

T.C. İSTANBUL KÜLTÜR ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**ZEMİNDE VE KAYADA KAZIK TAŞIMA GÜCÜNÜN SONLU
ELEMENLAR YÖNTEMİ İLE TAHMİNİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Merve HOTHOT

1600000696

Anabilim Dalı: İnşaat Mühendisliği

Programı: Geoteknik Yüksek Lisans

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Ahmet Murat TÜRK

2021

T.C. İSTANBUL KÜLTÜR ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**ZEMİNDE VE KAYADA KAZIK TAŞIMA GÜCÜNÜN SONLU
ELEMENLAR YÖNTEMİ İLE TAHMİNİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Merve HOTHOT

1600000696

Anabilim Dalı: İnşaat Mühendisliği

Programı: Geoteknik Yüksek Lisans

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Ahmet Murat TÜRK
Jüri Üyeler : Doç. Dr. Mehmet ÖZÇOBAN
: Dr. Öğr. Üyesi Gökhan YAZICI

2021

ÖNSÖZ

Yüksek lisans eğitimimde desteğini ve yardımlarını esirgemeyen, bilgi ve tecrübesi ile bu çalışmanın oluşmasına yardımcı olan tez danışmanım Prof. Dr. Ahmet Murat TÜRK'e, tezin hazırlanmasındaki destekleri için İnşaat Yük. Müh. Begüm KARABULUT ve İnşaat Yük. Müh. Hazal Berrak GENÇDAL'a teşekkürlerimi sunuyorum.

Tezime, bilgisi, birikimi ve deneysel verilerin toplanması konusundaki yardımlarıyla katkıda bulunan İnşaat Yük. Müh. Yasin Murat HOTHOT'a, her zaman ve her koşulda yanımda olan, annem Emine PEK ve babam Mevlüt PEK'e en içten teşekkürlerimi sunuyorum.

Tez çalışmamı, hayatım boyunca beni destekleyen sevgili eşim Yasin Murat HOTHOT'a ve biricik oğlum Yağız Mert HOTHOT'a ithaf ediyorum.

İÇİNDEKİLER	Sayfa
ÖNSÖZ	vi
TABLolar DİZİNİ	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
SİMGELER	xiv
ÖZET	ix
ABSTRACT	x
1. GİRİŞ	1
1.1. Literatür Araştırması	2
1.2. Yönetmelikler	7
2. KAZIKLAR İLE İLGİLİ GENEL BİLGİLER	9
2.1. Kazıklı Temel Kullanılması Gereken Durumlar	9
2.2. Kazık Çeşitleri	9
2.3. Kazıkların Sınıflandırılması	10
2.3.1. Malzeme Tipine Göre Kazıklar	10
2.3.2. Kullanım Amacına Göre Kazıklar	11
2.3.3. İmalat Yöntemine Göre Kazıklar	12
2.4. Özel Kazıklar	14
3. KAZIĞIN TAŞIMA GÜCÜ	15
3.1. Tekil Kazığın Düşey Yük Etkisindeki Taşıma Kapasitesi	15
3.1.1. Kohezyonlu Zeminlerde Kazık Taşıma Gücü	16
3.1.2. Kohezyonsuz Zeminlerde Kazık Taşıma Gücü	18
3.1.3. Kayaya Soketli Kazıklarda Taşıma Gücü	19
3.2. Arazi Deneyleri ile Kazık Taşıma Gücünün Bulunması	21
3.2.1. SPT Deneyi ile Kazık Taşıma Gücünün Bulunması	21
3.2.2. CPT Deneyi ile Kazık Taşıma Gücünün Bulunması	23
4. KAZIK YÜKLEME DENEYİ	25
4.1. Statik Eksenel Basınç Deneyleri	25
4.2. Statik Eksenel Çekme Deneyleri	26
4.3. Kazık Yükleme Deneyleri ile Kazık Kapasitesinin Hesaplanması	27

4.3.1. Terzaghi Yöntemi	27
4.3.2. Brinch- Hansen Yöntemi	27
4.3.3. De Beer Yöntemi	28
4.3.4. Mazurkiewicz Yöntemi	28
4.3.5. Teğet Yöntemi	29
5. SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ	30
5.1. Sonlu Elemanlar Yazılımları	30
5.2. Modelleme	31
6. SAYISAL METOT	32
6.1. Deneysel Çalışmalar	32
6.1.1. Sahada Yapılan 1.No.'lu Kazık Deneyi	33
6.1.2. Sahada Yapılan 2.No.'lu Kazık Deneyi	33
6.1.3. Sahada Yapılan 3.No.'lu Kazık Deneyi	35
6.1.4. Sahada Yapılan 4.No.'lu Kazık Deneyi	36
6.1.5. Sahada Yapılan 5.No.'lu Kazık Deneyi	37
6.1.6. Sahada Yapılan 6.No.'lu Kazık Deneyi	38
6.2. Sayısal Analizler	39
6.2.1. Silivri İlçesinde Yapılan Deney Kazıklarına Ait Modelleme	39
6.2.1.1. 1.No.'lu Zemin ve Kazık Modeli	40
6.2.1.2. 2.No.'lu Zemin ve Kazık Modeli	46
6.2.1.3. 3.No.'lu Zemin ve Kazık Modeli	51
6.2.2. Zeytinburnu İlçesinde Yapılan Deney Kazıklarına Ait Model	56
6.2.2.1. 4.No.'lu Zemin ve Kazık Modeli	58
6.2.2.2. 5.No.'lu Zemin ve Kazık Modeli	62
6.2.3. Gaziosmanpaşa İlçesinde Yapılan Deney Kazığına Ait Model	68
6.2.3.1. 6.No.'lu Zemin ve Kazık Modeli	69
7. DEĞERLENDİRMELER	75
8. SONUÇLAR	78
KAYNAKLAR ve	81
EKLER	83

TABLO DİZİNİ

Tablo 1.1. Kazıklı temeller için dayanım katsayıları.....	8
Tablo 3.1. Ortalama λ değerleri	18
Tablo 3.2. Çeşitli araştırmacılar tarafından önerilen kazık çevre sürtünme katsayıları.....	21
Tablo 3.3. K, α , F ₁ ve F ₂ değerleri.....	22
Tablo 6.1. Sahada yapılan kazık yükleme deney bilgileri.....	32
Tablo 6.2. 1.2.3.Deneye ait zemin tabaka kalınlıkları	40
Tablo 6.3. 1.No.'lu deney kazığı idealize zemin profili.....	42
Tablo 6.4. 1.No.'lu deney kazığı için modelde kullanılan zemin parametreleri.....	42
Tablo 6.5. 1.No.'lu deney kazığı için FHWA yöntemi ile hesaplanan taşıma gücü.....	45
Tablo 6.6. 1.No.'lu deney kazığı için λ yöntemi ile hesaplanan taşıma gücü.....	45
Tablo 6.7. 1.No.'lu t deney kazığı ait taşıma gücü sonuçları.....	46
Tablo 6.8. 2.No.'lu deney kazığı idealize zemin profili.....	47
Tablo 6.9. 2.No.'lu deney kazığı için modelde kullanılan zemin parametreleri.....	48
Tablo 6.10. 2.No.'lu deney kazığı için FHWA yöntemi ile hesaplanan taşıma gücü	50
Tablo 6.11. 2.No.'lu deney kazığı için λ yöntemi ile hesaplanan taşıma gücü.....	51
Tablo 6.12. 2.No.'lu deney kazığı ait taşıma gücü sonuçları.....	51
Tablo 6.13. 3 No.'lu deney kazığı idealize zemin profili.....	53
Tablo 6.14. 3.No.'lu deney kazığı için modelde kullanılan zemin parametreleri.....	53
Tablo 6.15. 3.No.'lu deney kazığı için taşıma gücü.....	55
Tablo 6.16. 3.No.'lu deney kazığı için λ yöntemi ile hesaplanan taşıma gücü.....	56
Tablo 6.17. 3.No.'lu deney kazığı ait taşıma gücü sonuçları	56

Tablo 6.18. 4.5. Deneye ait zemin tabaka kalınlıkları.....	57
Tablo 6.19. 4 No.'lu deney kazığı idealize zemin profili.....	59
Tablo 6.20. 4.No.'lu deney kazığı için modelde kullanılan zemin parametreleri	59
Tablo 6.21. 4.No.'lu deney kazığı için taşıma gücü.....	61
Tablo 6.22. 4.No.'lu deney kazığı için λ yöntemi ile hesaplanan taşıma gücü.....	62
Tablo 6.23. 4.No.'lu deney kazığı ait taşıma gücü sonuçları.....	62
Tablo 6.24. 5 No.'lu deney kazığı idealize zemin profili.....	64
Tablo 6.25. 5.No.'lu deney kazığı için modelde kullanılan zemin parametreleri.....	64
Tablo 6.26. 5.No.'lu deney kazığı için taşıma gücü	66
Tablo 6.27. 5.No.'lu deney kazığı için λ yöntemi ile hesaplanan taşıma gücü.....	67
Tablo 6.28. 5.No.'lu deney kazığı ait taşıma gücü sonuçları.....	67
Tablo 6.29. 6. Deneye ait zemin tabaka kalınlıkları.....	68
Tablo 6.30. 6 No.'lu deney kazığı idealize zemin profili	70
Tablo 6.31. 6.No.'lu deney kazığı için modelde kullanılan zemin parametreleri.....	71
Tablo 6.32. 6.No.'lu deney kazığı ait taşıma gücü sonuçları.....	74
Tablo 7.1. Toplam 6 adet deney kazıkları ve sonuçları.....	75
Tablo 7.2. 1,2,3 No'lu Deney kazıklarına ait taşıma gücü sonuçları (ton).....	76
Tablo 7.3. 4 ve 5 No'lu Deney kazıklarına ait taşıma gücü sonuçları (ton)	77
Tablo 7.4 6 No'lu deney kazığına ait taşıma gücü sonuçları.....	77

ŞEKİL DİZİNİ

Şekil 2.1. Kazıklı temel kullanılması gereken durumlar	9
Şekil 2.2. Kazık çeşitleri	10
Şekil 2.3. Betonarme kazık kesiti.....	11
Şekil 2.4. Derin kazı ve şev stabilitesi amaçlı kazık kullanımı.....	11
Şekil 2.5. Taşıma gücü amaçlı kazık kullanımı.....	12
Şekil 3.1. Kazıkların taşıma kapasitesi.....	15
Şekil 3.2. Kazıklarda yük transfer mekanizması.....	20
Şekil 4.1. Eksenel basınç kazık yükleme deneyi düzeneği	26
Şekil 4.2. Eksenel çekme kazık yükleme deneyi düzeneği.....	26
Şekil 4.3. Brinch Hansen %90 kriteri.....	27
Şekil 4.4. De Beer Yöntemi.....	28
Şekil 4.5. Mazurkiewicz Yöntemi.....	28
Şekil 4.6. Teğet Yöntemi.....	29
Şekil 5.1. Örnek problem için sonlu eleman modeli	30
Şekil 5.2. Plaxis yazılımında gerilme bileşenlerinin pozitif yönleri.....	31
Şekil 5.3. Plaxis yazılımında şekil değiştirme modelleri	31
Şekil 6.1. Sahada yapılan 1.No.'lu deney kazığına ait yük-oturma grafiği	33
Şekil 6.2. Sahada yapılan 2.No.'lu deney kazığına ait yük-oturma grafiği.	35
Şekil 6.3. Sahada yapılan 3.No.'lu deney kazığına ait yük-oturma grafiği.	36

Şekil 6.4. Sahada yapılan 4.No.'lu deney kazığına ait yük-oturma grafiği.	37
Şekil 6.5. Sahada yapılan 5.No.'lu deney kazığına ait yük-oturma grafiği. ...	38
Şekil 6.6. Sahada yapılan 6.No.'lu deney kazığına ait yük-oturma grafiği. ...	38
Şekil 6.7. Silivri İlçesinde yapılan deneylerin bulunduğu sahaya ait karot sandığı .	39
Şekil 6.8. 1.No.'lu deney kazığı idealize zemin profili.....	41
Şekil 6.9. 1.No.'lu deney kazığına ait Plaxis-2D analiz modeli.....	43
Şekil 6.10. 1.No.'lu deney kazığına ait yük-oturma grafiği ve Plaxis sonuçları.	43
Şekil 6.11. 1.No.'lu deney kazığına ait farklı kazık boyları için yük-oturma grafiği.	44
Şekil 6.12. Adezyon Faktörü	44
Şekil 6.13. 2.No.'lu deney kazığı idealize zemin profili.....	47
Şekil 6.14. 2.No.'lu deney kazığına ait Plaxis-2D analiz modeli.....	49
Şekil 6.15. 2.No.'lu deney kazığına ait yük-oturma grafiği ve Plaxis sonuçları....	49
Şekil 6.16. 2.No.'lu deney kazığına ait farklı kazık boyları için yük-oturma grafiği.	50
Şekil 6.17. 3.No.'lu deney kazığına ait teğet yöntemi hesabı.....	52
Şekil 6.18. 3.No.'lu deney kazığı idealize zemin profili	52
Şekil 6.19. 3.No.'lu deney kazığına ait Plaxis-2D analiz modeli.....	54
Şekil 6.20. 3.No.'lu deney kazığına ait yük-oturma grafiği ve Plaxis sonuçları	54
Şekil 6.21. 3.No.'lu deney kazığına ait farklı kazık boyları için yük-oturma grafiği.	55
Şekil 6.22. Zeytinburnu İlçesinde yapılan deneylerin bulunduğu sahaya ait karot sandığı	57
Şekil 6.23. 4. No.'lu deney kazığı idealize zemin profili	58

Şekil 6.24. 1.No.'lu deney kazığına ait Plaxis-2D analiz modeli.....	60
Şekil 6.25. 4.No.'lu deney kazığına ait yük-oturma grafiği ve Plaxis sonuçları.....	60
Şekil 6.26. 4.No.'lu deney kazığına ait farklı kazık boyları için yük-oturma grafiği..	61
Şekil 6.27. 5.No.'lu deney kazığı idealize zemin profili	63
Şekil 6.28. 5.No.'lu deney kazığına ait Plaxis-2D analiz modeli.....	65
Şekil 6.29. 5.No.'lu deney kazığına ait yük-oturma grafiği ve Plaxis sonuçları.....	65
Şekil 6.30. 5.No.'lu deney kazığına ait farklı kazık boyları için yük-oturma grafiği.	66
Şekil 6.31. Gaziosmanpaşa İlçesinde yapılan deneylerin bulunduğu sahaya ait karot sandığı	68
Şekil 6.32. 6.No.'lu deney kazığına ait Mazurkiewicz yöntemi hesabı.....	69
Şekil 6.33. 1.No.'lu deney kazığı idealize zemin profili	70
Şekil 6.34. 6.No.'lu deney kazığına ait Plaxis-2D analiz modeli.....	71
Şekil 6.35. 6.No.'lu deney kazığına ait yük-oturma grafiği ve Plaxis sonuçları.....	72
Şekil 6.36. 6.No.'lu deney kazığına ait farklı kazık boyları için yük-oturma grafiği.	72

SİMGELER

- E : Elastisite modülü
 γ_k : Kurul birim hacim ağırlık
 γ_d : Doygun birim hacim ağırlık
 ν : Poisson oranı
 $\phi'(^{\circ})$: İçsel sürtünme açısı
 c' : Kohezyon
 α : Ampirik adezyon faktörüdür.
 c_u : Drenajsız kayma direnci.
 P_a : Atmosfer basıncı
 q_b : Kazık uç direnci,
 N_c : Kayma direnci açısına bağlı taşıma gücü faktörü,
 B : Kazık çapı,
 L : Kazık boyu.
 f_s : Çevre sürtünme direnci,
 β : Bjerrum-Burland Beta katsayısı
 σ_v' : Efektif gerilme
 K : Yanal toprak basıncı katsayısı
 ϕ_r : Yoğrulmuş kilin drenajlı sürtünme açısı
 ϕ_c : Beton ile zemin arasındaki sürtünme açısı.
 N_q : Kayma direnci açısına bağlı taşıma gücü faktörü
 Q_u : Nihai (toplam) kazık taşıma kapasitesi,
 Q_s : Çevre sürtünmesi kazık taşıma kapasitesi,
 Q_B : Kazık uç taşıma kapasitesidir.
 f_{su} : Soketteki nihai sürtünme direnci,
 q_u : Kayanın veya betonun serbest basınç dayanımı
 $q_{b,r}$: Azaltılmış uç direnç
 B_R : Referans boy=1 m
 B_b : Kazığın taban çapı
 q_{ult} : Nihai taşıma gücü
 q_{cone} : CPT tesinde ölçülen uç direnç

A_p : Kazık en kesit alanı

A_s : Çevre yüzey alanı.

$q_{b \text{ ult}}$: Çakma kazıklarda nihai uç direnç,

q_c : Koni direnci

f_s : Kazık şaftı boyunca ortalama sürtünme direnci

λ : Lambda korelasyon katsayısı



Üniversite : **İstanbul Kültür Üniversitesi**
Enstitü : **Fen Bilimleri Enstitüsü**
Anabilim Dalı : **İnşaat Mühendisliği**
Yazılımı : **Geoteknik**
Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Ahmet Murat Türk**
Tez Türü ve Tarihi : **Yüksek Lisans- 2021**

ÖZET

ZEMİNDE VE KAYADA KAZIK TAŞIMA GÜCÜNÜN SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ İLE TAHMİNİ

Merve HOTHOT

Günümüzde kentleşmenin artmasıyla yapılaşma süreci hızlanmış ve yüksek yapı yapma ihtiyacı artmıştır. Bu gelişme yapılaşmaya tam olarak uygun olmayan zeminlere inşaat yapılma gereksinimini de artırmış ve zemin iyileştirme ve kazıklı temel imalatı yapımı ihtiyacını beraberinde getirmiştir. Zemin yapısındaki bilinmezlikler, kazık imalatlarındaki bazı elverişsiz durumları ortadan kaldırabilmek ve kazık taşıma gücünün belirlenmesi için kullanılan yöntemlerden biri de sahada gerçekleştirilen kazık yükleme deneyleridir.

Tez çalışması kapsamında, farklı bölgelerde farklı zemin ve kaya birimlerinde yapılmış olan kazık yükleme deney sonuçları irdelenmiştir. Kazıklar ile ilgili genel bilgiler verilmiş olup, kohezyonlu/kohezyonsuz zeminler ile kayaya soketli kazıklarda kazık taşıma gücü hesap yöntemleri anlatılmıştır. Sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak (Plaxis-3D ve Plaxis-2D) geri analizler yapılmış, arazide yapılan deney sonuçları birbiriyle uyumlu olacak şekilde zemin parametreleri (E, c, ϕ vb.) yeniden değerlendirilmiş ve farklı kazık boyları için de kazıkların oturma-yük grafikleri hesaplanmıştır. Bulunan parametreler yaklaşık yöntem hesaplarında da kullanılmıştır. Bulunan tüm sonuçlar tablo halinde verilmiştir. Yapılmış olan tüm hesaplamalarda sonlu elemanlar yönteminin, yaklaşık yöntemle hesaplanan sonuçlara göre daha gerçekçi ve doğruya yakın sonuçlar verdiği görülmüştür.

Bu elde edilen sonuçlar ile arazide imal edilecek olan kazıklar için gerçek sonuçlar ile uyumlu veriler elde edilmiştir. Farklı zemin profili ve yapı yükleri altında kazık taşıma kapasitesi ve oturmaların hesaplanmasının gerektiğinde, sahadan ve laboratuvarından elde edilen zemin parametreleri kullanılarak sonlu elemanlar yönteminden faydalanılabileceği anlaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Kazık yükleme deneyi, Sonlu elemanlar yöntemi, Plaxis 3D, Kazık taşıma gücü.

University : **Istanbul Kultur University**
Institute : **Institute of Sciences**
Department : **Civil Engineering**
Programme : **Geotechnical Engineering**
Supervisor : **Prof. Dr. Ahmet Murat TÜRK**
Degree Awarded and Date : **MSc- 2021**

ABSTRACT

ESTIMATION OF BEARING CAPACITY OF PILE IN SOIL AND ROCK USING FINITE ELEMENT METHOD

Merve HOTHOT

With the evolution of urbanization, construction processes need to be faster and the need for high-rise building structures have increased. Therefore the difficulties of construction on weak soil conditions have risen. These type of cases can be overcome by soil improvement and pile foundations. One of the methods used to eliminate the unknowns in the soil structure, to eliminate some unfavorable situations in pile manufacturing and to determine the pile bearing capacity is the in-situ pile loading tests carried out in the construction field.

Within the scope of thesis, in-situ pile tests performed in different soil and rock conditions have been analysed. Calculation methods of bearing capacity of piles which were derived for cohesive/noncohesive soils and rock socketed piles have been explained with the general pile properties. Back analysis have been done in Plaxis-2D/3D and geomechanical parameters (E , c , ϕ) are re-evaluated in order to compare the field test and finite element model results and then load-settlement graphics are drawn. Available empirical methods are used for the calculations and all results are presented in table. Accuracy of the FEM analysis is found better than the available empirical methods for all cases.

According to the results, verified data have been collected in order to use further pile load tests. It is shown that soil parameters can be used in FEM models in order to estimate the results if bearing capacity and settlements needs to be calculated under different ground and load conditions.

Keywords: Pile load test, Finite element method, Plaxis 3D, Pile bearing capacity.

1. GİRİŞ

Günümüzde kentleşmenin artmasıyla yapılaşma süreci hızlanmış ve değişmiştir. Nüfus yoğunluğunun artmasıyla birlikte yapı inşa edilecek alanlar gün geçtikçe azalmaktadır. Bu duruma paralel olarak yüksek yapı yapma ihtiyacı artmış veya yapılaşmaya tam olarak uygun olmayan zeminlere inşaat yapılma gereksinimi duyulmuştur. Bu durum zemin iyileştirme çalışmalarını ve kazıklı temel imalatı yapımını beraberinde getirmiştir. [1]

Kazık ya da derin temel, yapısal yüklerin yumuşak ya da zayıf zeminden sağlam zemin tabakasına/kaya tabakasına aktarılmasını sağlayan yapısal eleman olarak tanımlanmaktadır. Kazıklar çok katlı yapı, köprü, kule, baraj gibi birçok inşaat alanında kullanılmaktadır. Bununla birlikte şev stabilitesi ve zemin kabarması problemlerinde de yük taşıyıcı ve direnç gösteren sistem olarak da kazık kullanımı mevcuttur. [2]

Ülkemizde de kazık imalatları yaygın bir şekilde uygulanmaktadır. Zemin yapısındaki bilinmezlikler ve kazık imalatlarındaki bazı elverişsiz durumlar kazıkların taşıma kapasitelerinin tam olarak belirlenememesine sebep olmaktadır. Projelendirme aşamasında bazı farklı yöntemler ile bu durum aşılmaya çalışılmaktadır. Kazık taşıma gücünün belirlenmesinde kullanılan yöntemlerden biri de kazık yükleme deneyleridir. [2]

Çalışma kapsamında, daha önce yapılmış kazık yükleme deneyleri sonuçları irdelenmiş olup, sonlu elemanlar yöntemiyle kazıklar ve zemin sayısal olarak modellenerek bulunan sonuçlar deney sonuçları ile kıyaslanmıştır. Sonlu elemanlar yazılımı olarak Plaxis-2D ve Plaxis-3D yazılımları kullanılmıştır. Hesaplamalar hem iki boyutlu hem de üç boyutlu olarak yapılarak uygulamada bulunan farklı kazık çeşitleri içinden yerinde dökme betonarme kazıkların davranışı incelenmiştir. Pratikte “Fore Kazık” olarak adlandırılan bu kazıklar; delme teknikleri kullanılmak suretiyle zeminde oluşturulan bir deliğin içine donatı yerleştirilerek betonla doldurulması yolu ile imal edilen kazıklardır. Analiz sonucuyla arazide yapılan deney sonuçları birbiriyle uyumlu olacak şekilde zemin parametreleri yeniden değerlendirilerek çalışmadan elde edilen sonuçlarla arazide yapılacak olan diğer kazıkların imalatı için gerekli veriler elde edilecektir.

1.1. Literatür Araştırması

Kazık taşıma gücünün hesaplanması ile ilgili farklı türden çalışmalar mevcuttur. Teorik formüller ve/veya sonlu elemanlar programları kullanılarak yapılan çalışmalar olduğu gibi kazık yükleme deney sonuçlarının da değerlendirildiği birtakım çalışmalar mevcuttur. Bu tez kapsamında yapılmış çalışmaların farklarını ortaya koymak için ulaşılabilen literatür çalışmalarının kıyaslamaları aşağıdaki verilmiştir.

