0.80	796.29	2234.44	3030.74
12	0.80	1124.60	607.34	1731.94
15	0.80	1296.14	316.01	1612.15
20	0.80	1570.22	365.05	1926.27
25	0.80	1911.89	2274.73	4186.61

Tablo B.3 Beta Yöntemi İçin Elde Edilen Katsayılar

z (m)	ρ (kN/m ³)	σ'_v (kPa)	ϕ (°)	δ (°)	K_s	β	f_s (kPa)
0	19	0	0	0	1	0	0
0.62	19	11.78	35	26.25	0.557711	0.390514	4.600251
0.84	19	15.96	20	15	0.741181	0.269768	4.305494
0.86	19	16.34	25	18.75	0.678561	0.316418	5.17027
0.94	19	17.86	30	22.5	0.617317	0.356408	6.365445
0.96	19	18.24	25	18.75	0.678561	0.316418	5.771464
1	19	19	30	22.5	0.617317	0.356408	6.77175
1.14	19	21.66	25	18.75	0.678561	0.316418	6.853613
4.4	19	83.6	20	15	0.741181	0.269768	22.55259
4.6	19	87.4	30	22.5	0.617317	0.356408	31.15005
4.62	19	87.78	25	18.75	0.678561	0.316418	27.77517
4.66	19	88.54	30	22.5	0.617317	0.356408	31.55635
4.74	19	90.06	25	18.75	0.678561	0.316418	28.4966
4.76	19	90.44	30	22.5	0.617317	0.356408	32.23353
4.94	19	93.86	25	18.75	0.678561	0.316418	29.69899
5	19	95	30	22.5	0.617317	0.356408	33.85875

5.04	19	95.76	25	18.75	0.678561	0.316418	30.30019
5.28	19	100.32	30	22.5	0.617317	0.356408	35.75484
5.3	19	100.7	25	18.75	0.678561	0.316418	31.86329
5.32	19	101.08	20	15	0.741181	0.269768	27.26813
5.42	19	102.98	25	18.75	0.678561	0.316418	32.58472
5.6	19	106.4	20	15	0.741181	0.269768	28.70329
5.62	19	106.78	25	18.75	0.678561	0.316418	33.78711
5.76	19	109.44	20	15	0.741181	0.269768	29.52339
5.78	19	109.82	35	26.25	0.557711	0.390514	42.88621
6.1	19	115.9	20	15	0.741181	0.269768	31.26609
6.14	19	116.66	25	18.75	0.678561	0.316418	36.91332
6.2	19	117.8	30	22.5	0.617317	0.356408	41.98485
6.3	19	119.7	25	18.75	0.678561	0.316418	37.87523
6.44	19	122.36	20	15	0.741181	0.269768	33.00879
7.16	19	136.04	35	26.25	0.557711	0.390514	53.12548
7.46	19	141.74	20	15	0.741181	0.269768	38.23689
8.3	19	157.7	35	26.25	0.557711	0.390514	61.584
8.4	19	159.6	20	15	0.741181	0.269768	43.05494
8.44	19	160.36	25	18.75	0.678561	0.316418	50.74079
8.48	19	161.12	30	22.5	0.617317	0.356408	57.42444
8.64	19	164.16	25	18.75	0.678561	0.316418	51.94317
8.88	19	168.72	30	22.5	0.617317	0.356408	60.13314
8.98	19	170.62	25	18.75	0.678561	0.316418	53.98723
9.04	19	171.76	20	15	0.741181	0.269768	46.33532
9.18	19	174.42	25	18.75	0.678561	0.316418	55.18962
9.38	19	178.22	30	22.5	0.617317	0.356408	63.51901
10	19	190	25	18.75	0.678561	0.316418	60.11942
10.02	19	190.38	30	22.5	0.617317	0.356408	67.85293
10.28	19	195.32	20	15	0.741181	0.269768	52.69105
10.52	19	199.88	35	26.25	0.557711	0.390514	78.05587
11.12	19	211.28	20	15	0.741181	0.269768	56.99654
11.16	19	212.04	25	18.75	0.678561	0.316418	67.09327
11.2	19	212.8	30	22.5	0.617317	0.356408	75.8436
11.38	19	216.22	25	18.75	0.678561	0.316418	68.41589
11.6	19	220.4	30	22.5	0.617317	0.356408	78.5523
11.68	19	221.92	25	18.75	0.678561	0.316418	70.21948
11.74	19	223.06	30	22.5	0.617317	0.356408	79.50034
11.86	19	225.34	25	18.75	0.678561	0.316418	71.30163
11.98	19	227.62	30	22.5	0.617317	0.356408	81.12556
12.28	19	233.32	25	18.75	0.678561	0.316418	73.82664
12.34	19	234.46	30	22.5	0.617317	0.356408	83.56339
12.58	19	239.02	25	18.75	0.678561	0.316418	75.63022
12.64	19	240.16	30	22.5	0.617317	0.356408	85.59492
13.04	19	247.76	25	18.75	0.678561	0.316418	78.39572
13.06	19	248.14	30	22.5	0.617317	0.356408	88.43905
13.28	19	252.32	25	18.75	0.678561	0.316418	79.83858