Kirkit (2009), “Türkiye’de yapılmış kazık yükleme deneylerinden veri tabanı oluşturulması ve veri tabanında bulunan kayaya soketli fore kazıkların analizi” isimli çalışmada, Türkiye’de yapılmış kazık yükleme deneylerinden bir veri tabanı oluşturulmuştur bu bilgileri derlemek için “Türkiye KYD (Kazık Yükleme Deneyleri) Veri Tabanı” adlı bilgisayar yazılımı yazılmıştır. Ayrıca 14 adet kayaya soketli kazıkların taşıma gücü yönünden incelemesi tez kapsamındadır. Kayaya soketli kazıkların taşıma gücü hesaplanmış, ampirik yöntemlerle, uç taşıma kapasitesi ve çevre taşıma kapasitesi hesap edilmiştir. Plaxis yazılımı ile kayaya soketli kazıklar için Mohr-Coulomb modelini kullanan bir nümerik model oluşturularak analizler gerçekleştirilmiştir. Kazık yükleme deneylerinden oluşan veri tabanı değerlendirilmiş ve önerilerde bulunulmuştur. Ampirik yöntemler için de kazık taşıma kapasitesini hesaplayabilmek için Chin-Kondner, Brinch-Hansen %80 ve Decourt yöntemleri kabul edilebilir alanlar içerisinde kalmıştır. Kazık yükleme deneyi yapılacak alanlarda en önemli eksiklik ise zemin profili verilerinin olduğunun üzerinde durulmuştur. Veri tabanına kayıtlı kazıklar genel olarak fore kazık olup çapları 0.5-1.0 m ve boyları 10-40 m arasında değişmektedir. Bu deneylerin % 87’si zeminde %13’ü ise kayada yapılmıştır [3].

Hemada ve diğerleri (2014), “Bazı özel durumlarda kazık yükleme testini değerlendirmek için sonlu elemanlar uygulaması” isimli çalışmalarında, kazık imalatları yapılırken oluşan kusurlu durumlar durumların kazık yükleme deneylerine ve kazık davranışına etkisini sonlu elemanlar yöntemi ile incelemiştir. Şaft kusurları ve kazıkların soketlerinin tabanındaki kusurlu imalatlar ara yüz parametreleri ve malzeme parametreleri ile modellenmeye çalışılmıştır. Yapılan çalışmalar hem granüler zeminlerde imal edilen kazıklar için hem de kayaya soketli kazıklar için yapılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda sonlu elemanlar yönteminin, bu kusurlu davranışları araştırmak açısından etkili bir yöntem olduğu sonucu çıkarılmıştır. Kazık

imalatlarında oluşan kusurların hem zemin/kaya durumu ile ilgili olduğu hem de inşaat aşamasından kaynaklandığı belirtilmektedir. Şaft direnci ile ilgili oluşabilecek kusurların arayüz elemanlar ile modellenebileceği, zeminin örselenmesi ile ilgili kusurların malzeme parametreleri ile belirlenebileceği anlaşılmıştır. Kazıkların uç direncinde oluşabilecek kusurların modellenmesinde kazık ucunda bulunan zeminin/kayanın yumuşamaya izin veren bir malzeme parametresi ile veya bir yay elaman ile modellenmesinin uygun olduğu belirtilmiştir [4].

Kazimierz ve diğerleri (2015) “Numerical modelling and bearing capacity analysis of pile foundation” isimli çalışmalarında, ABAQUS sonlu elemanlar yazılımı yardımıyla kazık modellemesi yapılmış ve kazık yükleme deney sonucu ile karşılaştırılmıştır. Bu çalışma bir adet arazi deneyi ile yapılmış Eurocode-7 ve Polonya yönetmeliklerine göre analitik olarak incelenmiştir. Yapılan sonlu elemanlar modellemesinde şaft sürtünmesini temsil eden arayüz parametrelerinin sonuçları önemli ölçüde etkilediği görülmüştür. Sonlu elemanlar modeli ile elde edilen kazık taşıma gücü sonuçlarının güvenli tarafta kalacak sonuçlar verdiği anlaşılmıştır [5].

Köpüklü (2015) “Baret kazıklı temeller ile ilgili hesap yöntemleri, imalat ve kalite kontrol esasları” isimli çalışmasında üst yapı kaynaklı aşırı yüklerin zemininin derin tabakalarına aktarılmasının gerektiği durumlarında geleneksel dairesel kesitli kazıklar uygulama ve ekonomik problemlere sebep olacağından kullanılan baret kazık yöntemini incelemiştir. Baret kazıklar çapları nedeniyle daha fazla çevre sürtünmesi alırlar ve aynı yönde etki eden kuvvetler altında fore kazıklı temellere göre çok daha yüksek yatay kesme kuvveti ve eğime momenti kapasitesine sahiptirler. Osterberg hücresi yardımıyla kazıkların çift-yönlü olarak yüklenmesi sonucunda, zaman kayıpları ve iş güvenliği riskleri minimize edilmekte, baret temel tasarımına uygun olarak yüksek deney yüklerinin uygulanması mümkün olmaktadır. Çalışmada baret kazıklarının düşey taşıma gücü gerçekleştirilen teorik hesaplar ve Osterberg hücresi kazık yükleme deneyi sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Kazık yükleme testi 3D Plaxis Foundation sonlu elemanlar yazılımı ile modellenmiş ve deney performansı değerlendirilmiştir. Baret kazıkların taşıma kapasitesinin dairesel alanlı kazıklara göre daha fazla çıktığı görülmüş olup ekonomi ve süre açısından baret kazık sisteminin daha avantajlı olduğu belirtilmiştir. Sonlu elemanlar metodu ile analiz edilen baret kazık için hesaplanan taşıma kapasitesinin izin verilen oturma limitleri

içerisinde kaldığı görülmüştür [6].

Yankı (2015), “İki yönlü statik yükleme deneyi ve nümerik analizlerle kazık davranışının incelenmesi “ isimli çalışmada taşıma kapasitesinin belirlenmesi amacıyla Osterberg yük hücresi ile gerçekleştirilen iki yönlü statik kazık yükleme deneylerinin sonuçları ve sonlu elemanlar yöntemi ile yapılan nümerik analiz sonuçları karşılaştırılmıştır. Sahada yapılan ve aynı zemin parametreleri ile sonlu elemanlar yöntemiyle yapılan nümerik analizler sonucu elde edilen deplasman ve çevre sürtünme direnci değerlerinden daha küçük elde edilmiştir. Bölgenin karakteristik özelliğini tam yansıtamaması, modelde malzeme davranışının tam rijit olarak kabul edilmesi, sahada imalat sırasında zeminde oluşabilecek örselenmenin nümerik analizlerde tanımlanamaması ve yeteri kadar özenli olmayan imalatın deney sonuçlarını etkilemesi sebebiyle olduğu düşünülmektedir. Sonlu elemanlar metodu ile yapılan analizlerde, parametrik yaklaşımlarla yapılan analiz sayısının artırılması, farklı zemin ve malzeme modeli kullanarak analizlerin çoğaltılması, analizlerin kum zeminlerde de tekrarlanması sonucuna varılmıştır [7].

Tolun diğerlerinin (2016) “Eksenel yüklü tekil kazığın farklı yöntemlerle sayısal analizi” isimli çalışmasında, kazık taşıma gücü farklı yazılımlar ile (Geo5 ve Plaxis) ve teorik yöntemler ile hesaplanmıştır. Bu çalışmada, laboratuvar ortamında kum zemine gömülü, 1.0 cm çapında ve 20.0cm boyunda model deney düzeneği ile dairesel bir kazık kullanılmış ve taşıma gücü belirlenmiştir. Çalışma kapsamında kazık çapı ve boyunun taşıma gücüne etkisi araştırılmıştır. Deney modelinin, Plaxis 2D bilgisayar yazılımı ile uyumluluğu araştırılmış ve sonuçların uyumlu olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca, farklı boy ve çaptaki tekil kazıkların taşıma kapasitesi teorik yöntemler (Vesic, Hansen, Terzaghi ve Janbu), ve Geo5 bilgisayar programları ile parametrik olarak incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar karşılaştırılmış ve Plaxis 2D bilgisayar yazılımına en yakın yöntem belirlenmiştir. Yapılan çalışmada, teorik yöntemler için, Bowles (1997) ile benzer sonuçlar elde edilmiştir. Sonuçlar, tüm çaplar için Vesic yönteminin en yüksek, Plaxis 2D yazılımının ise en düşük taşıma gücü değerini verdiğini göstermiştir [8].

Özkan ve diğerlerinin (2016) “Perde kazıkların düşey taşıma gücünün sonlu elemanlar yöntemiyle incelenmesi” isimli çalışmasında, kazık taşıma gücü sonlu elemanlar yöntemi ile hesaplanmış ve farklı aralık ve çaptaki kazıklar üzerinde

irdeleme yapılmıştır. Plaxis 3D Foundation yazılımı kullanılarak perde kazıklar için üç boyutlu modeller ile analizler yapılmıştır. Bu çalışma sonucunda kazıklar arasındaki mesafenin 3xkazık çapı (3xD) olmasıyla bile tekil kazık gibi davranamayacağı hem kumlu hem de killi zeminlerde gösterilmiştir. Ayrıca 3D aralıktan teğet kazıklara kadar olan taşıma gücü kayıplarından bahsedilmiştir [9].

Maizir ve diğerleri (2016) “Estimation of Pile Bearing Capacity of Single Driven Pile in Sandy Soil using Finite Element and Artificial Neural Network Methods” isimli çalışmalarında, kazık taşıma gücü sonlu elemanlar yöntemi ile hesaplanmış ve kumlu zeminler için hesaplamalar yapılmıştır. Dinamik kazık yükleme deneyi sonuçları ile sonlu elemanlar yöntemi ve yapay sinir ağı yöntemi ile hesaplamalar karşılaştırılmış ve birbirine yakın sonuçların elde edilmiştir. Dinamik kazık yükleme deneyinin yükleme durumları değişkenlik göstereceğinden dolayı sonuçların statik yükleme deneyi ile doğrulanması gerektiği belirtilmiştir [10].

Martinkus ve diğerlerinin (2016), “Yapay kum yatağında yapılan kazık testinin yer değiştirmesinin sayısal olarak simülasyonu” isimli çalışmasında yapay kum yatağı oluşturularak kazık yükleme testi yapılmış ve elde edilen sonuçlar sonlu elemanlar yöntemi ile bulunan değerler ile karşılaştırılmıştır. Sonlu elemanlar yöntemi ile yapılan hesaplamada doğrusal olmayan pekleşen zemin modeli kullanılmıştır. Hesaplamalarda bulunan sonuçların shaft çevresinde oluşan radyal gerilmelere bağlı olduğu kanısına varılmıştır. Ayrıca uç direnç ile ön konsolidasyon basıncı ve yük-oturma davranışı arasında ilişki belirtilmiştir [11].

Salim ve diğerlerinin (2017), “Analysis of Cast in Place Piles Using Finite Elements Method” isimli çalışmasında, farklı çapta ve uzunlukta kazıklar için modelleme yapılmış ve sonuçlar kıyaslanmıştır. Bu çalışma tek bir zemin profili için yapılmıştır. Farklı çap ve boydaki kazıkların nihai taşıma kapasiteleri amprik ve nümerik yöntemler ile hesaplanarak kıyaslanmıştır. Çalışmada kullanılan kazık çapları, 0.6, 0.8, 1.0 ve 1.2 m olup kazık boyları ise 16, 18, 20 ve 22 m’dir. Değişken çap ve boylar için hesaplanan değerler yüzdelik farklar ile ifade edilmiştir [12].

Helvacıoğlu ve diğerlerinin (2017), “Kireçtaşında yapılan Osterberg cell kazık yükleme deneyinin sonlu elemanlar yöntemi ile sayısal simülasyonu” isimli çalışmalarında, çift yönlü kazık yükleme testleri sonucu elde edilen yük-oturma

davranışının, ideal üstten yüklenen kazık yük-oturma davranışına dönüştürülmesi sırasında kullanılan teorinin doğruluğunu ve iki yöntem arasındaki kazık davranışı farklılığını incelenmiş ve kireçtaşına soketlenen büyük çaplı bir kazıkta gerçekleştirilen çift yönlü kazık yükleme deneyi sonlu elemanlar yöntemi ile geri analiz edilmiştir. Yapılan analizler sonucunda, O-cell ile yüklenen kazıklarda gerinim ölçerlerin doğru konuma yerleştirilmemesi durumunda uç direncinin yanlış hesaplanabileceği görülmüştür. O-cell yükleme deneyi ile ideal üstten yükleme deneyi karşılaştırıldığında birim çevre sürtünme değerlerinin büyüklüklerinin aynı ancak oluştukları yerlerin farklı olduğu da gözlemlenmiştir. Gerinim ölçer adedinin ise değişen zemin tabakalarına göre belirlenerek yerleştirilmesi öngörülmüştür [13].

Çelik (2018), “Statik kazık yükleme deneyinin farklı zemin modellerinde sonlu elemanlar yöntemi ile modellenmesi ve arazi bulgularıyla karşılaştırılması” isimli çalışmasında, arazi deneyi ile elde edilen sonuçlar sonlu elemanlar yöntemi ile kıyaslanmıştır. Tek bir yükleme deneyi ve tek tip zemin profili kullanılmıştır. Plaxis-2D yazılımı kullanılarak modelleme yapılmıştır. Sayısal ortamda sonlu elemanlar metodu yardımıyla “Mohr-Coulomb” ve “Pekleşen Zemin” modeli olmak üzere iki farklı zemin modelleriyle analiz edilerek sonuçlar karşılaştırılmış ve değerlendirilen zemin profilinde Pekleşen zemin modelinin Mohr Coulomb modeline göre kazık yükleme deneyine daha yakın sonuç verdiği belirtilmiştir. [14].

Kabaca (2018), “Kazıkların taşıma gücü ve oturma parametrelerinin incelenmesi, taşıma gücü için yeni bir metot önerisi” isimli çalışmasında, farklı kazık yükleme deneylerine ait sonuçlar ile amprik sonuçlar ve iki boyutlu sonlu eleman yöntemi ile bulunmuş sonuçlar karşılaştırılmış ve nihai taşıma gücü ve nihai oturma sonuçları için yöntem önerisi sunulmuştur. Bu çalışma kapsamında önerilen yöntemin diğer yöntemler ile çoklu karşılaştırma testleri yapılmış ve uygulanan varyans analizine göre % 95 güven aralığında kaldığı tespit edilmiştir. Bu duruma istinaden önerilen yöntemin kullanılabilir olduğu sonucuna varılmıştır. Yapılan çalışmalar ile elde edilen oturma değerlerinin her yöntem için ortalaması alındığında ise kazık yükleme deneylerinden elde edilen oturma değerlerine en yakın sonuç % 55 fark ile sonlu eleman yönteminden gelmiştir [15].

Bilgiç (2019), “Killi zeminlerdeki fore kazıkların taşıma kapasitelerinin yükleme deneyleri ile tahmini” isimli çalışmasında şartnamelere göre hesaplanan kazık

kapasitelerinin, arazi deneyi sonucunda elde edilen kapasitelerin altında kaldığı, SPT ve CPT yöntemi ile hesaplanan kapasitelerin ise deneylerin üzerinde sonuç verdiği görülmüştür. Hesaplanan kapasite değerleri ile gerçekleştirilen üç boyutlu analizlerde ise tüm analitik çözümler arasında yükleme deneyine en yakın sonuç veren yöntemin AASHTO yöntemi olduğu görülmüştür. Ayrıca Plaxis-3D yazılımı ile yapılan modellemede arazide elde edilen yük-deplasman grafiğine yakın sonuçlar elde edilmiştir. Kazık-zemin ilişkisine etkisi olan arayüz elemanının büyük ölçüde etkisi olduğu gözlemlenmiştir ve arazi deneylerine yakın sonuçlar elde edilmiştir [16].

Genel olarak bu tez kapsamında yapılan çalışmalar ile literatür çalışmaları arasında aşağıda verilen farklılıklar mevcuttur. Bu farklılıklar;

- Farklı zemin profilleri,
- Sürtünme kazığı ve kayaya soketli kazık,
- Farklı kazık çapı ve aralığı,
- Farklı sonlu elemanlar programları,
- Farklı kazık yükleme deneyleri

olarak özetlenebilir.

1.2. Yönetmelikler

Kazık taşıma kapasitesinin hesaplanmasında literatürde yer alan belli başlı kabul görmüş analitik yöntemler kullanılabilir. Bununla birlikte dünyada farklı kuruluşlar yayınladıkları şartnameler ve yönetmelikler ile kazık tasarımı bölgesel olarak özelleştirmişlerdir.

Türk Standartları içinde fore kazıklar ile ilgili olarak “TS EN 1536+A1 Özel Jeoteknik Uygulamalar-Delme Kazıklar (Fore Kazıklar)” yönetmeliği içerisinde kazıkların imal edilme yöntemi, kullanılan malzeme ve metotlara değinilmiştir. [17] Ayrıca Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (2018) içerisinde belirtildiği üzere “*Kohezyonlu ve kohezyonsuz zeminlerde birim çevre ve birim uç dirençleri literatüre dayanan ve genel kabul görmüş bağıntılar kullanılarak hesaplanabilir. Taşıma gücü hesabında kazık imalat yönteminin etkisi dikkate alınmalıdır.*” Yönetmelikte ayrıca kazıklı temellerin emniyetli taşıma gücünün belirlenmesi için kullanılacak dayanım katsayıları da önerilmektedir. [18]

Bu tez çalışması kapsamında, kazıkların nihai taşıma gücü hesaplanmıştır. Deneyi yapılan kazıklar bu açıdan değerlendirilmiştir. Kazıkların tasarım dayanımları hesaplanmak istenirse TBDY-2018 Bölüm 16.'da belirtilen katsayılar kullanılacaktır. TBDY-2018'de; *“Tablo 16.4’te kazık yükleme deneyi yapılması durumu için verilen dayanım katsayısı değerleri, her bina altında en az bir adet yükleme deneyi ve proje sahasında kullanılan kazıkların en az %1’i üzerinde yükleme deneyi yapılması durumunda kullanılabilir. Bu minimum sayılardan daha fazla deney yapılması halinde, bölgesel deneyimlerin ışığında dayanım katsayılarında en fazla 0.10 kadar azaltma yapılabilir”* denilmektedir. Kazıklı temeller için dayanım katsayıları Tablo 1.1’de verilmiştir [18].

Tablo 1.1. Kazıklı temeller için dayanım katsayıları [18]

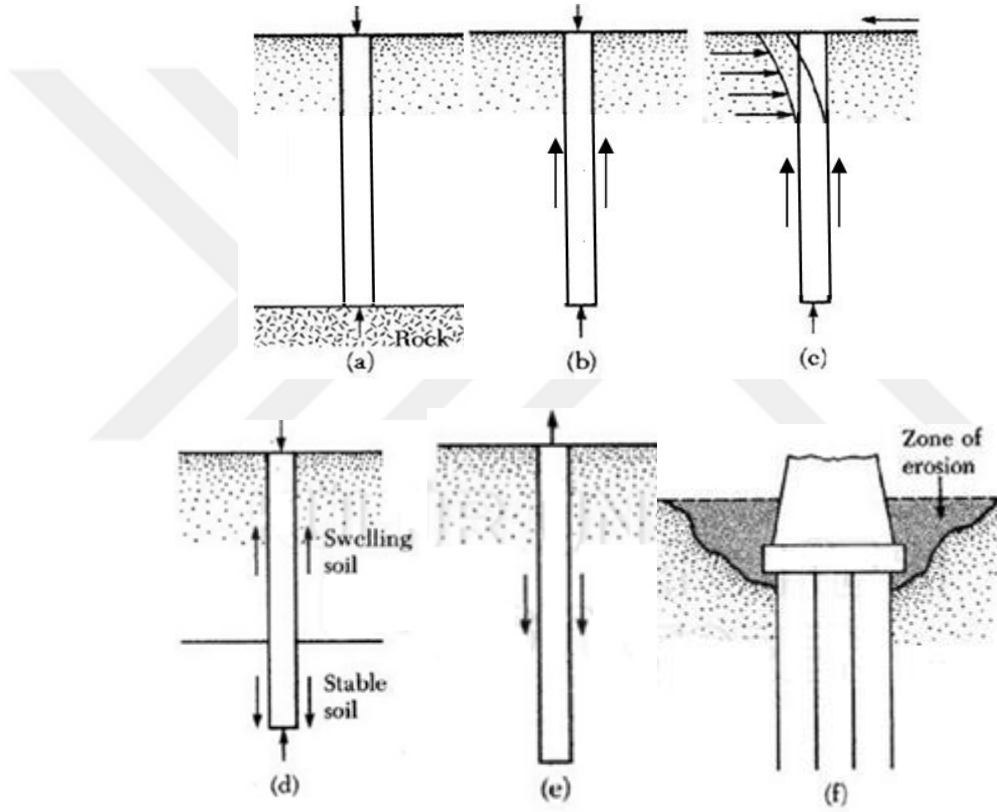
Dayanımın Türü	Dayanım Katsayısı Simgesi	Dayanım Katsayısı Değeri	
		Kazık yükleme deneyi yapılmamış ise	Kazık yükleme deneyi yapılmış ise
Çevre sürtünmesi (basınç)	γ_{Rsb}	1.5	1.3
Çevre sürtünmesi (çekme)	γ_{Rsc}	1.6	1.4
Uç direnci	γ_{Ru}	2.0	1.5
Toplam taşıma gücü (basınç)	γ_{Rt}	–	1.4

Şartnameler ortak olarak kazığın kapasitesini çevre sürtünmesi ve uç direncinin toplamına göre belirleseler de aralarında bazı farklılıklar görülmektedir. AASHTO, LRFD, NAVFAC vb. şartnamelerde kazık tasarımı sürtünme ve uç direncini dikkate almakta olup, bununla birlikte Rus şartnamesi olan SNIP için kazığın sürtünme direnci sınırlı kabul edilmektedir. Bu da sağlam tabakadan direnç alabilmek için kazık boylarını uzatma gerekliliğini ortaya çıkarır. [19]. Şartnameler içerisindeki hesap yöntemleri genellikle klasik taşıma kapasitesi yöntemine dayansa da kazık zemin arasındaki ilişkiyi hesaba katan katsayılar ve kabuller nedeniyle, farklılıklar görülebilmektedir. Literatürde geçerli olan ve tasarımda kullanılan AASHTO [20], AASHTO LRFD [21], NAVFAC [22] ve SNIP [23] şartnamelerin kazığın düşey kapasitesinin hesaplanması için önerdiği yöntemlerin bir kısmı Bölüm 3.’te formül ve abaklar yardımı ile anlatılmıştır.

2. KAZIKLAR İLE İLGİLİ GENEL BİLGİLER

2.1. Kazıklı Temel Kullanılması Gereken Durumlar

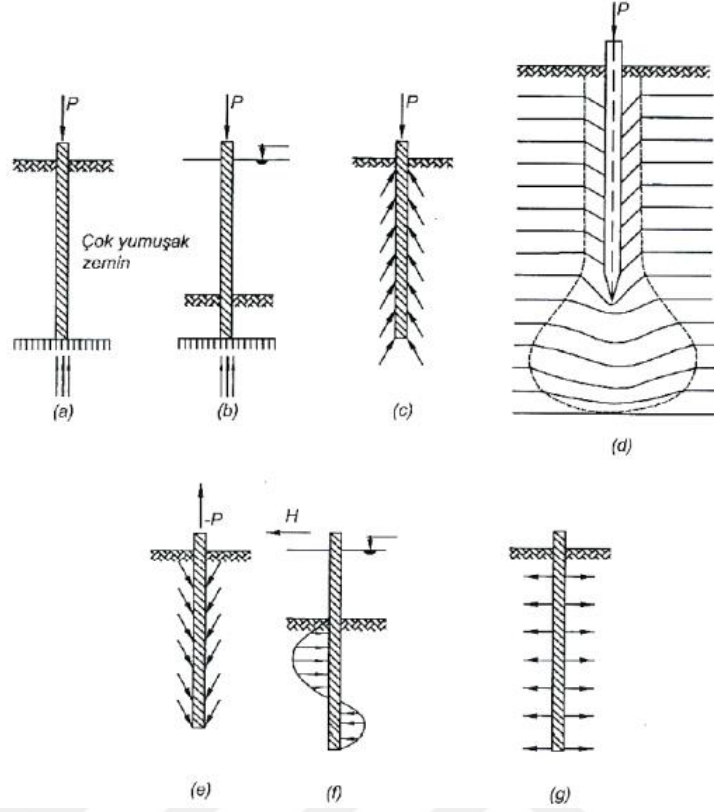
Kazıklar farklı zemin durumlarında ve farklı yapı koşullarında kullanılabilirler. Üstyapı yükünü sağlam tabakalara aktarmak (Şekil 2.1 (a)), üst yapı yükünü sürtünme ile zemine aktarmak (Şekil 2.1(b)), üstyapıdan etkiyen yanıl yükleri zemine aktarmak (Şekil 2.1 (c)), problemlili zemin tabakaları olduğu zaman (Şekil 2.1 (d)), çekme yükü olduğunda (Şekil 2.1 (e)), köprü ayaklarında (Şekil 2.1 (f)) kullanılabilir.



Şekil 2.1. Kazıklı temel kullanılması gereken durumlar [2]

2.2. Kazık Çeşitleri

Kazık çeşitleri; uç kazıkları (Şekil 2.2. (a) ve (b)), sürtünme kazıkları (Şekil 2.2. (c) ve (d)), çekme kazığı (Şekil 2.2. (e)), yanıl yük etkisindeki kazık (Şekil 2.2. (f)), sıkıştırma kazığı (Şekil 2.2.(g)) olarak sınıflandırılabilir.



Şekil 2.2 Kazık çeşitleri [24]

Kazık tipi seçimleri için göze alınması gerekenler şu şekilde sıralanabilir.

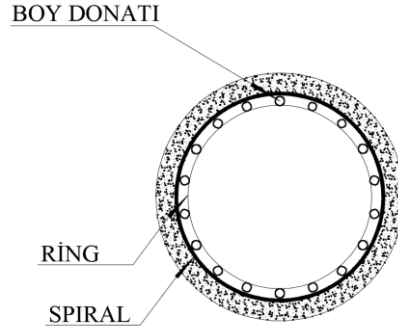
- Uygulama yapılacak kazık tipi için önceden elde edinilmiş tecrübeler,
- Kazığın güvenli taşıyabileceği yük,
- Ekonomi,
- Gerekli görüldüğü takdirde kazık sayısındaki artış,
- Çakma şartlarına ve yöntemine uygun kazık tipi seçimi,
- Kazık boylarının değişkenlik göstermesi durumunda uygulanabilirliği.

2.3. Kazıkların Sınıflandırılması

2.3.1. Malzeme Tipine Göre Kazıklar

Beton, çelik, kum, ahşap, kireç ve taş kolon (taşıyıcı ve drenaj için) kazık olmak üzere imal edilebilmektedir. Genel kullanım olarak ise beton kazık tercih edilmektedir. Beton kazıklar bazı durumlarda zemin iyileştirme amaçlı donatısız olarak

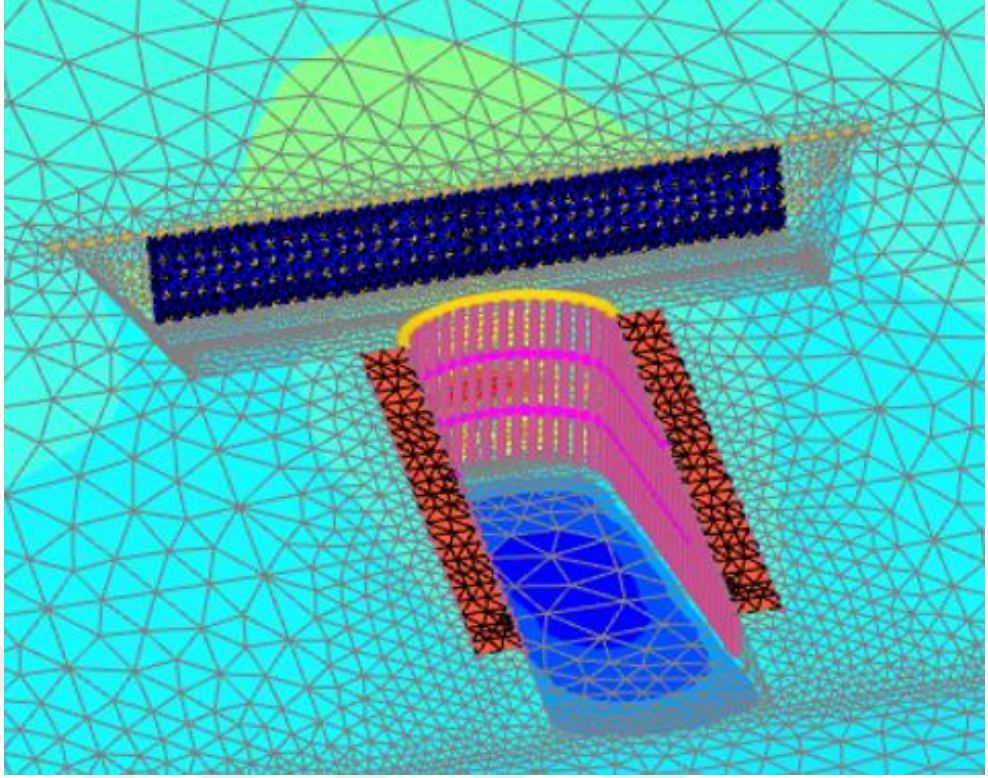
uygulanabilmektedir [24].Yaygın olarak ise donatılı kazık (betonarme) olarak kullanılmaktadır. Şekil 2.3.'te betonarme kazık kesiti verilmiştir.



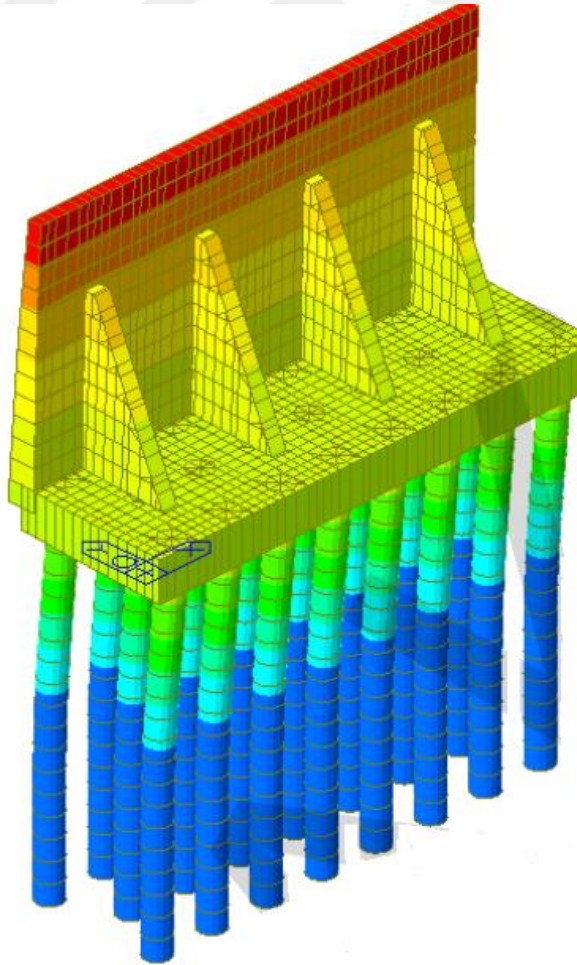
Şekil 2.3. Betonarme kazık kesiti

2.3.2. Kullanım Amacına Göre Kazıklar

Kazık ya da derin temel, yapısal yüklerin yumuşak ya da zayıf zeminden sağlam zemin tabakasına/kaya tabakasına aktarılmasını sağlayan yapısal eleman olarak tanımlanmaktadır. Kazıklar çok katlı yapı, köprü, kule, baraj gibi birçok inşaat alanında kullanılmaktadır. Bununla birlikte şev stabilitesi ve zemin kabarması problemlerinde de yük taşıyıcı ve direnç gösteren sistem olarak da kazık kullanımı mevcuttur. Zemini sıkıştırma, iyileştirme ve derin kazı destekleme amaçlı kazıklar olmak üzere sıralanabilir [25]. Şekil 2.4. ve Şekil 2.5.'te örnek modelde gösterilmiştir.



Şekil 2.4. Derin kazı ve şev stabilitesi amaçlı kazık kullanımı



Şekil 2.5. Taşıma gücü amaçlı kazık kullanımı

2.3.3. İmalat Yöntemine Göre Kazıklar

Darbeli çakma, vibrasyonlu çakma, su jeti ile çakma ve fore kazık olarak ayrılmaktadır. Üretim tipine göre yerinde dökme ve prefabrik kazık olarak ayrılır. Yerinde dökme kazık en çok tercih edilen bir yöntemdir. Fore kazık ülkemizde yaygın olarak kullanılan imalat yöntemidir [26]. Bu çalışma kapsamında fore kazıklar incelenmiştir. Fore kazıkların genel özellikleri şu şekildedir:

- Genel olarak 45cm- 250cm çaplarında imal edilebilirler.
- En yaygın olarak kullanılan kazık çapları: 60-120 cm'dir.
- Kullanılan makine ve zemine bağlı olarak 90 m derinliğe kadar imal edilebilirler.
- Fore kazıkların önemli avantajları vardır. Ayrıca, bu kazıkların yapımı sırasında özellikle gözetilmesi gereken hususlar bulunmaktadır.

Fore kazıkların avantajları:

- Fore kazıklar yapım sıralamasında temel kazısı yapılmadan önce delinip yapılabilir.
- Zemin şartları uygun olduğu takdirde kısa zamanda inşa edilebilirler.
- Yüksek eksenel kapasitelerinin yanı sıra moment kapasiteleri ve yanal yük dirençleri yüksektir.
- Çakma kazıkların çakılmasına engel olan taş ve bloklar, fore kazık delme işlemi yapılırken uygun delgi ataşmanı ve delgi teknikleri kullanılarak geçilebilir.
- Foraj ve betonlama sırasında çevrede kayda değer titreşim ve sarsıntı yaratmazlar. Bu nitelik, şehir içinde çevre yapıların bu tür etkilere karşı hassas olduğu durumlarda önemli bir avantajdır.
- Büyük çapta ve derinlikte imal edilebilmeleri sayesinde çok yüksek taşıma kapasiteleri elde edilmesi mümkündür.
- Gerektiğinde kazık ucunda ve çevresinde enjeksiyon yapılarak veya uç kısmında (soğan) oluşturularak taşıma gücü (çekme ve basınç) artırılabilir.
- Foraj sırasında çıkan zeminin incelenmesi ile inilen derinliklerdeki sağlam tabakaya erişildiği kolayca kontrol edilebilir.
- Fore kazıkların boyu delme sırasında incelenen zeminin niteliği göz önüne alınarak uygun olmayan zemin koşullarında kolayca ayarlanabilir. Bu özellik, çakma kazıklarına göre büyük bir avantajdır.

Fore kazıkların dezavantajları:

- Kazık betonunun hazırlanması ve dökülmesi sırasında kalite kontrolü gerekmektedir. Çakma kazıkların aksine fore kazıkların donatısı ve betonu şantiyede hazırlanabilir.
- Yeraltı suyunun varlığı halinde şu nedenlerle özel dikkat gerekmektedir.
 - Yeraltı suyunun kimyasal içeriği beton kalitesini etkileyebilir. Özellikle yeraltı suyu akımı olması halinde beton yıkanabilir ve kazık sağlıklı şekilde yapılamayabilir.
 - Kazık deliği çevresindeki zeminde yıkıntı veya döküntü olabilir. Kazığın ucunun basacağı zeminde kaynama meydana gelerek bu zemini gevşetebilir.
- Çakma kazıklarda olduğu gibi çakım sırasında kazık kapasitesinin hesaplanması veya ölçümü mümkün değildir.

Yukarıda belirtilen durumların hassas zemin etütleri ile öngörülmesi ve detaylı kalite kontrol yazılımı ile gerekli kontrollerin yapılması şarttır.

2.4. Özel Kazıklar

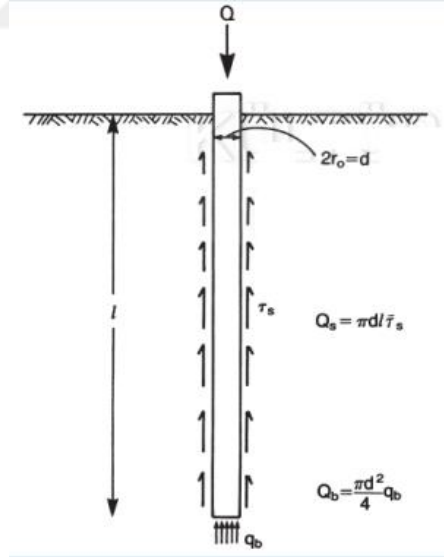
Çap ölçüleri 30 cm ve daha küçük kazıklar bu grup altındadır. Çapı 30-15 cm aralığında olanlar mini kazık, çapı 15 cm'den daha küçük kazıklar mikro kazık olarak isimlendirilir. Makinaların kısıtlı yerleşim imkanlarının olduğu projelerde tercih edilir. Kısa sürede çok sayıda imalat yapılabilir. Eğilme momenti taşıma kapasiteleri azdır. Tasarım ve uygulama yapılırken bu önemli detay dikkate alınmalıdır [26].

2. KAZIĞIN TAŞIMA GÜCÜ

3.1. Tekil Kazığın Düşey Yük Etkisindeki Taşıma Kapasitesi

Kazıkların maruz kaldığı yükleri güvenli bir şekilde zemine aktarması ve bu yüklerin izin verilen oturma sınırları içerisinde kalınarak zemin tarafından karşılanması, kazıkların taşıma gücü (kapasitesi) olarak açıklanmaktadır. Kazıklar genellikle belirli aralıklarla grup halinde imal edilirler. Kazık taşıma gücü değeri öncelikle bir kazık için belirlenip daha sonra grup halindeki kazıklara uygulanmaktadır. Tekil kazığın servis yükü, hesaplanan taşıma gücü değerinin kazığa etkiyen negatif çevre sürtünmesi ve grup etkisi göz önünde bulundurularak belirlenmektedir. Şekil 3.1.'de gösterilmiştir.

Kazığa etkiyen Q yükünün bir kısmı kazık derinliği boyunca kazık çevresinde gelişen zemin direnci (Q_s), bir kısmı da kazık ucundaki zemin tarafından (Q_b) taşınacaktır. Kazık yükü artmaya devam ettiğinde, kazığın derinlik ve çapından bağımsız olarak çevresindeki zemine göre düşey yöndeki deplasmanı 5-10 mm'ye ulaştığında kazığın çevresiyle taşıyabileceği maksimum sürtünme direnci mobilize olacaktır.



Şekil 3.1. Kazıkların taşıma kapasitesi [2]

$$\text{Nihai Taşıma Kapasitesi: } Q_u = (Q_s + Q_b) \quad (3.1)$$

$$\text{İzin verilebilir kazık kapasitesi: } Q_{all} = (Q_s + Q_b) / F_s \quad (3.2)$$

A_b : Kazık uç alanı,

Q_b : Kazık uç gerilmesi,

A_s : Kazık yüzey alanı,
 F_s : Güvenlik sayısı
 Q_s : Birim çevre sürtünmesidir.

Kazıkların taşıma gücü; zemin özelliklerine dayanan taşıma gücü formüllerinden, standart arazi deneylerinden, dinamik deneylerden, kazık yükleme deneylerinden yararlanılarak belirlenmektedir. Ayrıca kazık taşıma gücü zeminin ve kazığın sonlu elemanlar ile modellenmesi ile nümerik olarak da elde edilebilir.

Kazıkların taşıma gücü değer aralığını belirleyen en önemli etken, kazığın bulunduğu zeminin özellikleridir. Zemin özelliklerine göre taşıma gücü hesabı kohezyonsuz zeminlerde, kohezyonlu zeminlerde ve kayaya soketli olmak üzere üç başlık altında incelenmektedir. Buna karşın, tabanda taşınabilecek yükün maksimum değerine ulaşabilmesi için kazık tabanının çakma kazıklarda çapın %10'u, fore kazıklarda ise %25'i kadar deplasman yapması (oturması) gerekecektir. Kazığa etkiyen yükün göçme yükü, (Q_u) değerine ulaşması durumunda hem kazık çevresinde hem de uçta taşınabilecek yüke ulaşılmış olacaktır [2].

3.1.1. Kohezyonlu Zeminlerde Kazık Taşıma Gücü

Kohezyonlu zeminlerde kazıkların taşıma kapasitesi sürtünme ve uç dirençlerinin toplamına eşittir. Sürtünme direnci ve uç direnci zemin sondaj logu ile laboratuvar deneyleri kullanılarak efektif gerilme veya toplam gerilme yöntemlerini esas alan statik analizle bulunur. Zeminin drenaj durumuna göre farklı yöntemler ile hesap yapılabilmektedir. α yöntemi kohezyonlu zeminlerde, zeminin drenajsız kayma dayanımını kullanan toplam gerilme yöntemidir. β yöntemi (efektif gerilme yöntemi) zeminin drenajlı kayma dayanımını dikkate alır, kohezyonlu ve kohezyonsuz zeminler için kullanılabilir.

α Yöntemi:

$$f_s = c_a = \alpha c_u \quad (3.3)$$

Burada;

f_s : Çevre sürtünme direnci,

α : Kazık shaftını çevreleyen kohezyonlu zeminin örselenmemiş drenajsız kayma

dayanımını azaltmak üzere kullanılan ampirik adezyon faktörüdür.

c_u : Drenajsız kayma direnci.

Literatürde α katsayısı için birçok araştırmacı ve kurum tarafından önerilen birçok farklı değer bulunmaktadır. Kulhawy-Jackson (1989), α ve c_u arasında aşağıdaki bağıntıyı elde etmiştir.

$$\alpha = 0.21 + 0.25(P_a / c_u) \leq 1 \quad (3.4)$$

P_a : Atmosfer basıncı=101.1 kPa

Kazık uç direnci için ise bazı araştırmacılar tarafından önerilen farklı yöntemler bulunmaktadır. Reese-O'Neill (FHWA yöntemi) tarafından aşağıdaki bağıntı önerilmiştir.

$$q_b = N_c c_{ub} \quad (3.5)$$

Burada;

q_b : Kazık uç direnci,

N_c : Kayma direnci açısına bağlı taşıma gücü faktörü,

c_{ub} : Kazık ucunun 1-2 çap altındaki zeminin drenajsız kayma dayanımı.

N_c : $6(1+0.2(L/B))=9$

B : Kazık çapı,

L : Kazık boyu.

β Yöntemi:

$$f_s = \beta \sigma_v' \quad (3.6)$$

Burada;

f_s : Çevre sürtünme direnci,

β : Bjerrum-Burland Beta katsayısı= $K \tan \phi_r$

σ_v' :Efektif gerilme

K : Yanal toprak basıncı katsayısı

ϕ_r : Yoğrulmuş kilin drenajlı sürtünme açısı

K : $1 - \sin \phi_r$ (Normal konsolide killer için)

K : $(1 - \sin \phi_r) \sqrt{AKO}$ (Aşırı konsolide killer için)

λ Yöntemi:

Vijayvergia – Fochts (1972) üniform tabakalanmış kohezyonlu zeminlerde yapılan çok sayıda kazık yükleme deneyi sonuçlarından ortalama shaft direncinin derinliğin bir fonksiyonu olduğunu belirlemiş ve ortalama birim çevre sürtünme değeri aşağıda verilmiştir.

$$f_s = \lambda * (\sigma'_v + 2c_u) \quad (3.7)$$

Burada;

f_s : Kazık shaftı boyunca ortalama sürtünme direnci

λ : Lambda korelasyon katsayısı

σ'_v : Ortalama efektif jeolojik gerilme

c_u : Ortalama drenajsız kayma dayanımı

B : Kazık çapı,

L : Kazık boyu.

Tablo 3.1. Ortalama λ değerleri

Kazığın Zemine Gömülü Boyu (m)	λ
0	0.50
3	0.36
7	0.27
15	0.22
23	0.17
30	0.15
60	0.12

3.1.2. Kohezyonsuz Zeminlerde Kazık Taşıma Gücü

Kohezyonsuz zeminlerde kazıkların taşıma kapasitesi sürtünme ve uç dirençlerinin toplamına eşittir. Sürtünme direnci ve uç direnci zemin sondaj logu ve laboratuvar deneyleri kullanılarak efektif gerilme veya toplam gerilme yöntemlerini esas alan

statik analizle bulunur. FHWA (Reese-O’neill) yöntemi kohezyonlu ve kohezyonsuz zeminlerde zeminin drenajsız kaya dayanımını kullanan toplam gerilme yöntemidir. Yarı ampirik efektif gerilme yöntemi zeminin drenajlı kayma dayanımını dikkate alır, kohezyonlu ve kohezyonsuz zeminler için kullanılabilir.

$$f_s = K \sigma_v' \tan \phi_c \quad (3.8)$$

Burada;

f_s : Kohezyonsuz zemin içerisindeki nihai birim çevre sürtünmesi,

K : Yanal zemin basıncı katsayısı ve korelasyon faktörü,

σ_v' : Hesap derinliğindeki efektif gerilme,

ϕ_c : Beton ile zemin arasındaki sürtünme açısı.

$$q_b = \sigma_v' N_q \quad (3.9)$$

Burada;

q_b : Uç direnç

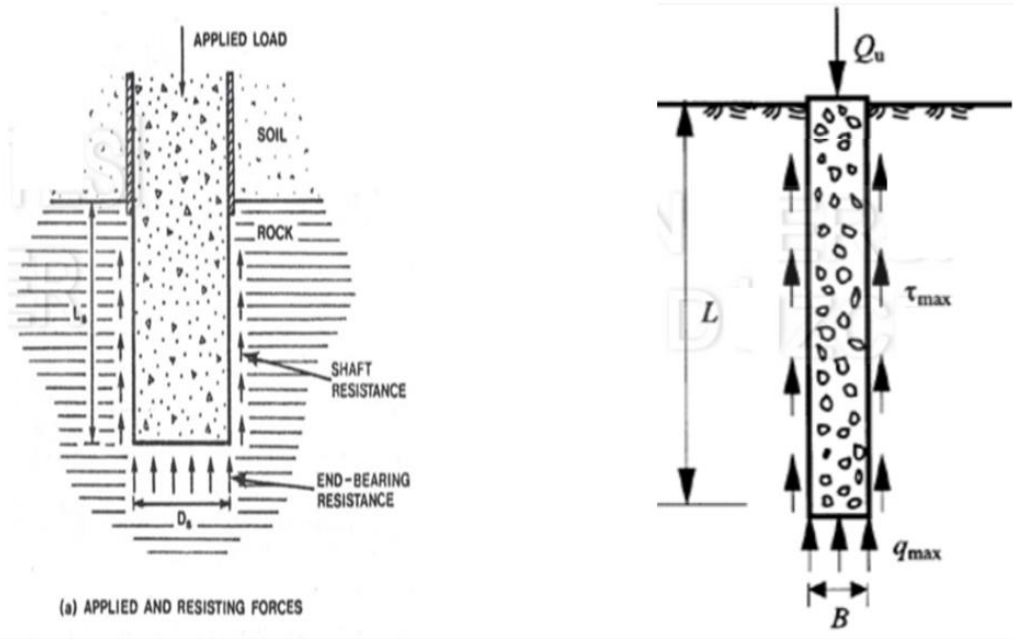
σ_v' : Kazık ucu seviyesindeki efektif gerilme (kazık derinliği kazık çapının 20 katından fazla olduğu takdirde, bu derinlikten sonra efektif gerilmedeki artış dikkate alınmadan sabit olarak dikkate alınır.)

N_q : Taşıma gücü katsayısı zeminin sıklığına ve kazık tipine bağlı olarak tablodan alınır.

3.1.3. Kayaya Soketli Kazıklarda Taşıma Gücü

Kayaya soketli kazıkların taşıma kapasitesinin belirlenmesi için üç farklı yaklaşım yöntemi vardır. Şekil 3.2.'de kazıklarda yük transfer mekanizması gösterilmiştir.

- Kazık kapasitesinin tamamının kazık uç direnci tarafından sağlandığı kabulü,
- Kazık kapasitesinin kazık betonu ile kazık soket boyu çevresindeki kaya yüzeyi arasındaki sürtünme ile sağlandığı kabulü
- Kazık kapasitesi hem kazık ucu hem de kazık cidarındaki sürtünme ile sağlanır. Bu durumda kazık tasarım yükünün belirlenmesi için kazık yükleme deneyi yapılması önerilir.



Şekil 3.2. Kazıklarda yük transfer mekanizması [2]

$$Q_u = Q_s + Q_B \quad (3.10)$$

$$Q_s = \pi B L f_{su} \quad (3.11)$$

$$Q_B = (\pi B^2 q_{max}) / 4 \quad (3.12)$$

Burada;

Q_u : Nihai (toplam) kazık taşıma kapasitesi,

Q_s : Çevre sürtünmesi kazık taşıma kapasitesi,

Q_B : Kazık uç taşıma kapasitesidir.

Kazık uç taşıma kapasitesi:

Birçok araştırmacı tarafından serbest basınç dayanımı ile uç direnci arasında ampirik ve yarı ampirik bağıntılar önerilmiştir. Bunlardan bazıları; Rowe ve Armitage (1987), denklem (3.13) ve Coates (1967), denklem (3.14)'te verilmiştir.

$$q_{maks} = 2.7 \cdot \sigma_c \quad (3.13)$$

$$q_{maks} = 3.0 \cdot \sigma_c \quad (3.14)$$

Kazık çevre taşıma kapasitesi:

Kazıkların çevre sürtünmesiyle kayanın serbest basınç dayanımı arasında birçok araştırmacı tarafından farklı ampirik bağıntılar önerilmiştir. Ampirik bağıntıların genel formu aşağıdaki gibidir.

$$f_{su} = \alpha q_u^\beta \quad (3.15)$$

Burada;

f_{su} : Soketteki nihai sürtünme direnci,

q_u : Kayanın veya betonun serbest basınç dayanımlarından küçük olanı,

α ve β : Yükleme deneylerinden ampirik olarak elde edilen katsayılarıdır.