13.46	19	255.74	30	22.5	0.617317	0.356408	91.14775
14.28	19	271.32	25	18.75	0.678561	0.316418	85.85052
14.38	19	273.22	30	22.5	0.617317	0.356408	97.37776
14.4	19	273.6	25	18.75	0.678561	0.316418	86.57196
14.64	19	278.16	30	22.5	0.617317	0.356408	99.13842
14.78	19	280.82	25	18.75	0.678561	0.316418	88.8565
14.94	19	283.86	30	22.5	0.617317	0.356408	101.1699
15.04	19	285.76	25	18.75	0.678561	0.316418	90.4196
15.06	19	286.14	30	22.5	0.617317	0.356408	101.9826
15.1	19	286.9	25	18.75	0.678561	0.316418	90.78032
15.28	19	290.32	30	22.5	0.617317	0.356408	103.4723
24.74	19	470.06	25	18.75	0.678561	0.316418	148.7354
24.78	19	470.82	30	22.5	0.617317	0.356408	167.804
24.92	19	473.48	25	18.75	0.678561	0.316418	149.8176
25	19	475	30	22.5	0.617317	0.356408	169.2937
30	19	570	25	18.75	0.678561	0.316418	180.3582

Tablo B.4 Beta Yöntemi ile Elde Edilen Kazık Kapasitesi Değerleri

L (m)	D (m)	ξ (m)	f_s (kPa)	A_s (m ²)	A_b (m ²)	$Q_{\text{çevre}}$ (kN)	$Q_{\text{uç}}$ (kN)	Q_d (kN)
10.00	0.45	1.413717	60.12	1.413717	0.159043	84.99	131.54	216.54
12.00	0.45	1.413717	81.12	1.413717	0.159043	114.68	157.85	272.53
15.00	0.45	1.413717	90.41	1.413717	0.159043	127.81	197.32	325.13
20.00	0.45	1.413717	103.47	1.413717	0.159043	146.28	263.09	409.37
25.00	0.45	1.413717	169.29	1.413717	0.159043	239.33	328.86	568.19
10.00	0.65	2.042035	60.12	2.042035	0.331831	122.77	274.46	397.22
12.00	0.65	2.042035	81.12	2.042035	0.331831	165.65	329.35	495.00
15.00	0.65	2.042035	90.41	2.042035	0.331831	184.62	411.69	596.31
20.00	0.65	2.042035	103.47	2.042035	0.331831	211.29	548.91	760.20
25.00	0.65	2.042035	169.29	2.042035	0.331831	345.70	686.14	1031.84
10.00	0.8	2.513274	60.12	2.513274	0.502655	151.10	415.75	566.84
12.00	0.8	2.513274	81.12	2.513274	0.502655	203.88	498.89	702.77
15.00	0.8	2.513274	90.41	2.513274	0.502655	227.23	623.62	850.84
20.00	0.8	2.513274	103.47	2.513274	0.502655	260.05	831.49	1091.54
25.00	0.8	2.513274	169.29	2.513274	0.502655	425.47	1039.36	1464.84

Tablo B.5 Beta Yöntemi İle Kazık Kapasitesi

L (m)	D (m)	Son sürtünme direnci $Q_{\text{çevre}}$ (kN)	Son uç direnci $Q_{\text{uç}}$ (kN)	Son kazık kapasitesi Q_d (kN)
10	0.45	84.99	131.54	216.54
12	0.45	114.68	157.85	272.53
15	0.45	127.81	197.32	325.13
20	0.45	146.28	263.09	409.37
25	0.45	239.33	328.86	568.19
10	0.65	122.77	274.46	397.22
12	0.65	165.65	329.35	495.00
15	0.65	184.62	411.69	596.31
20	0.65	211.29	548.91	760.20
25	0.65	345.70	686.14	1031.84
10	0.80	151.10	415.75	566.84
12	0.80	203.88	498.89	702.77
15	0.80	227.23	623.62	850.84
20	0.80	260.05	831.49	1091.54
25	0.80	425.47	1039.36	1464.84