Tablo 3.2. Çeşitli araştırmacılar tarafından önerilen kazık çevre sürtünme katsayıları [14]

Araştırmacı(lar)	α	β
Horvath and Kenney (1979)	0.21	0.50
Carter and Kulhawy (1988)	0.20	0.50
Williams et al. (1980)	0.44	0.36
Rowe and Armitage (1984)	0.40	0.57
Rosenberg and Journeaux (1976)	0.34	0.51
Gupton and Logan (1984)	0.20	1.00
Reese and O'Neill (1987)	0.15	1.00
Meigh and Wolshi (1979)	0.22	0.60
Horvath (1982)	0.20	0.50

3.2. Arazi Deneyleri ile Kazık Taşıma Gücünün Bulunması

3.2.1 SPT Deneyi ile Kazık Taşıma Gücünün Bulunması

Ülkemizde ve dünyada da oldukça fazla kullanılan, zeminin sıkılığı ve kıvamını belirlemede rol oynayan SPT deneyi ile de kazıklarda taşıma gücü hesabı yapılabilmektedir. SPT sonuçları ile taşıma kapasitesi bulmak için farklı yöntemler mevcuttur.

Aoki-Velloso Yöntemi:

Farklı zemin ve kazık tipleri için aşağıdaki eşitliklerin kullanılmasını öngörmüştür.

$$q_b = (K/F_1) N_b P_a \quad (3.16)$$

$$q_{si} = (\alpha K / F_2) N_{si} P_a \quad (3.17)$$

Burada;

K : Zemin cinsine bağlı ampirik formül

F_1 ve F_2 : Kazık tipine bağlı ampirik formül

α : Zemin tipine bağılı çevre direnci faktörü

N_b :3 SPT N değerinin ortalaması

N_{si} : N_b 'yi hesaplamakta kullanılan 3 SPT N değeri hariç olmak üzere İ'inci tabanın ortalama N değerleri

P_a : Referans gerilme değeri 100 kPa.

K, α , F_1 ve F_2 değerleri Tablo 3.3.'te verilmiştir.

Tablo 3.3. K, α , F_1 ve F_2 değerleri [1]

Kazık Tipi	F_1	F_2	Zemin Tipi	K	α (%)
Franki kazık	2.5	5	Kum	10	1.4
Çelik kazık	1.75	3.5	Siltli kum	8	2
Prekast Betonarme kazık	1.75	3.5	Killi siltli kum	7	2.4
Fore kazık	3.0- 3.5	6.0- 7.0	Killi kum	6	3
			Siltli killi kum	5	2.8
			Silt	4	3
			Kumlu silt	5.5	2.2
			Killi kumlu silt	4.5	2.8
			Killi silt	2.3	3.4
			Kumlu killi silt	2.5	3
			Kil	2	6
			Kumlu kil	3.5	2.4
			Kumlu siltli kil	3	2.8
			Siltli kil	2.2	4
			Siltli kumlu kil	3.3	3

Reese-O'Neill Yöntemi:

Kumdaki kazıların uç direnci için aşağıda verilen ampirik bağıntının kullanılmasını önermiştir.

$$q_b = 0.6 N P_a < 45 P_a \quad (3.18)$$

Burada;

P_a : Referans gerilme değeri 100 kPa

SPT N:Kazık ucundan 2 çap mesafedeki ortalama düzeltilmiş N değeri

$q_b : 0.06 N (MP_a < 45 MP_a)$

Uç direncin 45 MPa ile kısıtlanmasının nedeni, yükleme deneylerinde bu değer üzerinde bir değer bulunmamasıdır. Büyük çaplı fore kazıklarda oturmayı kısıtlamak üzere aşağıda verilen azaltılmış değer kullanılması önerilmiştir.

$$q_{b,r} = 1.25(B_R/B_b)q_b \quad (B_b > 1.25 B_R) \quad (3.19)$$

Burada;

$q_{b,r}$:Azaltılmış uç direnç

B_R :Referans boy=1 m

B_b :Kazığın taban çapı

Bu eşitlik kazığın 4,6 metre uzunluğundan az ve çapı 610 mm'den az kazıklar için kullanılmamasını önermiştir. Kumdaki kazıkların birim çevre direnci için spt N değerine bağlı bir bağıntı önermemiştir.

3.2.2 CPT Deneyi ile Kazık Taşıma Gücünün Bulunması

CPT deneyi yapım şekli, konik uçlu bir borunun zemin içerisine sabit bir hızla itilerek yapılması esasına dayanır. Kazık imalatına benzer bir metot olduğu için daha güvenilir bir yöntemdir. Canadian Geotechnical Society tarafından kohezyonsuz (iri daneli) zeminler için hesaplama yapılabilir. Navfac yöntemi ise gevşek-sıkı kum ve siltler için en uygun sonuçları vermekle birlikte çok sıkı kum ve çakıllar için qc yanıltıcı değerler verebilir. Kohezyonlu zeminlerde ise FHWA yöntemiyle hesaplama yapılabilmektedir.

Canadian Geotechnical Society:

$$q_{ult} = q_{cone} \cdot A_p + f_c \cdot A_s \quad (3.20)$$

Burada;

q_{ult} : Nihai taşıma gücü

q_{cone} : CPT tesinde ölçülen uç direnç

A_p : Kazık en kesit alanı

f_c : Cpt testinde ölçülen çevre sürtünme direnci.

A_s : Çevre yüzey alanı.

Bulunan değer güvenli taşıma kapasitesi için 2-3 gibi bir sayıya bölünebilir.

Navfac Yöntemi:

$$q_{b \text{ ult}}=q_c \quad (3.21)$$

Burada;

$q_{b \text{ ult}}$: Çakma kazıklarda nihai uç direnç,

q_c : Koni direnci

(Kazık çapının 10 katına kadar derinlikte granüler zemine soketli olmak şartıyla)

$$q_{s \text{ ult}}=f_s \quad (3.22)$$

Burada;

$q_{s \text{ ult}}$:birim kazık sürtünmesi;

f_s :koni sürtünmesi

$q_{b \text{ all}}$ ve $q_{s \text{ all}}$ için 3 emniyet katsayısı kullanılır. Fore kazıklarda ise yukarıdaki değerlerin yarısı kullanılır.

FHWA Yöntemi:

Kohezyonlu zeminlerde Coleman ve Arcement (2002), birim çevre sürtünmesi için aşağıdaki (3.23) denklemini önermiştir.

$$f_s=\alpha \cdot c_u \quad (3.23)$$

$$\alpha:56.2/ c_u(\text{kN/m}^2) \quad (25 \text{ kN/m}^2 < c_u < 150 \text{ kN/m}^2)$$

Kohezyonlu zeminlerde Coleman ve Arcement (2002), kazıkların uç direnci için aşağıdaki (3.24) denklemini önermiştir.

$$q_b=0.15 q_c \quad (3.24)$$

Granüler zeminlerde Coleman ve Arcement (2002), kazıkların uç direnci için aşağıdaki (3.25) denklemini önermiştir.

$$q_b=0.375 q_c \quad (3.25)$$

Buradaki q_c değeri kazık alt ucundan 3 çap altındaki ortalama q_c değeridir.

4. KAZIK YÜKLEME DENEYİ

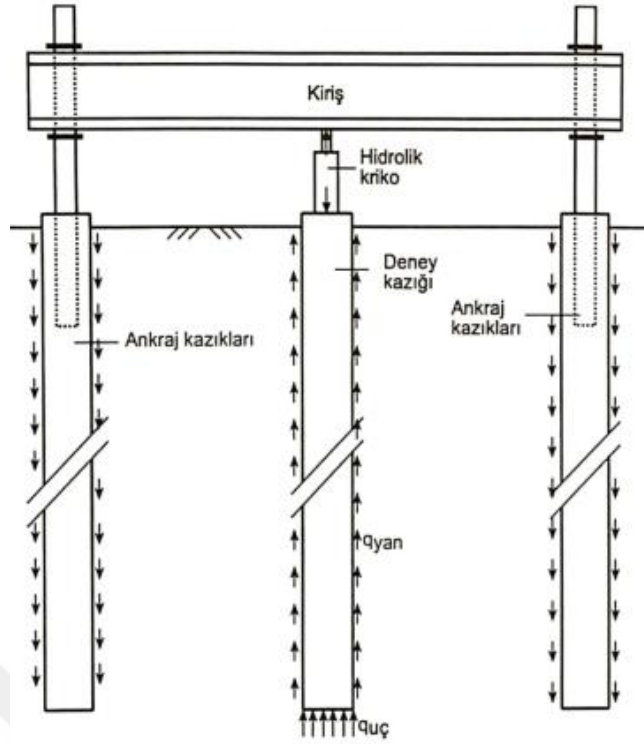
Derin temel metotlarından biri olan kazıkların, zemin içerisinde homojen olarak bulunmaması nedeniyle teorik ve ampirik formüllerle yapılan hesaplar doğru sonuçlar vermeyebilir. Büyük çaplı veya hassas yapılar inşa edilecek projelerde kazığın taşıyabileceği nihai yük ve nihai oturmayı en güvenli ve doğru biçimde belirlemek için kazık yükleme deneylerine başvurulması gerekmektedir. Yapılan kazık yükleme deneyleri sonucunda güvenlik sayılarında bir azalma söz konusu olmuş ve bu sayede hem kazık boyunda kısılma hem de sayısında azaltma yapılarak ekonomi sağlanmıştır. Kazık yükleme deneylerinin amacı aşağıdaki gibi sıralanmaktadır:

- Tekil kazık ya da kazık gruplarının yük kapasitesini belirlenmesi,
- Tasarım yüklerine göre tekil kazığın oturma değerinin belirlenmesi,
- İmal edilen kazığın göçme yükünün belirlenmesi,
- İmal edilen kazığın yük taşıma mekanizmasında çevre sürtünmesi ve uç mukavemetinin katkılarının belirlenmesi,
- İşverenin yapılan imalatlar sonucunda tatmin edilebilmesi.

4.1. Statik Eksenel Basınç Deneyleri

Statik yükleme deneyi, kazığın belirli süreye bağlı kalarak kademeli yüklemeler karşısında meydana gelen deplasmanı ölçme esasına dayanan bir deneydir. Kanıt deneyleri ve göçme deneyleri olarak ikiye ayrılır. Kanıt deneyleri ilk etapta tasarlanan kazığın taşıma kapasitesini sağlayıp sağlamadığına bakılır ve yaklaşık olarak taşıma kapasitesinin 1.5-2.0 katına kadar yükleme yapılır. Göçme deneylerinde ise kazık göçene kadar yükleme yapılır. Kazığı göçme yükü, ufak çaplı yük artırımlarında veya yük artırımını durduğunda kazıkta yüksek deplasmanların meydana geldiği yük olarak tanımlanabilir [2].

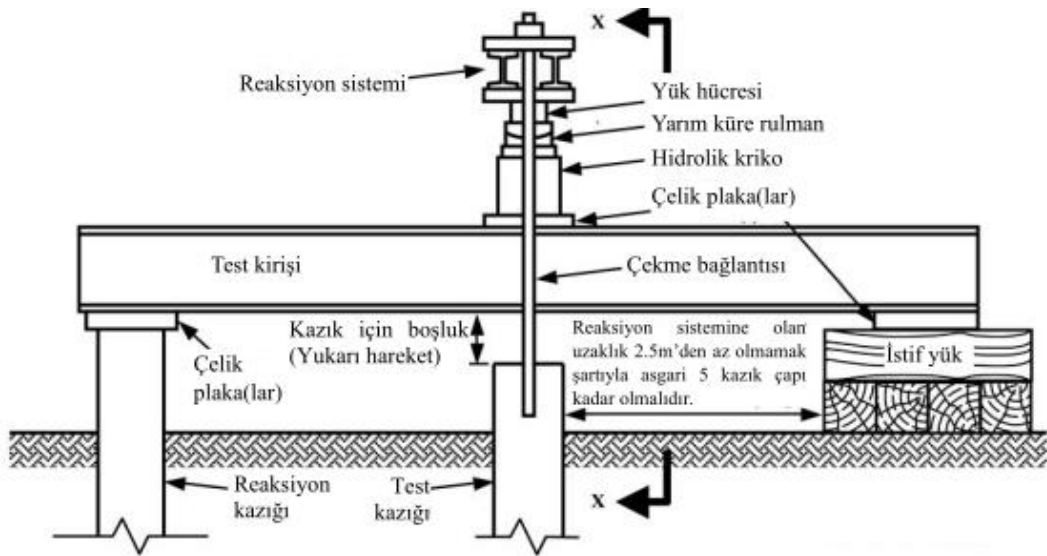
Statik eksenel basınç deneyinde deney kazığına uygulanacak yük için reaksiyon kazıkları kullanılır. 4 adet reaksiyon kazığı ve reaksiyon kirişiyle deney kazığına ölü yük uygulanır. Yavaş adımlı yükleme deneyi (SM), hızlı adımlı yükleme deneyi, sabit penetrasyon oranlı yükleme deneyi ve çevrimli yükleme deneyi olarak sıralanabilir. [25]



Şekil 4.1. Aksel basıncı kazık yükleme deneyi düzeni [25]

4.2. Statik Aksel Çekme Deneyleri

Kazıkların aksel çekme kapasitelerini belirlemek için uygulanır. Genellikle rüzgâr ve deprem kuvvetlerine karşı bu çekme deneyleri kullanılır. Kazıklı temellerde, yüksek katlı ve özel yapılarda, Yeraltı suyunun olduğu ve suyun kaldırma etkisiyle çekme dayanımını belirlemede oldukça önemli bir deneydir. [27]



Şekil 4.2. Aksel çekme kazık yükleme deneyi düzeni [27]

4.3. Kazık Yükleme Deneyleri ile Kazık Kapasitesinin Hesaplanması

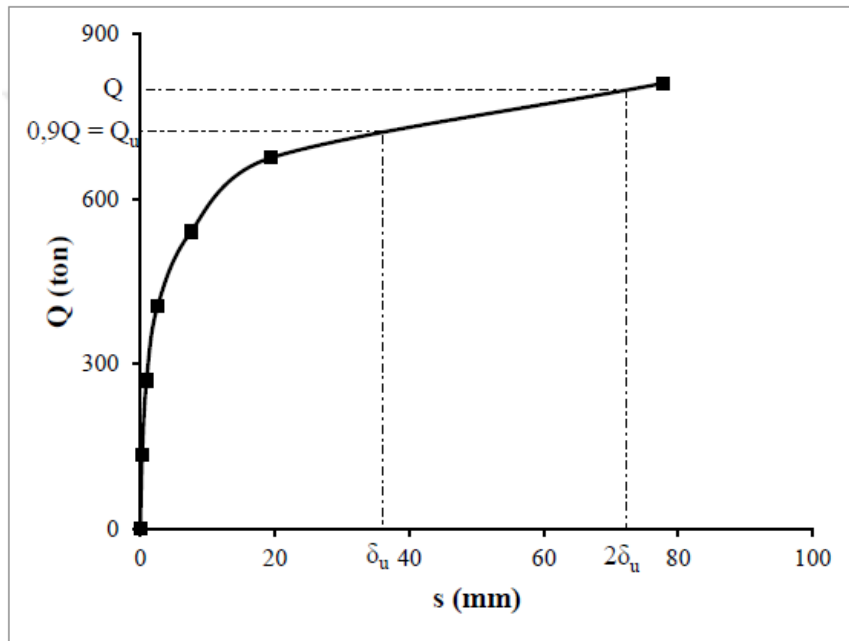
Kazık yükleme deneyleri sonuçlarında genellikle yük deplasman eğrileri elde edilir. Bu eğriler farklı yöntemler ile değerlendirilerek, kazığın taşıyabileceği en büyük yük (göçme yükü) ve kazığın güvenle taşıyabileceği yük tayin edilebilir. Literatürde kazık yükleme deneylerinden taşıma kapasitesi belirlenmesi ile ilgili farklı yöntemler mevcuttur. Kazık yükleme deneyleri sırasında her yük kademesine gelen oturma miktarı ölçülerek kazığın yük-oturma grafiği hazırlanır. Bu yöntemlerden bazıları şu şekilde sıralanabilir.

4.3.1. Terzaghi Yöntemi

Terzaghi'ye göre kazık göçme yüküne ulaşmadan güvenli yükün 2 katına kadar yük taşıyabilmelidir ve güvenli yükün %50 fazlası altındaki yükte kalıcı oturma, 0.25 mm/ton dan fazla olmamalıdır. [24]

4.3.2. Brinch Hansen Yöntemi

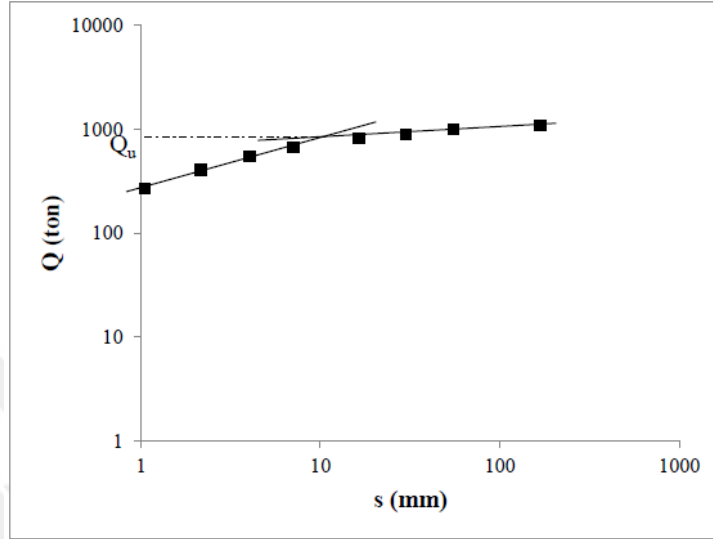
Bu yöntemde ilk olarak yük-oturma eğrisi çizilir. Göçme yükü değeri ise deneme yanılma ile belirlenir. Bir yük değeri, o yük değerinin %90 oranındaki yüke denk gelen oturma değerinin iki katı oturmaya neden oluyorsa, bu yük göçme yükü olarak tanımlanır [28]. Şekil 4.3'teki eğri üzerinde göçme yükü ifadesi görülmektedir.



Şekil 4.3. Brinch Hansen %90 kriteri [28]

4.3.3. De Beer Yöntemi

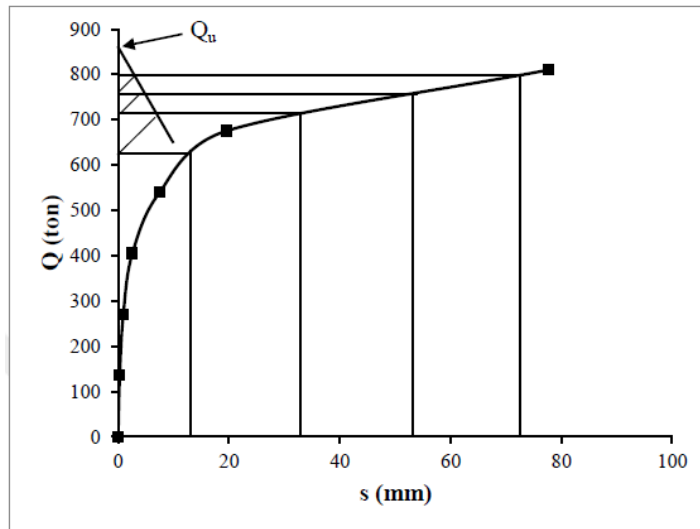
Şekil 4.4'te görüldüğü gibi kademeli olarak yüklenen ve elde edilen oturma sonuçları logaritmik olarak gösterilir. Oturma değerleri ise iki doğru olarak birleştirilir ve doğrunun kesiştiği yer kazığın göçme yükünü olarak kabul edilir. [24]



Şekil 4.4. De Beer Yöntemi [24]

4.3.4. Mazurkiewicz Yöntemi

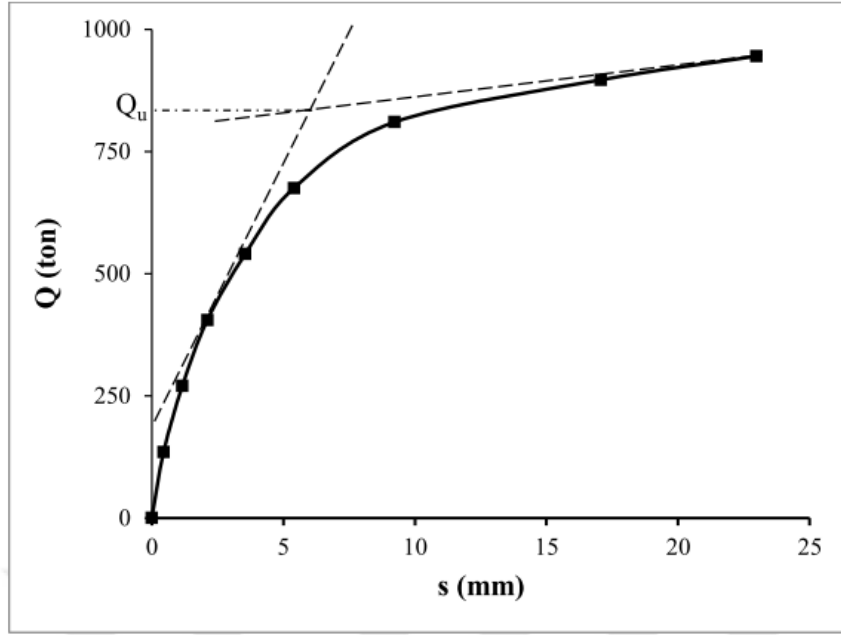
Mazurkiewicz yönteminde oturma eksenini eşit parçalara bölünür ve yük-oturma eğrisini kestiği noktalardan yük eksenine doğrular çekilir. Bu doğruların yük eksenini kestiği noktalardan 45° açıyla doğrular çizilir ve oturma eksenine paralel çizilen doğrularla kesiştirilir. Keşisen noktaların birleştirilmesiyle oluşan doğrunun yük eksenini kestiği noktanın göçme yükü olduğu kabul edilir. [29]



Şekil 4.5. Mazurkiewicz Yöntemi [29]

4.3.5. Teğet Yöntemi

Teğet yöntemine göre göçme yükü yük-oturma eğrisi üzerinde çizilen iki doğru yardımıyla belirlenir. Eğri üzerinde başlangıç ve sonlanma kısımlarını temsil eden elastik kısım ve plastik kısım için iki teğet doğrusu çizilir. Bu doğruların kesişim noktası teğet yöntemine göre göçme yükünü verir (Şekil 4.6).



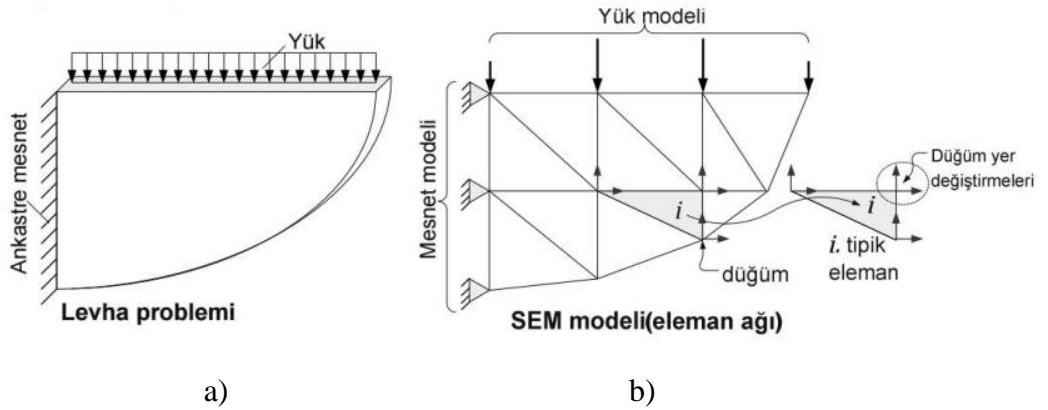
Şekil 4.6. Teğet Yöntemi [30]

Teğet yöntemine göre göçme yükünün elde edilebilmesi için kazığın plastik oturmasını gerçekleştirmiş olması gerekmektedir. Bu nedenle deneyde uygulanan maksimum yük değeri elde edilen göçme yükü değerini doğrudan etkiler [30].

5. SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ

Sonlu Elemanlar Yöntemi (SEY), çeşitli mühendislik problemlerine kabul edilebilir bir yaklaşımla çözüm arayan bir sayısal çözüm yöntemidir. Mühendislik biriminde karmaşık problemlerin çözümü için oldukça sık kullanılmış olan ve esası enerji prensiplerine dayanan yöntem, özellikle son kırk yılda bilgisayarların hızlı gelişine paralel olarak oldukça büyük bir hızla gelişmiş ve popüler bir hale gelmiştir. İlk etkin kullanımı 1950’li yıllarda inşaat mühendisliği alanında olan yöntemin uçak mühendisliği, nükleer mühendislik, elektromanyetik alanlar ile, katı cisim mekaniği, akışkanlar mekaniği, gaz dinamiği, ısı transferi, titreşim problemleri, elektrik akımları, zemin problemleri gibi çeşitli alanlarda uygulamaları mevcuttur. Sonlu elemanlar yönteminde temel mantık, en ilkel anlatımla, basit bloklardan oluşan karmaşık bir objenin mümkün merteye küçük ve kolay ifade edilebilir birimlere ayrılmasıdır [31].

Şekil 5.1.’de mekanik bir problem a), çözüme hassas olarak ulaşmak amacıyla sonlu elemanlara b) ayrılmıştır. Mesnet modeli, eşdeğer yük modeli ve levha eleman ağı (mesh) oluşturulmuştur. Böylece levhanın gerilme dağılımı ve hangi noktasının ne kadar yer değiştirdiği yaklaşık olarak bilinebilecektir.



Şekil 5.1. Örnek problem için sonlu eleman modeli [32]

a) Mekanik bir problem b) Çözüme hassas olarak ulaşmak amacıyla sonlu elemanlara ayrılmış

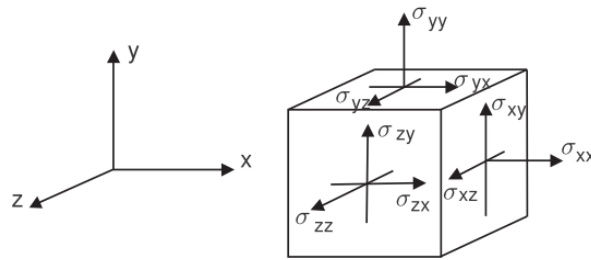
5.1. Sonlu Elemanlar Yazılımları

Diğer mühendislik problemlerinin çözümünde olduğu gibi Geoteknik problemlerin çözümünde de kullanılan bazı hesap programları mevcuttur. Tez kapsamında, PLAXIS 2D CONNECT Edition V20 ve PLAXIS 3D CONNECT Edition V20 programları

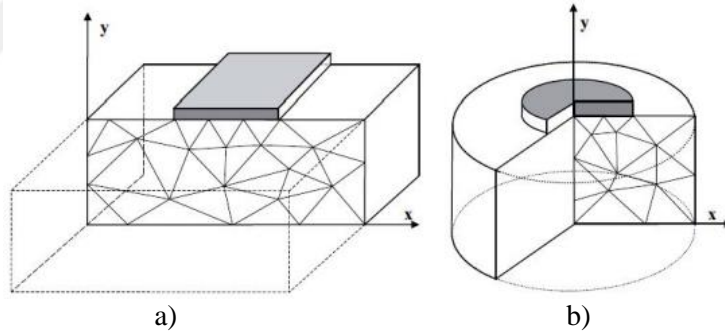
kullanılarak kazıklar ve zemin hem iki boyutlu hem de üç boyutlu olarak modelleneyecektir.

5.2. Modelleme

Plaxis yazılımı hem iki boyutlu hem de üç boyutlu modelleme imkanı tanımaktadır. Bu modellemeler farklı kullanıcı ara yüzüne sahip farklı program modülleri ile yapmaktadır. İki boyutlu modelleme tekniğinde düzlem şekil değiştirme ve eksenel simetri seçenekleri ile kullanıcıya modelleme seçeneği sunmaktadır. Üç boyutlu modelleme tekniğinde ise hacimsel elemanlar ile modelleme yapılabilmektedir. [33]



Şekil 5.2. Plaxis yazılımında gerilme bileşenlerinin pozitif yönleri[31]



Şekil 5.3. Plaxis yazılımında şekil değiştirme modelleri
a) düzlem şekil değiştirme modeli b) eksenel simetri modeli [31]

Düzlem şekil değiştirme modelinde düzleme dik olan belirli bir uzunluk için hesaplama yapılır. Model düzlemine dik yöndeki yer değiştirmenin ve gerilmelerin sıfır (0) olduğu kabul edilir. Eksenel simetri modelinde yarıçap doğrultusunda özdeş olduğu varsayılan simetrik bir model biçimi hesaba alınır. Yazılımdaki y-koordinatı merkez kabul edilerek pozitif yönde herhangi bir x noktasına (yarıçapa) kadar modelleme yapılır. Düzlem deformasyon modelinin aksine eksenel simetri model, sonu olan bir üç boyutlu model davranışı sergiler [31].

6. MATERYAL METOT

Kazık taşıma gücünün hesaplanması ile ilgili farklı türden çalışmalar mevcuttur. Bu çalışmalar genellikle teorik formüller kullanılarak yapılmıştır. Taşıma kapasitesi hesabı, sonlu elemanlar yöntemi ile de hesaplanabilmektedir. Bu sonuçlar kazık yükleme sonuçları ile de bulunabilir.

Bu bölümde, ilk olarak yapılan deneysel çalışmalar anlatılmış olup ilerleyen bölümlerde yapılan sayısal analizlerden bahsedilmiştir. Kazık yükleme deneyi sonuçlarına göre sonlu elemanlar yöntemiyle geri analizler yaparak kazık tasarım parametreleri belirlenmiştir. Aynı bölgeye ait farklı kazık boyları için de hesap yapılarak yük deplasman eğrileri oluşturulmuştur. Sonrasında ise bu parametrelerle, yaklaşık yöntemlerde kullanılarak nihai taşıma gücü hesaplanmıştır. Kazık yükleme deneyi sonuçları ise grafiğe en uygun yöntemler kullanılarak nihai taşıma gücü hesaplanmıştır. Sonuçlar tablo olarak verilmiştir.

6.1. Deneysel Çalışmalar

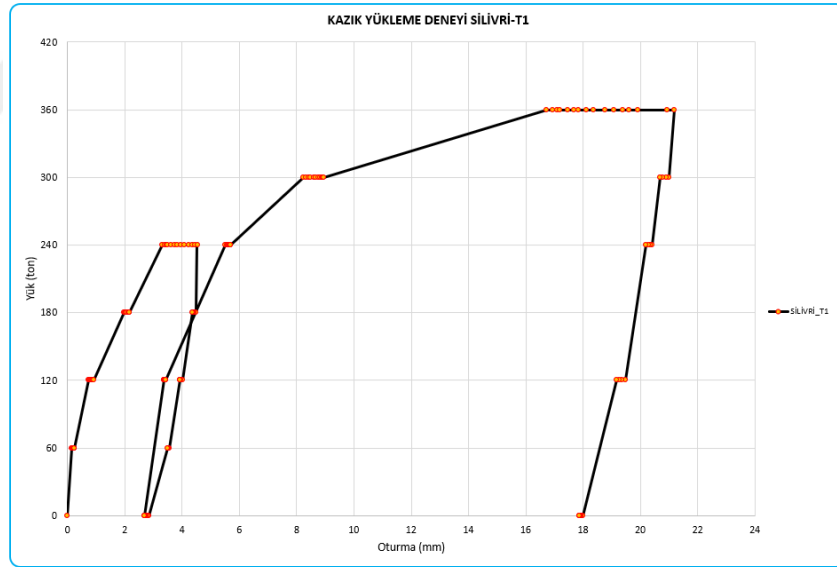
İstanbul İl'inde farklı konumlarda ve farklı zemin özelliklerine sahip 6 farklı kazık yükleme deneyi yapılmıştır. Uygun sonlu elemanlar modelleme yöntemlerini kullanarak hesaplamalar yapılmış ve yapılan deneylerin sonuçları ile kıyaslanmıştır. Hesaplamalar hem iki boyutlu hem de üç boyutlu olarak yapılmıştır. Kazık yükleme deney sonuçları ile sonlu elemanlar yöntemi sonuçlarına göre uygun modelleme yöntemi araştırılmıştır. Sahada yapılan kazık yükleme deneyleri ile ilgili genel bilgiler Tablo 6.1.'de verilmiştir [34].

Tablo 6.1. Sahada yapılan kazık yükleme deney bilgileri [34]

Deney No	Deneilerin Yapıldığı Yerler	Kazık Çapı (cm)	Donatı Durumu	Uzunluk (m)
1	İstanbul- Silivri-1	80	Donatılı	16
2	İstanbul- Silivri-2	80	Donatılı	16
3	İstanbul- Silivri-3	80	Donatısız	16
4	İstanbul- Zeytinburnu-1	100	Donatısız	14
5	İstanbul- Zeytinburnu-2	100	Donatılı	20
6	İstanbul- Gaziosmanpaşa	80	Donatılı	15

6.1.1. Sahada Yapılan 1.No.'lu Kazık Deneyi

İstanbul İl'i Silivri İlçesi, Alipaşa Mahallesiinde 3 adet kazık yükleme deneyi yapılmıştır. 1 no'lu 80 cm çapında, 16.0m boyundaki deney kazığı üzerinde, yük altında kazık davranışının belirlenebilmesi amacı ile 1 adet aksenal basınç deneyi gerçekleştirilmiştir. İlgili kazıklar için proje yükü 240 ton olarak verilmiş, kazık yükleme deneyi proje yükünün %250' si olan 600 ton olarak planlanmıştır. Ancak 360 ton yüke ulaşıldığında çekmenin artması nedeniyle yük kaybı başlamıştır. Bir müddet devam edilmesinden sonra 360 tona tekrar ulaşılmış ve aynı yükte 12 saat beklenmiş ve bu yük en büyük yük olarak kabul edilmiştir. Deney sırasında deney kazığının etrafında bulunan 4 adet fore kazık çekme kazığı olarak kullanılmıştır. Bu kazıklardan alınan reaksiyon kuvveti ile deney kazığına basınç yükü aktarılmıştır. Çekme kazıkları da deney kazıklarıyla aynı çapta olup 26.0m boyunda imal edilmiştir. Basınç kazıkları donatılı olarak imal edilmiştir.[34]. 1.No.'lu deney kazığına ait yük-oturma grafiği Şekil 6.1.'de verilmiştir.



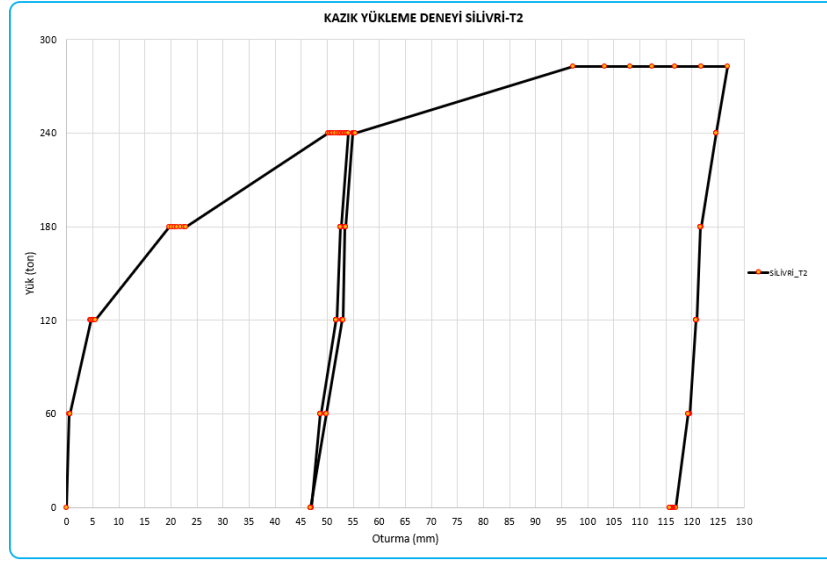
Şekil 6.1. Sahada yapılan 1.No.'lu deney kazığına ait yük-oturma grafiği [34]

6.1.2. Sahada Yapılan 2.No.'lu Kazık Deneyi

İstanbul İl'i Silivri İlçesi, Alipaşa Mahallesiinde gerçekleştirilen 3 adet kazık yükleme deneyinden ikincisi olan 2 no'lu deney kazığı üzerinde, yük altında kazık davranışının belirlenebilmesi amacı ile 1 adet aksenal basınç deneyi gerçekleştirilmiştir. 80 cm çapında, 16.0m boyundaki deney kazığı üzerinde yükleme deneyi gerçekleştirilmiştir. Kazıklar için proje yükü 240 ton olarak verilmiş, kazık yükleme deneyi proje yükünün

%250' si olan 600 ton olarak planlanmıştır. Deney sırasında, deney kazığının etrafında bulunan 4 adet fore kazık çekme kazığı olarak kullanılmıştır. Bu kazıklardan alınan reaksiyon kuvveti ile deney kazığına basınç yükü aktarılmıştır. Çekme kazıkları da deney kazıklarıyla aynı çapta olup 25.0m boyunda imal edilmiştir. Basınç kazığı donatılı olarak imal edilmiştir.

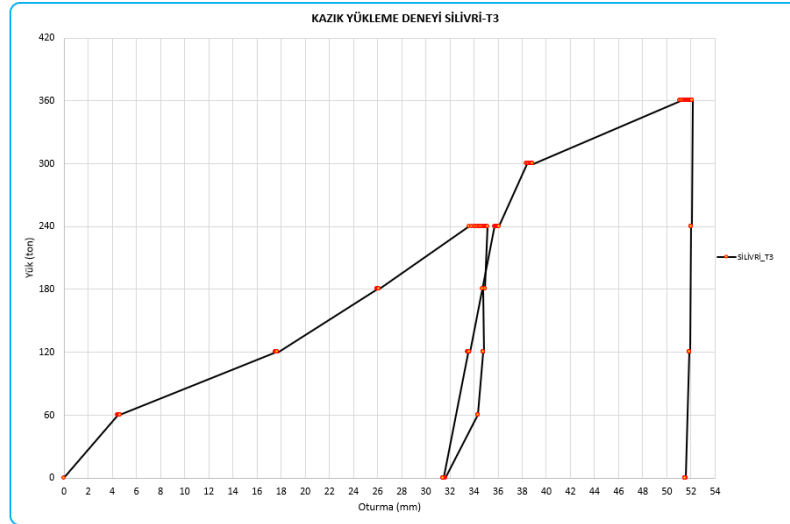
Deney kazığına yük 2 döngüde yüklenmiştir. Birinci döngüde proje yükü 100% olan 240 tona kadar 4 aşamada yükleme yapılmıştır. Her aşamada bir saat tasarım yükünde 6 saat beklenme süresi belirlenmiştir. Deplasmanların 0,25 mm/saat oturma şartı sağlanmadığı için; 50% de 2 saat, 75% de 3 saat uzatma yapılarak deplasman 0,25 mm/saat şartı sağlanıncaya kadar beklenerek yükleme yapılmıştır. Tasarım yükü 100% de olan 240 ton yükte 6 saat bekleme sonunda boşaltmaya geçilmiştir. Boşaltma işlemi 4 kademede ve (%0 hariç) her kademede 30 dakika beklenerek yapılmıştır. Yük sıfıra inince 1 saat beklenerek tekrar yüklemeye geçilmiştir. Yükleme yapılarak tasarım yükü 100% kademesi olan 240 tona kadar 30'ar dakika beklenerek yükleme yapılmış ve tasarım 100% yükünde deplasman 0,25 mm/saat şartı sağlanmadığı için 1 saat daha uzatılarak yükleme yapılmıştır. Bu yükten sonra %125 yük kademesi olan 300 ton yüke ulaşmak için çıkılmak yükleme yapılmış ancak 283 tonda (% 118) kazık göçmeye başlamıştır ve 1 saat sonunda kazık çapının 15% ($80 \times 15 / 100 = 12$ cm.) şartı kadar oturmasına izin verilmiş ve kazığın göçme yükü 283 ton olarak belirlenmiştir. Bu sürenin sonunda 30'ar dakikalık periyotlarla yük boşaltılmış olup, yük sıfıra inince 1 saat beklenerek son okumalar alınmıştır. Komparatör saatlerinin yerleştirildiği profillerin bir kenarı sabit, diğer kenarı kayıcı olacak şekilde mesnetlendirilmiştir. Profilin sehpa ayakları deney kazığına 2 m., referans kazıklarına 1m. uzakta zemine sabitlenmiştir. Yükleme ve bekleme sırasında standartlarda belirtilen aralıklarla okumalar alınmıştır. Deplasmanların 0.25 mm/saat oturma kriterini sağladığı da görülerek yük boşaltma işlemine geçilmiştir. Deney toplam olarak 24 saat sürmüştür. 2.No.'lu deney kazığına ait yük-oturma grafiği Şekil 6.2.'de verilmiştir [34]



Şekil 6.2. Sahada yapılan 2.No.'lu deney kazığına ait yük-oturma grafiği [34]

6.1.3. Sahada Yapılan 3.No.'lu Kazık Deneyi

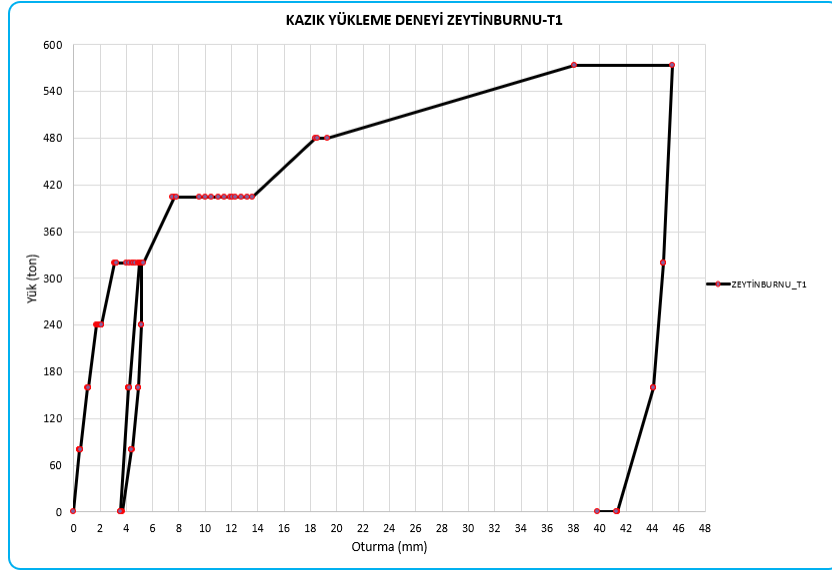
İstanbul İl'i Silivri İlçesi, Alipaşa Mahallesiinde 3 adet kazık yükleme deneyi yapılmıştır. 3.No'lu deney kazığı üzerinde, yük altında kazık davranışının belirlenebilmesi amacı ile 1 adet aksenal basınç deneyi gerçekleştirilmiştir. 80 cm çapında, 16 m boyundaki deney kazığı üzerinde yükleme deneyi gerçekleştirilmiştir. Kazıklar için proje yükü 240 ton olarak verilmiş, kazık yükleme deneyi proje yükünün %250' si olan 600 ton olarak hedeflenmiştir ancak 360 ton yüke geldiği zaman diğer kazıklardaki çekmenin artması nedeniyle yük kaybı başlamıştır. Bir müddet uğraştıktan sonra bu yüke tekrar ulaşılmış ve bu yük altında 12 saat beklenmiş ve bu yük maksimum yük olarak kabul edilmiştir. Deney sırasında, deney kazığının etrafında bulunan 4 adet fore kazık (1, 2, 3 ve 4 no.'lu kazıklar) çekme kazığı olarak kullanılmıştır. Bu kazıklardan alınan reaksiyon kuvveti ile deney kazığına basınç yükü aktarılmıştır. Çekme kazıkları Ø 80 cm çapında 25 m boyunda donatılı, basınç kazığı ise Ø 80 cm çapında 16 m boyunda donatısız imal edilmiştir. 3.No.'lu deney kazığına ait yük-oturma grafiği Şekil 6.3.'de verilmiştir [34].



Şekil 6.3. Sahada yapılan 3.No.'lu deney kazığına ait yük-oturma grafiği [34]

6.1.4. Sahada Yapılan 4.No.'lu Kazık Deneyi

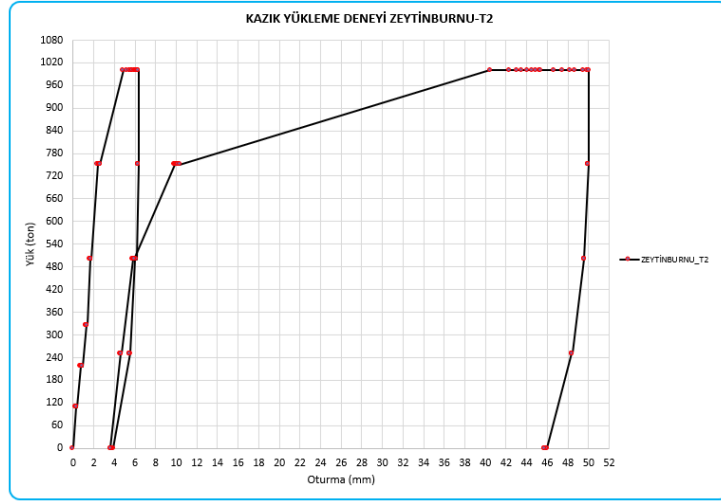
İstanbul İl'i Zeytinburnu İlçesi, Sümer Mahallesinde 2 adet kazık yükleme deneyi yapılmıştır. 4.No'lu deney kazığı üzerinde, yük altında kazık davranışının belirlenebilmesi amacı ile 1 adet eksenel basınç deneyi gerçekleştirilmiştir. Deney için çakılan 100 cm çapında,14 m boyundaki fore kazık üzerinde yükleme deneyi gerçekleştirilmiştir. Kazıklar için proje yükü 320 ton olarak verilmiş, kazık yükleme deneyi proje yükünün % 200'ü olan 640 tona ulaşmak üzere planlanmıştır. Deneyde 573 ton eksenel yüke ulaşılabilmiş olup aşırı deformasyon sebebiyle bu yük altında sabit yükte durulması sağlanamamıştır. Deney sırasında deney kazığının etrafında bulunan 4 adet kazık çekme kazığı olarak kullanılmıştır. Bu kazıklardan alınan reaksiyon kuvveti ile deney kazığına basınç yükü aktarılmıştır. Çekme kazıkları da deney kazıklarıyla aynı boyda ve çapta imal edilmiştir. Basınç kazığı donatısız olarak imal edilmiştir. 4.No.'lu deney kazığına ait yük-oturma grafiği Şekil 6.4.'de verilmiştir [34].



Şekil 6.4. Sahada yapılan 4.No.'lu deney kazığına ait yük-oturma grafiği [34]

6.1.5. Sahada Yapılan 5.No.'lu Kazık Deneyi

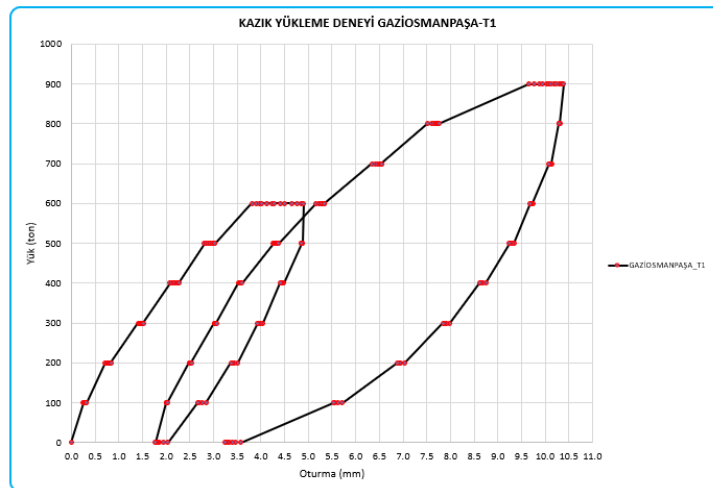
İstanbul İl'i Zeytinburnu İlçesi, Sümer Mahallesinde 2 adet kazık yükleme deneyi yapılmıştır. 5.No'lu deney kazığı üzerinde, yük altında kazık davranışının belirlenebilmesi amacı ile 1 adet aksenal basınç deneyi gerçekleştirilmiştir. Deney için çakılan 100 cm çapında, 20 m boyundaki fore kazık üzerinde yükleme deneyi gerçekleştirilmiştir. Kazıklar için 1500 tona kadar yükleme yapılması istenmiştir fakat bu yüke ulaşamamıştır. Deneyde en fazla 1000 ton yük verilebilmiş ancak aşırı deformasyon sebebiyle bu yükün sabitlenmesi söz konusu olamamıştır. Bu yük altında 12 saat beklenmiştir. Deney sırasında deney kazığının etrafında bulunan 4 adet kazık çekme kazığı olarak kullanılmıştır. Bu kazıklardan alınan reaksiyon kuvveti ile deney kazığına basınç yükü aktarılmıştır. Çekme kazıkları da deney kazıklarıyla aynı boyda ve çapta imal edilmiştir. Basınç kazığı donatılı olarak imal edilmiştir. 5.No.'lu deney kazığına ait yük-oturma grafiği Şekil 6.5.'de verilmiştir[34].