L (m)	D (m)	Son sürtünme direnci R_s (kN)	Son uç direnci R_b (kN)	Son kazık kapasitesi R_c (kN)
10	0.45	247.31	240.20	487.51
12	0.45	319.90	125.75	445.65
15	0.45	410.73	139.64	550.37
20	0.45	566.58	162.50	729.08
25	0.45	752.81	244.89	997.70
10	0.65	357.23	419.36	776.59
12	0.65	462.07	273.28	735.35
15	0.65	593.27	282.66	875.93
20	0.65	818.39	338.16	1156.55
25	0.65	1087.39	411.83	1499.22

10	0.80	439.67	557.42	997.09
12	0.80	568.70	456.44	1025.14
15	0.80	730.18	407.88	1138.06
20	0.80	1007.25	506.68	1513.93
25	0.80	1338.33	582.83	1921.16

Tablo B.3 Beta Yöntemi İçin Elde Edilen Katsayılar

z (m)	ρ (kN/m ³)	σ'_v (kPa)	ϕ (°)	δ (°)	K_s	β	f_s (kPa)
0	19	0	0	0	1	0	0
10	19	190	22	16.5	0.715985	0.212084	40.29602
12	19	228	15	11.25	0.80491	0.160106	36.50428
15	19	285	15	11.25	0.80491	0.160106	45.63035
20	19	380	15	11.25	0.80491	0.160106	60.84047
25	19	475	15	11.25	0.80491	0.160106	76.05058

Tablo B.4 Beta Yöntemi ile Elde Edilen Kazık Kapasitesi Değerleri

L (m)	D (m)	ξ (m)	f_s (kPa)	A_s (m ²)	A_b (m ²)	$Q_{\text{çevre}}$ (kN)	$Q_{\text{uç}}$ (kN)	Q_d (kN)
10.00	0.45	1.413717	40.29602	1.413717	0.159043	56.97	241.75	298.71
12.00	0.45	1.413717	36.50428	1.413717	0.159043	51.61	181.31	232.92
15.00	0.45	1.413717	45.63035	1.413717	0.159043	64.51	226.64	291.14
20.00	0.45	1.413717	60.84047	1.413717	0.159043	86.01	302.18	388.19
25.00	0.45	1.413717	76.05058	1.413717	0.159043	10.51	377.73	485.24
10.00	0.65	2.042035	40.29602	2.042035	0.331831	82.29	504.38	586.67
12.00	0.65	2.042035	36.50428	2.042035	0.331831	74.54	378.29	452.83
15.00	0.65	2.042035	45.63035	2.042035	0.331831	93.18	472.86	566.04
20.00	0.65	2.042035	60.84047	2.042035	0.331831	124.24	630.48	754.72

25.00	0.65	2.042035	76.05058	2.042035	0.331831	155.30	788.10	943.40
10.00	0.8	2.513274	40.29602	2.513274	0.502655	101.27	764.04	865.31
12.00	0.8	2.513274	36.50428	2.513274	0.502655	91.75	573.03	664.77
15.00	0.8	2.513274	45.63035	2.513274	0.502655	114.68	716.28	830.96
20.00	0.8	2.513274	60.84047	2.513274	0.502655	152.91	955.04	1107.95
25.00	0.8	2.513274	76.05058	2.513274	0.502655	191.14	1193.81	1384.94

Tablo B.5 Beta Yöntemi İle Kazık Kapasitesi

L (m)	D (m)	Son sürtünme direnci $Q_{\text{çevre}}$ (kN)	Son uç direnci $Q_{\text{uç}}$ (kN)	Son kazık kapasitesi Q_d (kN)
10	0.45	56.97	241.75	298.71
12	0.45	51.61	181.31	232.92
15	0.45	64.51	226.64	291.14
20	0.45	86.01	302.18	388.19
25	0.45	107.51	377.73	485.24
10	0.65	82.29	504.38	586.67
12	0.65	74.54	378.29	452.83
15	0.65	93.18	472.86	566.04
20	0.65	124.24	630.48	754.72
25	0.65	155.30	788.10	943.40
10	0.80	101.27	764.04	865.31
12	0.80	91.75	573.03	664.77
15	0.80	114.68	716.28	830.96
20	0.80	152.91	955.04	1107.95
25	0.80	191.14	1193.81	1384.94