Şekil 6.5. Sahada yapılan 5.No.'lu deney kazığına ait yük-oturma grafiği [34]

6.1.6. Sahada Yapılan 6.No.'lu Kazık Deneyi

İstanbul İl'i Gaziosmanpaşa İlçesi, Sarıgöl Merkez Mahallesiinde 1 adet kazık yükleme deneyi yapılmıştır. 6.No'lu deney kazığı üzerinde, yük altında kazık davranışının belirlenebilmesi amacı ile 1 adet aksenal basınç deneyi gerçekleştirilmiştir. Deney için imal edilen 80 cm çapında, 15 m boyundaki fore kazık üzerinde yükleme deneyi gerçekleştirilmiştir. Kazıklar için 1200 tona kadar yükleme yapılması istenmiştir. Çekme kazıklarındaki çekme hareketi fazla olduğu için bu yüke ulaşamamıştır. Deneyde en fazla 900 ton yük verilebilmiştir. Bu yük altında 6 saat beklenmiştir. Son okumalarda deplasman şartı sağlanmıştır. Deney sırasında 4 adet kazık çekme kazığı kullanılmıştır. Bu kazıklardan alınan reaksiyon kuvveti ile deney kazığına basınç yükü aktarılmıştır. Basınç kazığı donatılı olarak imal edilmiştir. Şekil 6.6.'da yük-oturma grafiği verilmiştir [34].

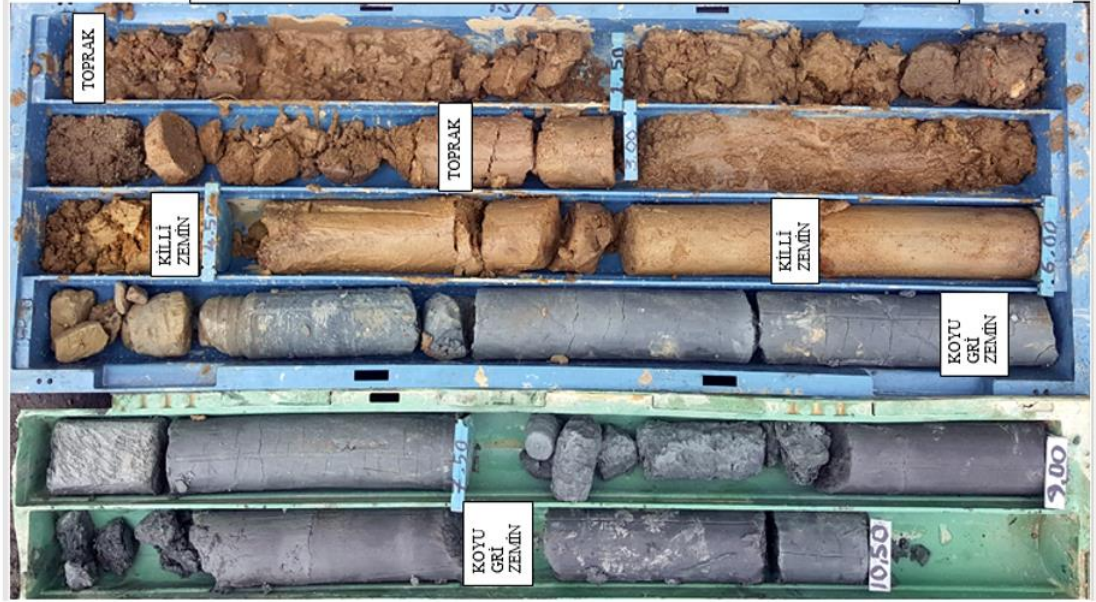


Şekil 6.6.Sahada yapılan 6.No.'lu deney kazığına ait yük-oturma grafiği [34]

6.2. Sayısal Analizler

6.2.1. Silivri İlçesinde Yapılan Deney Kazıklarına Ait Modelleme

Deney yapılmış olan bölgenin zemin etüt raporundan ve sondaj sırasında tutulan loglardan idealize zemin profili elde edilmeye çalışılmıştır. Projenin büyüklüğü, zeminin değişken yapısı nedeniyle kazıkların nihai boylarının asgari 3 adet kazık yükleme deneyi ile belirlenmesi öngörülmüştür. Arazinin farklı tipteki zemin kesitlerine göre kazık yükleme lokasyonları belirlenmiş ve deneyler yapılmıştır. Silivri İlçesinde yapılan 3 adet aksel basıncı deneyleri ile ilgili genel arazi zemin profilini temsil eden karot sandığı Şekil 6.7.'de gösterilmiştir. [34] Zemine ait sondaj logları Ek-A'da verilmiştir.



Şekil 6.7. Silivri İlçesinde yapılan deneylerin bulunduğu sahaya ait karot sandığı [34]

Deney alanındaki zemin kesitinde 3 farklı zemin tabakası bulunmaktadır. Zeminin üst tabakasında koyu renkli, su içeriği yüksek ve kil-sil ağırlıklı nebati toprak mevcuttur. Toprak birimin altında, kahverengi siltli-kumlu ve kil içeriği olan katı zemin mevcuttur. Alt tabakada ise koyu gri renkli kömürlü, çok katı kil yer almıştır. Bu killer derinlere doğru kiltaşına dönüşmüştür. Aynı zamanda zemin tabakaları da kendi içinde yerel olarak farklı sıklık ve dayanım özellikleri de göstermiştir. Yeraltı su seviyesi ise 4 metrede görülmüştür. Tablo 6.2'de her bir deneye ait, zemin tabaka kalınlıkları verilmiştir.

Tablo 6.2. 1.2.3.Deneye ait zemin tabaka kalınlıkları [34]

Deney No	Nebati Toprak Kalınlığı (m)	Siltli-Kumlu Kil Kalınlığı(m)	Gri Renkli Katı Kil Kalınlığı(m)	YASS (m)
1. Deney	0-1.0	1.0-9.0	9.0-	4.0
2. Deney	0-6.0	9.0-11.0	11.0-	
3.Deney	0-3.0	3.0-9.0	9.0-	

Arazinin iki ucunda ve ortasında yapılan kazı yükleme deneylerinde kısmen farklı yük ve deplasman sonuçları elde edilmiştir. Arazinin zemin etüt raporuna göre en düşük kotların görüldüğü bölgede dereye yakınlık ve su varlığı nedeniyle zayıf zemin kalınlıkları ve zemin sıkılığı nispeten daha düşüktür. Bu durum deney sonucunda da görülmüştür. Deneylerde kazıklar 283, 360 ve 360 ton yüklerinde göçmüştür. Kazıklarda 20, 50, 120 mm arasında deplasmanlar görülmüştür. Elde edilen kazık yükleme deneyleri, kazık projesi ve yapı yükleri dikkate alınarak uygulanmakta olan kazık projesindeki kazıkların uygulanmasına yönelik birtakım sonuç ve değerlendirmeler ortaya çıkmıştır. [34]

Her farklı deney için idealize zemin profili belirlenmiştir. Kazık yükleme deneyi sonuçları ile uyumlu olacak şekilde zemin/kaya ve kazık parametreleri belirlenmiştir. Belirlenen parametreler Plaxis-2D yazılımında, eksenel simetri model seçeneğiyle sonlu elemanlar yöntemi ile modellenmiştir. Ayrıca modelleme Plaxis-3D sonlu elemanlar yazılımı ile üç boyutlu olarak da yapılmıştır. İki boyutlu ve üç boyutlu analiz sonuçları karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmaya ek olarak da farklı kazık boyları için de hesaplama yapılmış yük-deplasman eğrisi oluşturulmuştur. Sonlu elemanlar yöntemiyle geri analizler yaparak bulunan parametreler yaklaşık yöntemler hesabında kullanılmıştır. Sonuçlar tablo halinde verilmiştir.

6.2.1.1. 1.No.'lu Zemin ve Kazık Modeli

Kazık yükleme deneyi ile kazık taşıma gücü hesabı:

Brinch Hansen yöntemi ile hesap:

Kazık yükleme deneyi sonuçlarının değerlendirme yöntemlerinden biri olan Brinch Hansen yöntemi ile kazık taşıma gücü belirlenmiştir. Nihai yük olarak 360 ton kabul

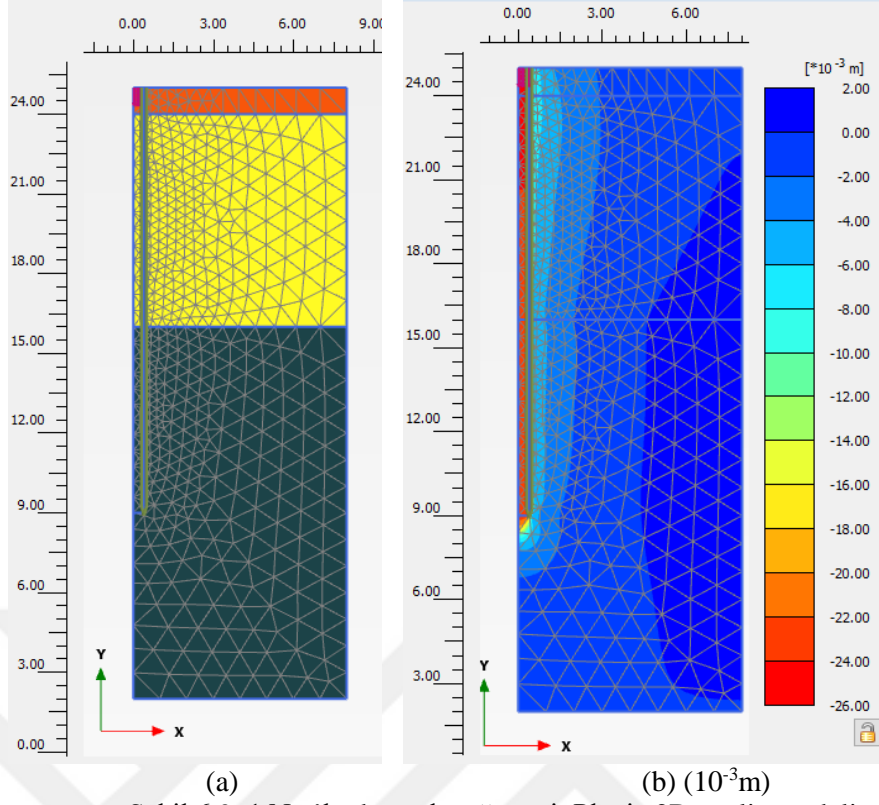
Tablo 6.3 1.No.'lu deney kazığı idealize zemin profili

Zemin Tabakaları Derinlikleri (m)	Zemin	Yeraltı Suyu Seviyesi (Y.A.S.S.)
0.00 – 1.00	Nebati Toprak (az ince çakıllı killi organik toprak)	4.00 m
1.00 – 9.00	Siltli – Kumlu Sarımsı Kil	
9.00 –	Koyu Gri Renkli Katı Kil	

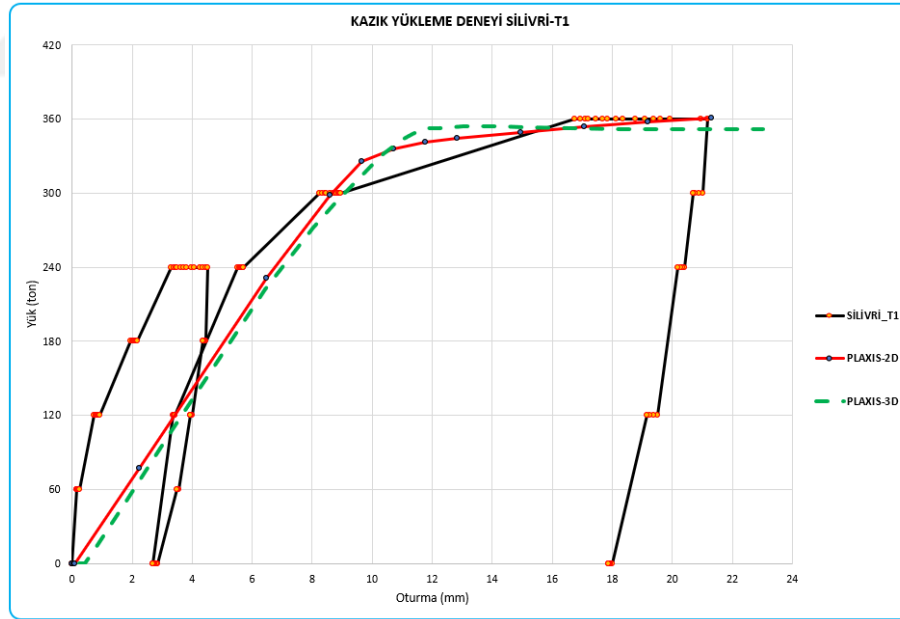
Tablo 6.4. 1.No.'lu deney kazığı için modelde kullanılan zemin parametreleri

	Nebati Toprak	Sarımsı Kil	Gri Renkli Katı Kil
Malzeme Modeli	Mohr - Coulomb	Mohr - Coulomb	Mohr - Coulomb
Malzeme Tipi	Drenajlı	Drenajlı	Drenajsız
Kuru Birim Hacim Ağırlık, γ_k (kN/m ³)	17.00	18.50	18.50
Doygun Birim Hacim Ağırlık, γ_d (kN/m ³)	17.50	19.00	19.00
Elastisite Modülü, E (kPa)	2500	20000	40000
Kohezyon c' (kPa)	20	40	140
İçsel Sürtünme Açısı ϕ' (°)	4	8	10
Poisson Oranı, ν	0.35	0.30	0.30

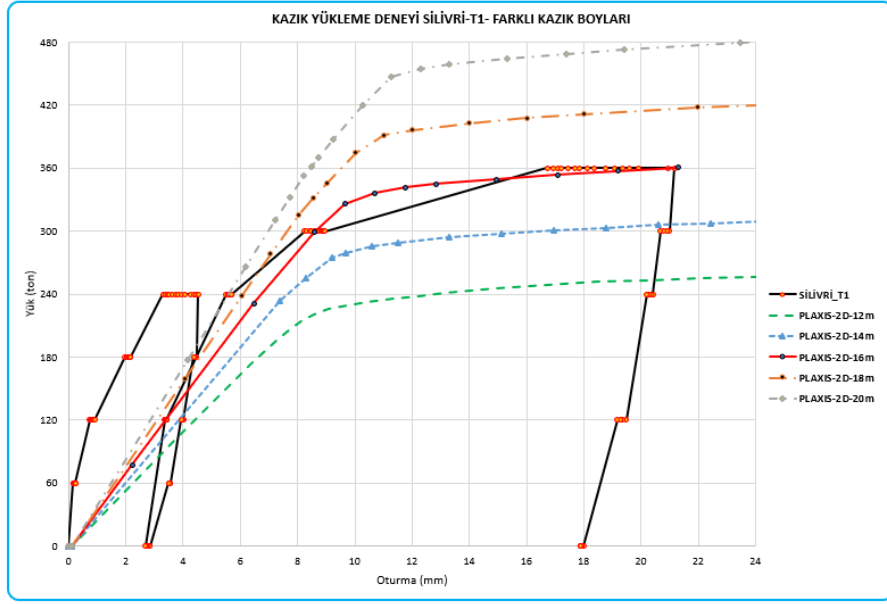
Sonlu elemanlar yöntemi ile yapılan analizler sonucunda bulunan oturmalar Şekil 6.9.'da gösterilmiştir. Deney sonuçları ile Plaxis-2D ve Plaxis-3D analiz sonuçlarının yük – oturma grafikleri Şekil 6.10'da karşılaştırılmalı olarak verilmiştir. Farklı kazık boylarına ait yük – oturma grafikleri ise Şekil 6.11'de karşılaştırılmalı olarak verilmiştir.



Şekil 6.9. 1.No.'lu deney kazığına ait Plaxis-2D analiz modeli.
a) Sonlu elemanlar modeli b) Kazık yerdeğiştirme grafiği ($10^{-3}m$)



Şekil 6.10. 1.No.'lu deney kazığına ait yük-oturma grafiği ve Plaxis sonuçları

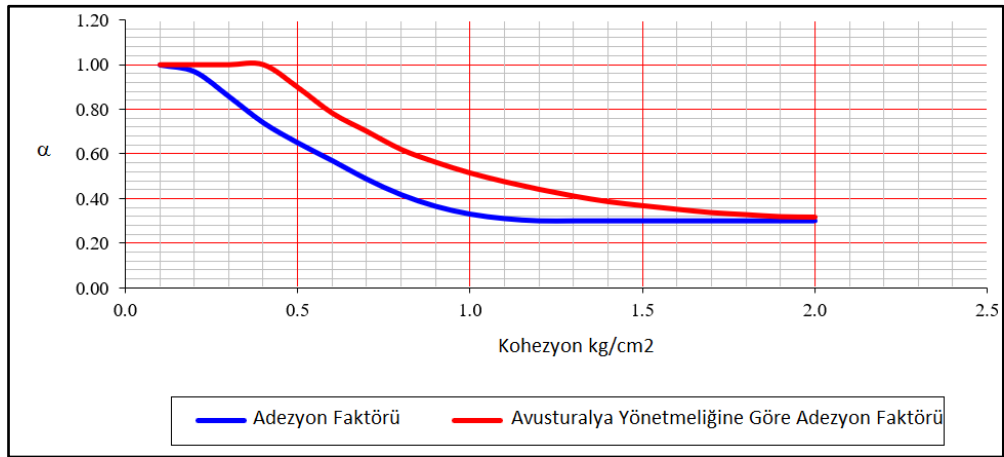


Şekil 6.11. 1.No.'lu deney kazığına ait farklı kazık boyları için yük-oturma grafiği

Amprik yöntemler ile kazık taşıma gücü hesabı:

(FHWA) yöntemi ile hesap:

Kazık taşıma gücü, kazık yükleme deneyleri ve sonlu elemanlar yöntemi ile hesaplanmıştır. Ayrıca kazık taşıma gücü, 3. Bölümde anlatılmış olan amprik ve yarı amprik formüller ile de hesaplanmıştır. Bu yöntemlerden α ve β yöntemleri (FHWA) kullanılarak kazık taşıma gücü hesaplanmıştır. Yöntemlerin detayları 3.Bölümde anlatılmıştır. Bu bölümdeki formüllere ek olarak α yönteminde kullanılan adezyon faktörü, Avusturalya yönetmeliğindeki değerleri ile karşılaştırılmalı olarak Şekil 6.12'de verilmiştir. Adezyon faktörü olarak Avusturalya yönetmeliğinde bulunan değerler kullanılmıştır.



Şekil 6.12. Adezyon Faktörü [35]

1.No.'lu deney kazığı için Amprik formüller ile yapılan hesaplamalarda, sonlu elemanlar yönteminde seçilmiş olan aynı parametreler kullanılmıştır. Sonuçlar Tablo 6.5'te verilmiştir.

Tablo 6.5. 1.No.'lu deney kazığı için FHWA yöntemi ile hesaplanan taşıma gücü

Derinlik (m)	c' (kPa)	ϕ°	γ_n (kN/m ³)	Nihai Çevre Sürtünmesi (ton)	Nihai Uç Direnç (ton)	Toplam Taşıma Kapasitesi (ton)
0	20	4	17.5	0.0	0.0	0.0
-1	20	4	17.5	6.8	7.6	14.4
-2	40	8	19.0	20.4	20.4	40.7
-3	40	8	19.0	34.0	23.7	57.6
-4	40	8	19.0	47.5	26.1	73.6
-5	40	8	19.0	61.1	28.1	89.2
-6	40	8	19.0	74.7	28.1	102.8
-7	40	8	19.0	88.3	28.1	116.4
-8	40	8	19.0	101.9	28.1	130.0
-9	40	8	19.0	115.5	30.2	145.6
-10	140	10	19.0	133.5	75.4	209.0
-11	140	10	19.0	151.6	75.4	227.0
-12	140	10	19.0	169.7	75.4	245.1
-14	140	10	19.0	205.9	75.4	281.3
-16	140	10	19.0	242.1	75.4	317.5

λ yöntemi ile hesap:

Yöntemin detayları 3.Bölümde anlatılmıştır. Bu yöntemle kazık çevre sürtünmesi hesaplanmıştır. Kazık uç basıncı ise $9 \cdot c_u$ ile hesaplanmıştır. Çevre sürtünme direnci ve uç direnci hesabında zeminin içsel sürtünme açısı dikkate alınmamıştır.

1.No.'lu deney kazığı için λ yöntemi ile yapılan hesaplamalarda, sonlu elemanlar yönteminde seçilmiş olan aynı parametreler kullanılmıştır. Sonuçlar Tablo 6.6'da verilmiştir.

Tablo 6.6. 1.No.'lu deney kazığı için λ yöntemi ile hesaplanan taşıma gücü

Derinlik (m)	c' (kPa)	γ_n (kN/m ³)	Efektif Gerilme (kN/m ²)	f_s Çevre Sürtünme direnci (kN/m ²)	Nihai Çevre Sürtünmesi(ton)	Nihai Uç Direnç (ton)	Toplam Taşıma Kapasitesi (ton)
0	20	17.5	0.0	0.0	0.0	9.0	9.0
-1	20	17.5	17.5	20.7	5.2	9.0	14.3
-2	40	19.0	38.0	42.5	15.9	18.1	34.0
-3	40	19.0	57.0	49.3	28.3	18.1	46.4
-4	40	19.0	66.0	39.4	38.2	18.1	56.3
-5	40	19.0	85.0	44.6	49.4	18.1	67.5
-6	40	19.0	94.0	47.0	61.2	18.1	79.3
-7	40	19.0	103.0	49.4	73.6	18.1	91.7
-8	40	19.0	112.0	42.2	84.2	18.1	102.3
-9	40	19.0	121.0	44.2	95.3	18.1	113.4
-10	140	19.0	130.0	90.2	118.0	63.3	181.3
-11	140	19.0	139.0	92.2	141.2	63.3	204.5
-12	140	19.0	148.0	94.2	164.8	63.3	228.2
-14	140	19.0	166.0	98.1	189.5	63.3	252.8
-16	140	19.0	184.0	102.1	215.2	63.3	278.5

1.No.'lu deney kazığı için, aynı parametreler ve farklı yöntemler ile hesaplanan kazık taşıma gücü sonuçları Tablo 6.7.'de verilmiştir.

Tablo 6.7. 1.No.'lu t deney kazığı ait taşıma gücü sonuçları

Yöntem	Taşıma Gücü (ton)
Kazık Yükleme Deneyi	360 ton
Plaxis-2D	350 ton
Plaxis-3D	355 ton
FHWA Yöntemi	317 ton
λ Yöntemi	278 ton

6.2.1.2. 2.No.'lu Zemin ve Kazık Modeli

Kazık yükleme deneyi ile kazık taşıma gücü hesabı:

Brinch Hansen yöntemi ile hesap:

Kazık yükleme deneyi sonuçlarının değerlendirme yöntemlerinden biri olan Brinch Hansen yöntemi ile kazık taşıma gücü belirlenmiştir. Nihai yük olarak 283 ton kabul edildiğinde bu yöntemle göre yapılan hesapta;

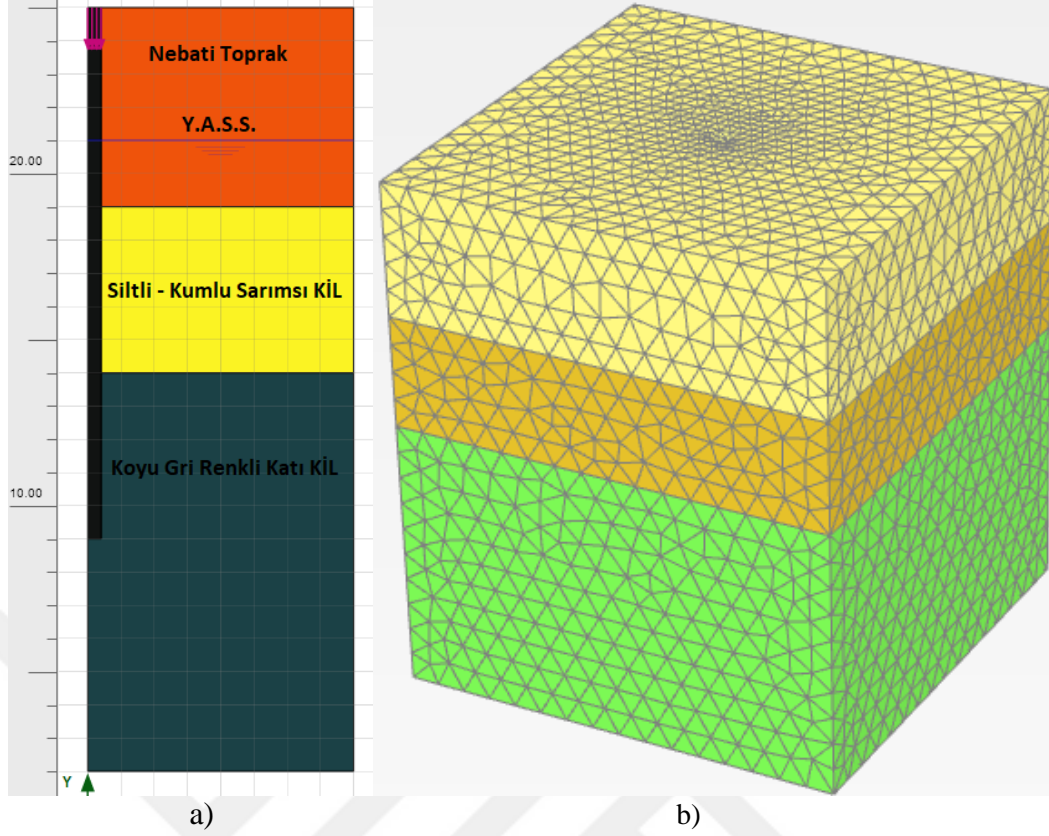
$0.90 \cdot Q_{\text{nihai}} = 0.90 \cdot 283 = 254 \text{ ton}$ olarak bulunmuştur.

283 ton eksenel yükte oluşan nihai oturma değeri 127 mm'dir.

$127/2 = 63.5 \text{ mm}$ 'dir, bu oturma değerindeki yük yaklaşık olarak 254 ton'dur. Bu yöntem ile hesaplanan kazık taşıma gücü 283 ton olarak belirlenmiştir.

Sonlu elemanlar yöntemi ile kazık taşıma gücü hesabı:

Sonlu elemanlar yöntemlerinden olan Plaxis-2D ve Plaxis-3D programlarına ait idealize zemin profili ve analiz modeli Şekil 6.13.'te gösterilmiştir



Şekil 6.13. 2.No.'lu deney kazığı idealize zemin profili
a) Plaxis-2D b) Plaxis-3D

2.No.'lu deney kazığına ait iki ve üç boyutlu sonlu elemanlar yöntemi ile analizler yapılmıştır. İdealize zemin profili tabakaları Tablo 6.8.'de verilmiştir. İki programda da aynı kazık ve zemin parametreleri kullanılmıştır. Bu parametreler kazık yükleme deneyi sonuçları ile uyumlu olacak şekilde yük-yerdeğiştirme grafikleri incelenerek yapılan birçok geri analiz işlemleri ile belirlenmiştir. Hesapta kullanılan parametreler Tablo 6.9.'da verilmiştir. Modelde dikkate alınan kazık çapı 80cm, kazık boyu ise 16.0m'dir.

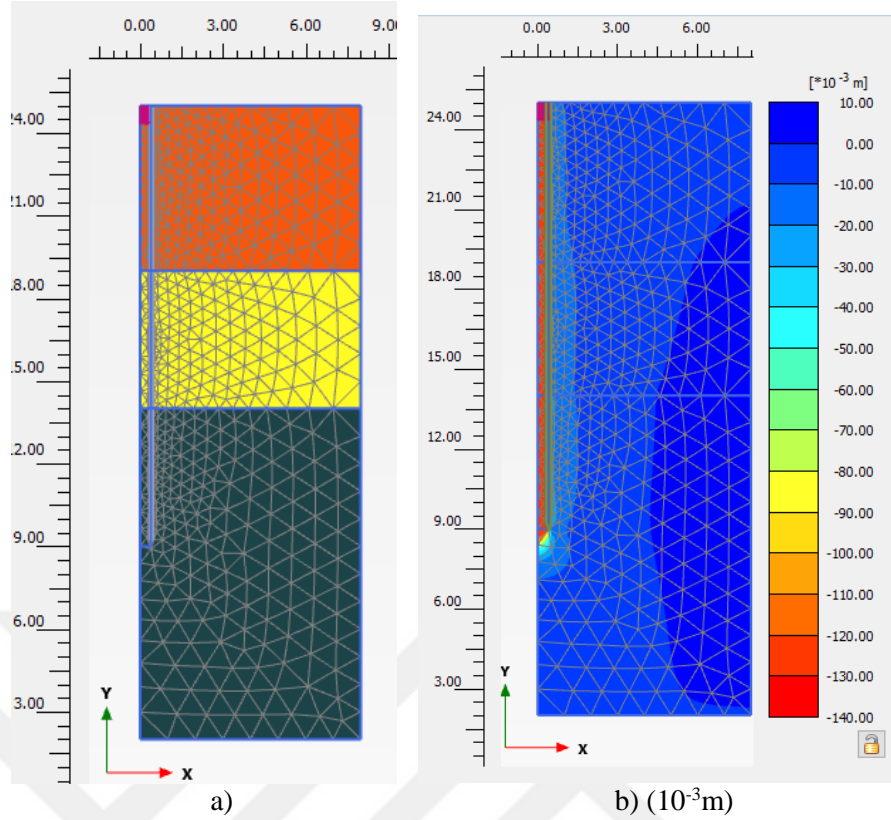
Tablo 6.8. 2.No.'lu deney kazığı idealize zemin profili

Zemin Tabakaları Derinlikleri (m)	Zemin	Yeraltı Suyu Seviyesi (Y.A.S.S.)
0.00 – 6.00	Nebati Toprak (az ince çakıllı killi organik toprak)	4.00 m
6.00 – 11.00	Siltli – Kumlu Sarımsı KİL	
11.00 –	Koyu Gri Renkli Katı KİL	

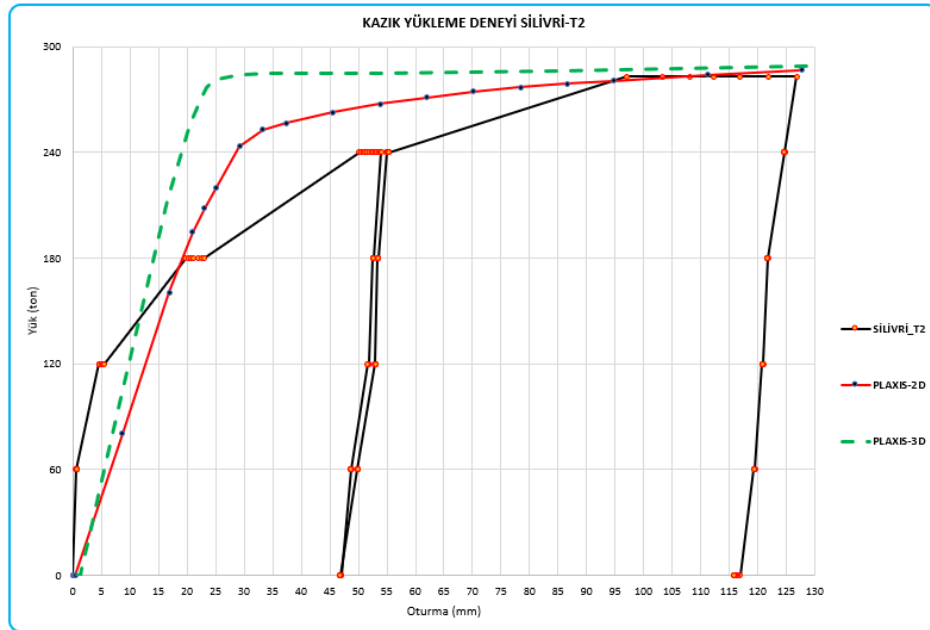
Tablo 6.9. 2.No.'lu deney kazığı için modelde kullanılan zemin parametreleri

	Nebati Toprak	Sarımsı Kil	Gri Renkli Katı Kil
Malzeme Modeli	Mohr - Coulomb	Mohr - Coulomb	Mohr - Coulomb
Malzeme Tipi	Drenajlı	Drenajlı	Drenajsız
Kuru Birim Hacim Ağırlık, γ_k (kN/m ³)	17.00	18.50	18.50
Doygun Birim Hacim Ağırlık, γ_d (kN/m ³)	17.50	19.00	19.00
Elastisite Modülü, E (kPa)	2500	7500	10000
Kohezyon c' (kPa)	20	40	130
İçsel Sürtünme Açısı ϕ' (°)	4	8	10
Poisson Oranı, ν	0.35	0.30	0.30

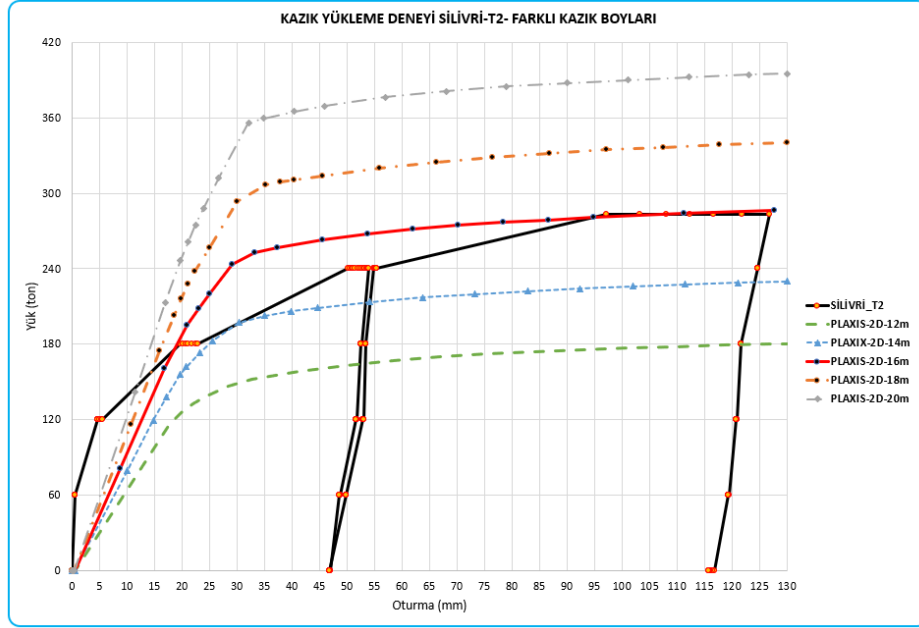
Sonlu elemanlar yöntemi ile yapılan analizler sonucunda bulunan oturmalar Şekil 6.14.'te gösterilmiştir. Deney sonuçları ile Plaxis-2D ve Plaxis-3D analiz sonuçlarının yük – oturma grafikleri Şekil 6.15'te karşılaştırılmalı olarak verilmiştir. Farklı kazık boylarına ait yük–oturma grafikleri ise Şekil 6.16'da karşılaştırılmalı olarak verilmiştir.



Şekil 6.14. 2.No.'lu deney kazığına ait Plaxis-2D analiz modeli.
a) Sonlu elemanlar modeli b) Kazık yerdeğiştirme grafiği (10^{-3} m)



Şekil 6.15. 2.No.'lu deney kazığına ait yük-oturma grafiği ve analiz sonuçları



Şekil 6.16. 2.No.'lu deney kazığına ait farklı kazık boyları için yük-oturma grafiği

Amprik yöntemler ile kazık taşıma gücü hesabı:

(FHWA) yöntemi ile hesap:

2.No.'lu deney kazığı için Amprik formüller ile yapılan hesaplamalarda, sonlu elemanlar yönteminde seçilmiş olan aynı parametreler kullanılmıştır. Sonuçlar Tablo 6.10'da verilmiştir.

Tablo 6.10. 2.No.'lu deney kazığı için FHWA yöntemi ile hesaplanan taşıma gücü

Derinlik (m)	c' (kPa)	ϕ' °	γ_n (kN/m ³)	Nihai Çevre Sürtünmesi (ton)	Nihai Uç Direnç (ton)	Toplam Taşıma Kapasitesi (ton)
0	20	4	17.5	0.0	0.0	0.0
-1	20	4	17.5	6.8	7.6	14.4
-2	20	4	17.5	13.6	10.9	24.4
-3	20	4	17.5	20.4	12.6	33.0
-4	20	4	17.5	27.1	14.1	41.2
-5	20	4	17.5	33.9	15.3	49.3
-6	20	4	17.5	40.7	18.3	59.0
-7	40	8	19.0	54.3	27.3	81.6
-8	40	8	19.0	67.9	28.1	96.0
-9	40	8	19.0	81.5	28.1	109.6
-10	40	8	19.0	95.0	28.1	123.1
-11	40	8	19.0	108.6	30.2	138.8
-12	130	10	19.0	126.6	70.9	197.4
-14	130	10	19.0	162.4	70.9	233.3
-16	130	10	19.0	198.3	70.9	269.1

λ yöntemi ile hesap:

2.No.'lu deney kazığı için λ yöntemi ile yapılan hesaplamalarda, sonlu elemanlar yönteminde seçilmiş olan aynı parametreler kullanılmıştır. Sonuçlar Tablo 6.11'de verilmiştir.

Tablo 6.11. 2.No.'lu deney kazığı için λ yöntemi ile hesaplanan taşıma gücü

Derinlik (m)	c' (kPa)	γ_n (kN/m ³)	Efektif Gerilme (kN/m ²)	f_3 Çevre Sürtünme direnci (kN/m ²)	Nihai Çevre Sürtünmesi(ton)	Nihai Uç Direnç (ton)	Toplam Taşıma Kapasitesi (ton)
0	20	17.5	0.0	0.0	0.0	9.0	9.0
-1	20	17.5	17.5	20.7	5.2	9.0	14.3
-2	20	17.5	35.0	27.0	12.0	9.0	21.0
-3	20	17.5	52.5	33.3	20.4	9.0	29.4
-4	20	17.5	60.0	27.0	27.1	9.0	36.2
-5	20	17.5	77.5	31.7	35.1	9.0	44.2
-6	20	17.5	85.0	33.8	43.6	9.0	52.6
-7	40	19.0	103.0	49.4	56.0	18.1	74.1
-8	40	19.0	112.0	42.2	66.6	18.1	84.7
-9	40	19.0	121.0	44.2	77.7	18.1	95.8
-10	40	19.0	130.0	46.2	89.4	18.1	107.5
-11	40	19.0	139.0	48.2	101.5	18.1	119.6
-12	130	19.0	148.0	89.8	124.0	58.8	182.8
-14	130	19.0	166.0	93.7	147.6	58.8	206.4
-16	130	19.0	184.0	97.7	172.1	58.8	230.9

2.No.'lu deney kazığı için, aynı parametreler ve farklı yöntemler ile hesaplanan kazık taşıma gücü sonuçları Tablo 6.12.'de verilmiştir.

Tablo 6.12. 2.No.'lu deney kazığı ait taşıma gücü sonuçları

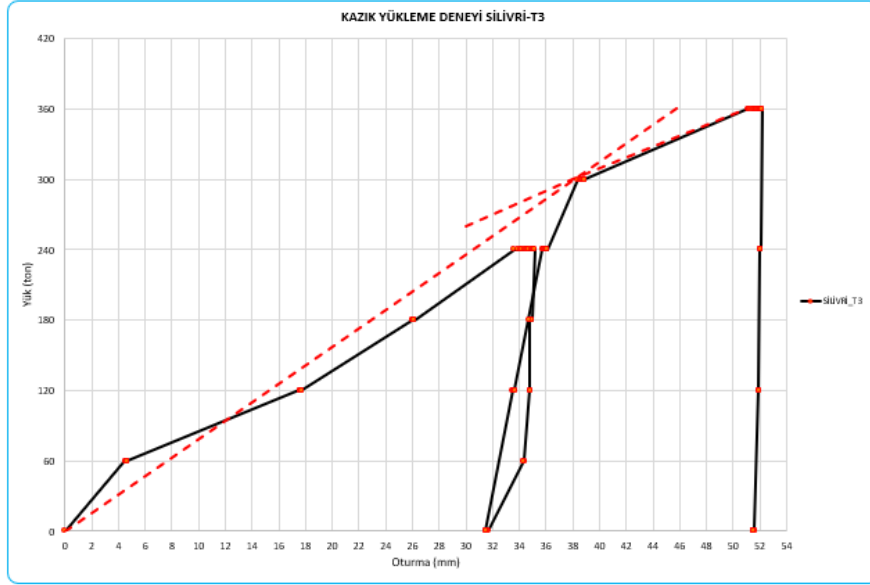
Yöntem	Taşıma Yüğü, ton
Kazık Yükleme Deneyi	283 ton
Plaxis-2D	280 ton
Plaxis-3D	290 ton
FHWA Yöntemi	269 ton
λ Yöntemi	231 ton

6.2.1.3. 3.No.'lu Zemin ve Kazık Modeli

Kazık yükleme deneyi ile kazık taşıma gücü hesabı:

Teğet yöntemi ile hesap:

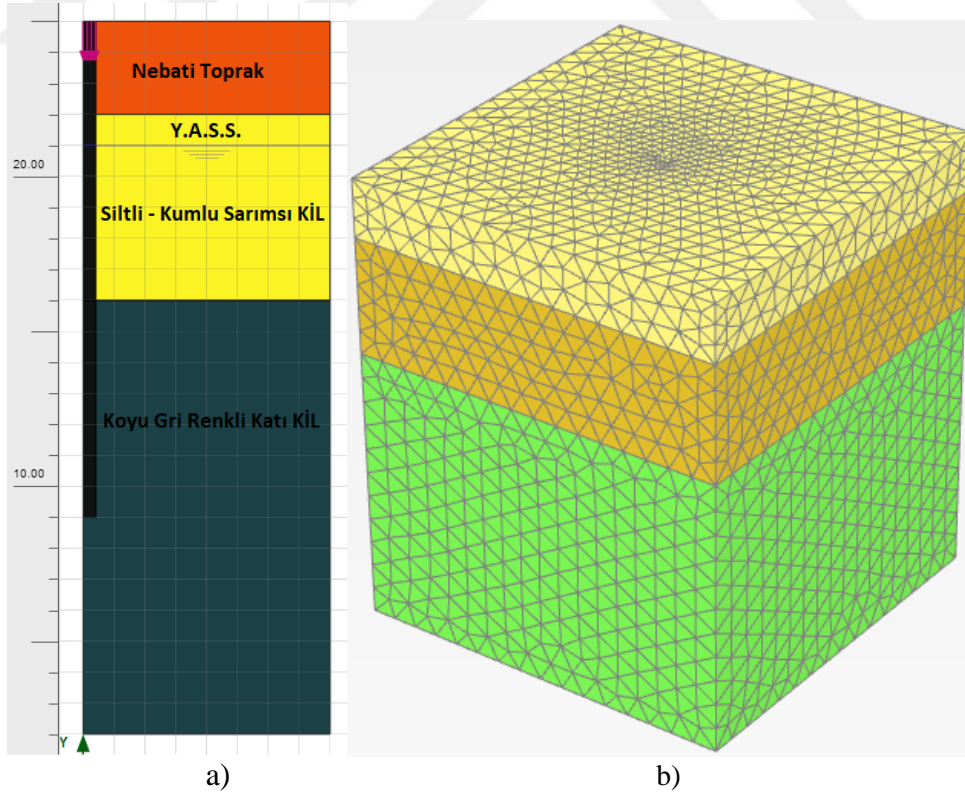
Kazık yükleme deneyi sonuçlarının değerlendirme yöntemlerinden biri olan Teğet yöntemi ile kazık taşıma gücü belirlenmiştir. Teğet yöntemi ile yapılan hesaplama Şekil 6.17'de gösterilmiştir. Yapılan hesaplamalarda kazık taşıma gücü 300 ton olarak hesaplanmıştır.



Şekil 6.17. 3.No.'lu deney kazığına ait teğet yöntemi hesabı

Sonlu elemanlar yöntemi ile kazık taşıma gücü hesabı:

Sonlu elemanlar yöntemlerinden olan Plaxis-2D ve Plaxis-3D için idealize zemin profili ve analiz modeli Şekil 6.18.'de gösterilmiştir.



Şekil 6.18. 3.No.'lu deney kazığı idealize zemin profili
a) Plaxis-2D b) Plaxis-3D

3.No.'lu deney kazığına ait iki ve üç boyutlu sonlu elemanlar yöntemi ile analizler yapılmıştır. İdealize zemin profili tabakaları Tablo 6.13.'te verilmiştir. İki programda da aynı kazık ve zemin parametreleri kullanılmıştır. Bu parametreler kazık yükleme deneyi sonuçları ile uyumlu olacak şekilde yük-yerdeğiştirme grafikleri incelenerek yapılan birçok geri analiz işlemleri ile belirlenmiştir. Hesapta kullanılan parametreler Tablo 6.14.'te verilmiştir. Modelde dikkate alınan kazık çapı 80cm, kazık boyu ise 16.0m'dir.

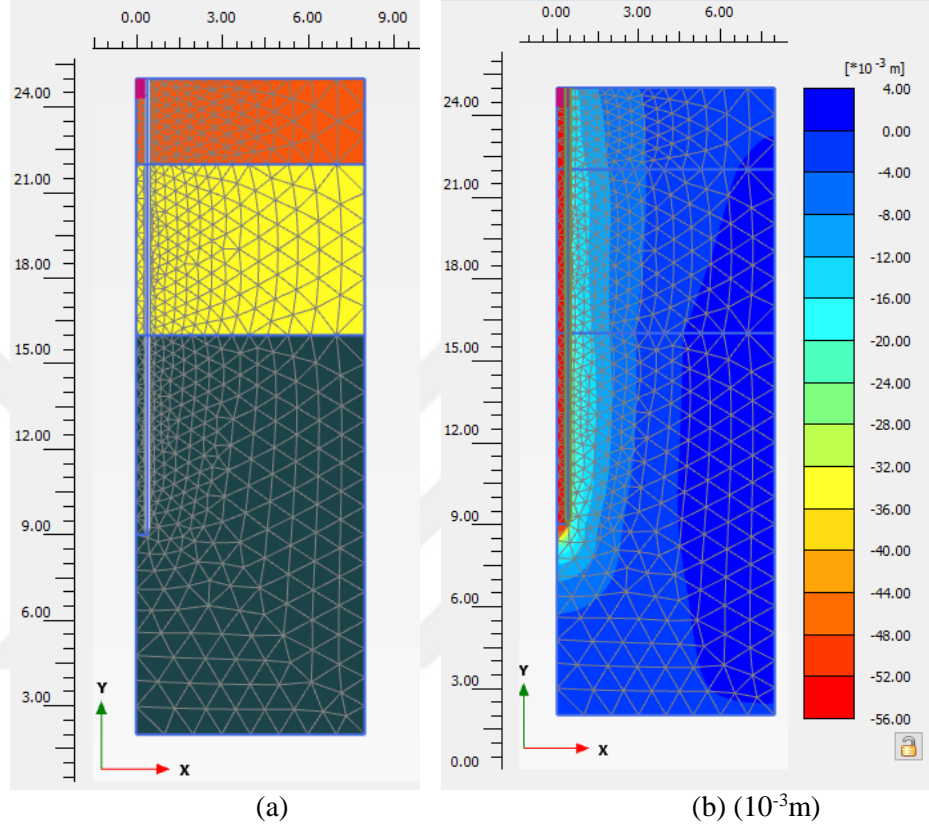
Tablo 6.13. 3 No.'lu deney kazığı idealize zemin profili

Zemin Tabakaları Derinlikleri (m)	Zemin	Yeraltı Suyu Seviyesi (Y.A.S.S.)
0.00 – 3.00	Nebati Toprak (az ince çakıllı killi organik toprak)	4.00 m
3.00 – 9.00	Siltli – Kumlu Sarımsı KİL	
9.00 –	Koyu Gri Renkli Katı KİL	

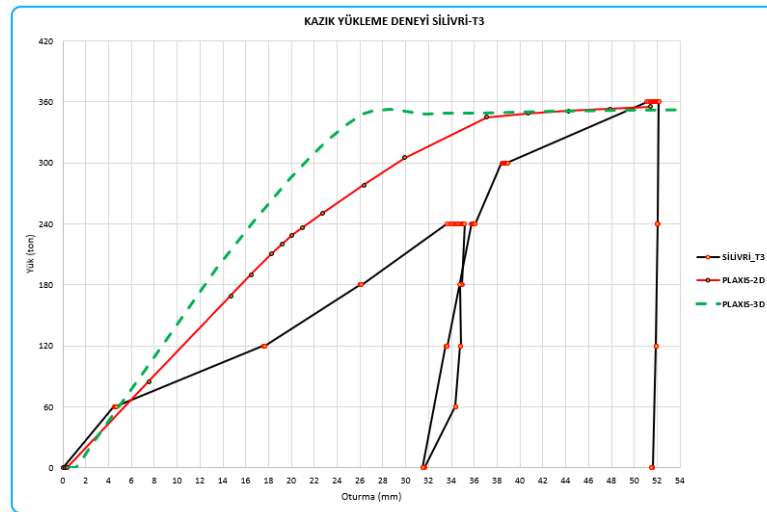
Tablo 6.14. 3.No.'lu deney kazığı için modelde kullanılan zemin parametreleri

	Nebati Toprak	Sarımsı KİL	Gri Renkli Katı Kil
Malzeme Modeli	Mohr - Coulomb	Mohr - Coulomb	Mohr - Coulomb
Malzeme Tipi	Drenajlı	Drenajlı	Drenajsız
Kuru Birim Hacim Ağırlık, γ_k (kN/m ³)	17.00	18.50	18.50
Doygun Birim Hacim Ağırlık, γ_d (kN/m ³)	17.50	19.00	19.00
Elastisite Modülü, E (kPa)	2500	7500	10000
Kohezyon c' (kPa)	20	40	140
İçsel Sürtünme Açısı ϕ' (°)	4	8	10
Poisson Oranı, ν	0.35	0.30	0.30

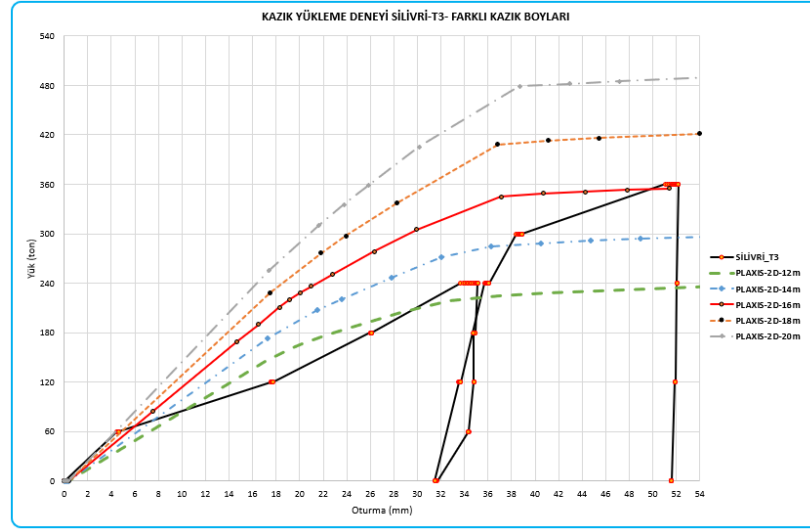
Sonlu elemanlar yöntemi ile yapılan analizler sonucunda bulunan oturmalar Şekil 6.19.'da gösterilmiştir. Deney sonuçları ile Plaxis-2D ve Plaxis-3D analiz sonuçlarının yük – oturma grafikleri Şekil 6.20’de karşılaştırılmalı olarak verilmiştir. Farklı kazık boylarına ait yük – oturma grafikleri ise Şekil 6.21’de karşılaştırılmalı olarak verilmiştir.



(a) (b) ($10^{-3}m$)
 Şekil 6.19. 3.No.’lu deney kazığına ait Plaxis-2D analiz modeli.
 a) Sonlu elemanlar modeli b) Kazık yerdeğiştirme grafiği ($10^{-3}m$)



Şekil 6.20. 3.No.’lu deney kazığına ait yük-oturma grafiği ve Plaxis sonuçları



Şekil 6.21. 3.No.'lu deney kazığına ait farklı kazık boyları için yük-oturma grafiği

Amirik yöntemler ile kazık taşıma gücü hesabı:

(FHWA) yöntemi ile hesap:

3.No.'lu deney kazığı için Amirik formüller ile yapılan hesaplamalarda, sonlu elemanlar yönteminde seçilmiş olan aynı parametreler kullanılmıştır. Sonuçlar Tablo 6.15' te verilmiştir.

Tablo 6.15. 3.No.'lu deney kazığı için taşıma gücü

Derinlik (m)	c' (kPa)	ϕ°	kN/m ³	Nihai Çevre Sürtünmesi (ton)	Nihai Uç Direnci (ton)	Toplam Taşıma Kapasitesi (ton)
0	20	4	17.5	0.0	0.0	0.0
-1	20	4	17.5	6.8	7.6	14.4
-2	20	4	17.5	13.6	10.9	24.4
-3	20	4	17.5	20.4	14.4	34.7
-4	40	8	19.0	33.9	25.5	59.4
-5	40	8	19.0	47.5	28.1	75.6
-6	40	8	19.0	61.1	28.1	89.2
-7	40	8	19.0	74.7	28.1	102.8
-8	40	8	19.0	88.3	28.1	116.4
-9	40	8	19.0	101.9	30.2	132.0
-10	140	10	19.0	119.9	75.4	195.4
-11	140	10	19.0	138.0	75.4	213.4
-12	140	10	19.0	156.1	75.4	231.5
-14	140	10	19.0	192.3	75.4	267.7
-16	140	10	19.0	228.4	75.4	303.9

λ yöntemi ile hesap:

3.No.'lu deney kazığı için λ yöntemi ile yapılan hesaplamalarda, sonlu elemanlar yönteminde seçilmiş olan aynı parametreler kullanılmıştır. Sonuçlar Tablo 6.16'da verilmiştir.

Tablo 6.16. 3.No.'lu deney kazığı için λ yöntemi ile hesaplanan taşıma gücü

Derinlik (m)	c' (kPa)	γ_n (kN/m ³)	Efektif Gerilme (kN/m ²)	f_s Çevre Sürtünme direnci (kN/m ²)	Nihai Çevre Sürtünmesi(to n)	Nihai Uç Direnç (ton)	Toplam Taşıma Kapasitesi (ton)
0	20	17.5	0.0	0.0	0.0	9.0	9.0
-1	20	17.5	17.5	20.7	5.2	9.0	14.3
-2	20	17.5	35.0	27.0	12.0	9.0	21.0
-3	20	17.5	52.5	33.3	20.4	9.0	29.4
-4	40	19.0	66.0	39.4	30.3	18.1	48.4
-5	40	19.0	85.0	44.6	41.5	18.1	59.6
-6	40	19.0	94.0	47.0	53.3	18.1	71.4
-7	40	19.0	103.0	49.4	65.7	18.1	83.8
-8	40	19.0	112.0	42.2	76.3	18.1	94.4
-9	40	19.0	121.0	44.2	87.4	18.1	105.5
-10	140	19.0	130.0	90.2	110.1	63.3	173.4
-11	140	19.0	139.0	92.2	133.3	63.3	196.6
-12	140	19.0	148.0	94.2	156.9	63.3	220.3
-14	140	19.0	166.0	98.1	181.6	63.3	244.9
-16	140	19.0	184.0	102.1	207.2	63.3	270.6

3.No.'lu deney kazığı için, aynı parametreler ve farklı yöntemler ile hesaplanan kazık taşıma gücünün karşılaştırılması Tablo 6.17.'de verilmiştir.

Tablo 6.17. 3.No.'lu deney kazığı ait taşıma gücü sonuçları

Yöntem	Taşıma Gücü (ton)
Kazık Yükleme Deneyi	300 ton
Plaxis-2D	315 ton
Plaxis-3D	330 ton
FHWA Yöntemi	304 ton
λ Yöntemi	271 ton

6.2.2. Zeytinburnu İlçesinde Yapılan Deney Kazıklarına Ait Modelleme

Deney yapılmış olan bölgenin zemin etüt raporundan ve sondaj sırasında tutulan loglardan idealize zemin profili elde edilmeye çalışılmıştır. Projenin büyüklüğü, zeminin değişken yapısı nedeniyle kazıkların nihai boylarının asgari 2 adet kazık yükleme deneyi ile belirlenmesi öngörülmüştür. Arazinin farklı tipteki zemin

kesitlerine göre kazık yükleme lokasyonları belirlenmiş ve deneyler yapılmıştır. Zeytinburnu İlçesinde yapılan 2 adet eksenel basınç deneyleri ile ilgili genel arazi zemin profilini temsil eden karot sandığı Şekil 6.22.'de gösterilmiştir [34]. Zemine ait sondaj logları Ek-B'de verilmiştir.



Şekil 6.22. Zeytinburnu İlçesinde yapılan deneylerin bulunduğu sahaya ait karot sandığı [34].

Deney alanındaki zemin kesitinde 2 farklı zemin tabakası bulunmaktadır. Zeminin üst tabakasında kireçtaşı ara tabakalı, karbonatlı kil mevcuttur. Bu birimin altında siyah-gri-haki renkli kil yer almıştır. Bahsedilen zeminlerin kalınlıkları yerel olarak değişmektedir. Aynı zamanda zemin tabakaları da kendi içinde yerel olarak farklı sıklık ve dayanım özellikleri de gösterebilmektedir. Yeraltı su seviyesi ise 3 metrede görülmüştür. Tablo 6.18'de her bir deneye ait, zemin tabaka kalınlıkları verilmiştir.

Tablo 6.18. 4.5. Deneye ait zemin tabaka kalınlıkları[34].

Deney No	Karbonatlı Kil Kalınlığı (m)	Koyu Renkli Kil Kalınlığı(m)	YASS (m)
4. Deney	0-9.0	9.0-	3.0
5. Deney	0-2.0	2.0-	

Her farklı deney için idealize zemin profili belirlenmiştir. Kazık yükleme deneyi sonuçları ile uyumlu olacak şekilde zemin/kaya ve kazık parametreleri belirlenmiştir. Belirlenen parametreler Plaxis-2D yazılımında, eksenel simetri model seçeneğiyle sonlu elemanlar yöntemi ile modellenmiştir. Ayrıca modelleme Plaxis-3D sonlu

elemanlar yazılımı ile üç boyutlu olarak da yapılmıştır. İki boyutlu ve üç boyutlu analiz sonuçları karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmaya ek olarak da farklı kazık boyları için de hesaplama yapılmış yük-deplasman eğrisi oluşturulmuştur. Sonlu elemanlar yöntemiyle geri analizler yaparak bulunan parametreler yaklaşık yöntemler hesabında kullanılmıştır. Sonuçlar tablo halinde verilmiştir.

6.2.2.1. 4.No.'lu Zemin ve Kazık Modeli

Kazık yükleme deneyi ile kazık taşıma gücü hesabı:

Brinch Hansen yöntemi ile hesap:

Kazık yükleme deneyi sonuçlarının değerlendirme yöntemlerinden biri olan Brinch Hansen yöntemi ile kazık taşıma gücü belirlenmiştir. Nihai yük olarak 573 ton kabul edildiğinde bu yöntemle göre yapılan hesapta;

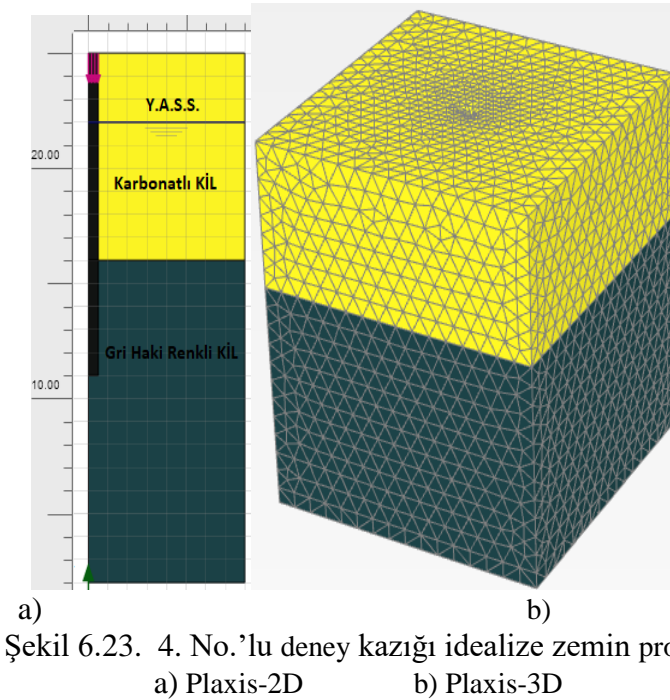
$0.90 \cdot Q_{\text{nihai}} = 0.90 \cdot 573 = 515 \text{ ton}$ olarak bulunur.

573ton yükte oluşan nihai oturma değeri 46mm'dir.

$46/2 = 23 \text{ mm}$ 'dir, bu oturma değerindeki yük yaklaşık olarak 515ton'dur. Bu yöntem ile hesaplanan kazık taşıma gücü 573 ton olarak bulunmuştur.

Sonlu elemanlar yöntemi ile kazık taşıma gücü hesabı:

Sonlu elemanlar yöntemlerinden olan Plaxis-2D ve Plaxis-3D programlarına ait idealize zemin profili ve analiz modeli Şekil 6.23.'te gösterilmiştir.



Şekil 6.23. 4. No.'lu deney kazığı idealize zemin profili

4.No.'lu deney kazığına ait iki ve üç boyutlu sonlu elemanlar yöntemi ile analizler yapılmıştır. İdealize zemin profili tabakaları Tablo 6.19.'da verilmiştir. İki programda da aynı kazık ve zemin parametreleri kullanılmıştır. Bu parametreler kazık yükleme deneyi sonuçları ile uyumlu olacak şekilde yük-yerdeğiştirme grafikleri incelenerek yapılan birçok geri analiz işlemleri ile belirlenmiştir. Modelde kullanılan zemin parametreler Tablo 6.20.'de verilmiştir. Modelde dikkate alınan kazık çapı 100cm, kazık boyu ise 14.0m'dir.

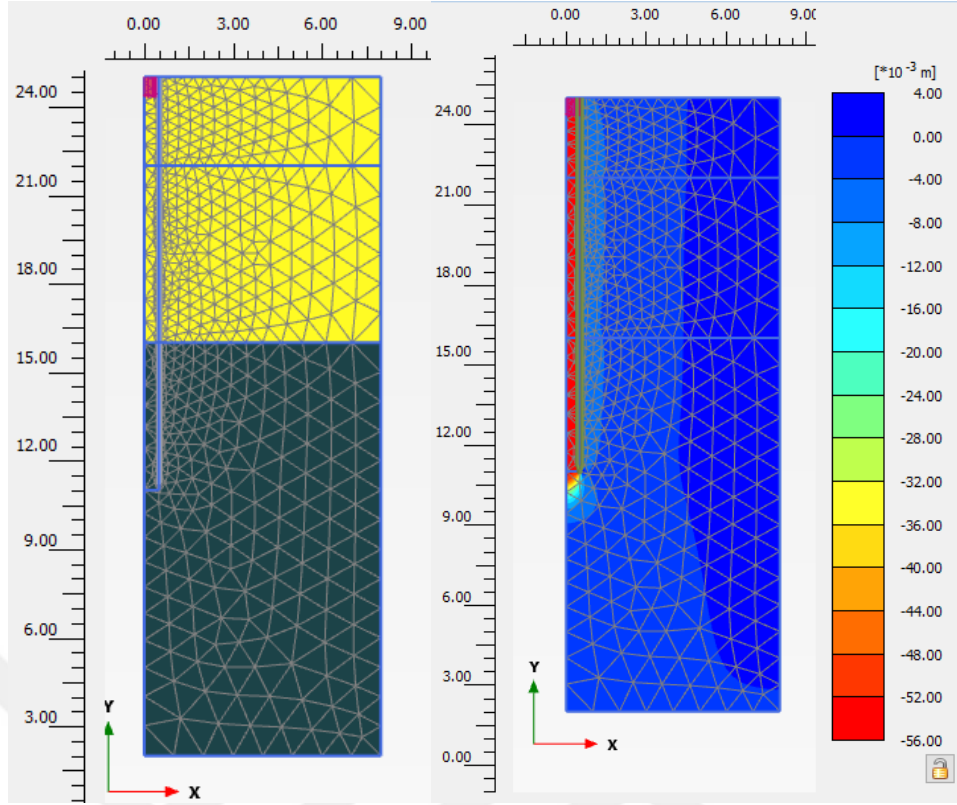
Tablo 6.19. 4 No.'lu deney kazığı idealize zemin profili

Zemin Tabakaları Derinlikleri (m)	Zemin	Yeraltı Suyu Seviyesi (Y.A.S.S.)
0.00 – 9.00	Kireçtaşı ara tabakalı karbonatlı KİL	3.00 m
9.00 –	Siyah-gri-haki renkli KİL	

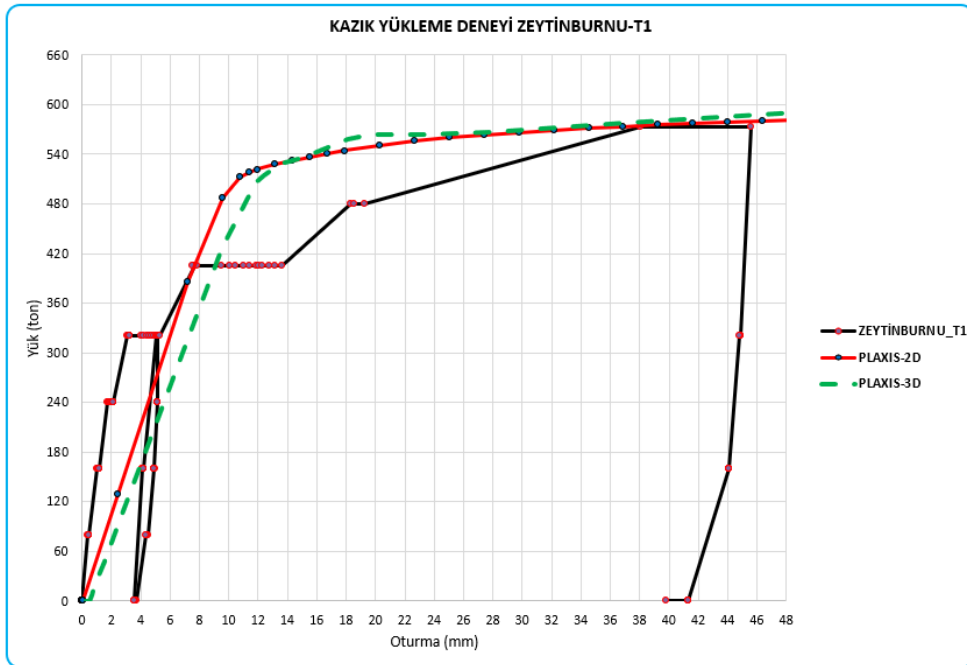
Tablo 6.20. 4.No.'lu deney kazığı için modelde kullanılan zemin parametreleri

	Kireçtaşı ara tabakalı karbonatlı Kil	Siyah-gri-haki renkli Kil
Malzeme Modeli	Mohr - Coulomb	Mohr - Coulomb
Malzeme Tipi	Drenajsız	Drenajsız
Kuru Birim Hacim Ağırlık, γ_k (kN/m ³)	18.50	18.50
Doygun Birim Hacim Ağırlık, γ_d (kN/m ³)	19.00	19.00
Elastisite Modülü, E (kPa)	30000	50000
Kohezyon c' (kPa)	80	160
İçsel Sürtünme Açısı ϕ' (°)	8	10
Poisson Oranı, ν	0.30	0.30

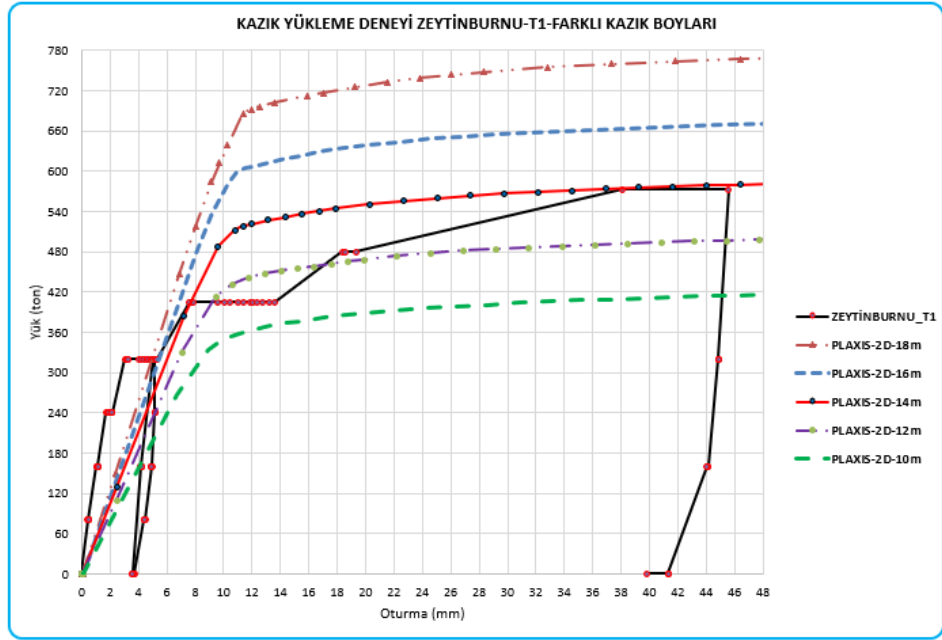
Sonlu elemanlar yöntemi ile yapılan analizler sonucunda bulunan oturmalar Şekil 6.24.'te gösterilmiştir. Deney sonuçları ile Plaxis-2D ve Plaxis-3D analiz sonuçlarının yük – oturma grafikleri Şekil 6.25'de karşılaştırılmalı olarak verilmiştir. Farklı kazık boylarına ait yük – oturma grafikleri ise Şekil 6.26'de karşılaştırılmalı olarak verilmiştir.



Şekil 6.24. 1.No.'lu deney kazığına ait Plaxis-2D analiz modeli.
a)Sonlu elemanlar modeli b) Kazık yerdeğiştirme grafiği ($10^{-3}m$)



Şekil 6.25. 4.No.'lu deney kazığına ait yük-oturma grafiği ve Plaxis sonuçları



Şekil 6.26. 4.No.'lu deney kazığına ait farklı kazık boyları için yük-oturma grafiği

Amirik yöntemler ile kazık taşıma gücü hesabı:

(FHWA) yöntemi ile hesap:

4.No.'lu deney kazığı için Amirik formüller ile yapılan hesaplamalarda, sonlu elemanlar yönteminde seçilmiş olan aynı parametreler kullanılmıştır. Sonuçlar Tablo 6. 21'de verilmiştir.

Tablo 6.21. 4.No.'lu deney kazığı için taşıma gücü

Derinlik (m)	c' (kPa)	ϕ'°	kN/m ³	Nihai Çevre Sürtünmesi (ton)	Nihai Uç Direnç (ton)	Toplam Taşıma Kapasitesi (ton)
0	80	8	19	0.0	0.0	0.0
-1	80	8	19	20.0	47.8	67.8
-2	80	8	19	40.0	58.4	98.4
-3	80	8	19	60.1	64.7	124.7
-4	80	8	19	80.1	69.0	149.1
-5	80	8	19	100.1	72.2	172.3
-6	80	8	19	120.1	72.2	192.3
-7	80	8	19	140.2	72.2	212.3
-8	80	8	19	160.2	72.2	232.4
-9	80	8	19	180.2	75.4	255.6
-10	160	10	19	203.5	132.0	335.5
-11	160	10	19	226.9	132.0	358.8
-12	160	10	19	250.2	132.0	382.2
-14	160	10	19	296.9	132.0	428.8

λ yöntemi ile hesap:

4.No.'lu deney kazığı için λ yöntemi ile yapılan hesaplamalarda, sonlu elemanlar yönteminde seçilmiş olan aynı parametreler kullanılmıştır. Sonuçlar Tablo 6.22'de verilmiştir.

Tablo 6.22. 4.No.'lu deney kazığı için λ yöntemi ile hesaplanan taşıma gücü

Derinlik (m)	c' (kPa)	γ_n (kN/m ³)	Efektif Gerilme (kN/m ²)	f_s Çevre Sürtünme direnci (kN/m ²)	Nihai Çevre Sürtünmesi(ton)	Nihai Uç Direnç (ton)	Toplam Taşıma Kapasitesi (ton)
0	80	19.0	0.0	0.0	0.0	56.5	56.5
-1	80	19.0	19.0	64.4	20.2	56.5	76.8
-2	80	19.0	38.0	71.3	42.6	56.5	99.2
-3	80	19.0	57.0	78.1	67.2	56.5	123.7
-4	80	19.0	56.0	58.3	85.5	56.5	142.1
-5	80	19.0	75.0	63.5	105.4	56.5	162.0
-6	80	19.0	84.0	65.9	126.1	56.5	182.7
-7	80	19.0	93.0	68.3	147.6	56.5	204.1
-8	80	19.0	102.0	57.6	165.7	56.5	222.2
-9	80	19.0	111.0	59.6	184.4	56.5	241.0
-10	160	19.0	120.0	96.8	214.8	113.1	327.9
-11	160	19.0	129.0	98.8	245.9	113.1	359.0
-12	160	19.0	138.0	100.8	277.5	113.1	390.6
-14	160	19.0	156.0	104.7	310.4	113.1	423.5

4.No.'lu deney kazığı için, aynı parametreler ve farklı yöntemler ile hesaplanan kazık taşıma gücünün karşılaştırılması Tablo 6.23.'te verilmiştir.

Tablo 6.23. 4.No.'lu deney kazığı ait taşıma gücü sonuçları.

Yöntem	Taşıma gücü (ton)
Kazık Yükleme Deneyi	573 ton
Plaxis-2D	575 ton
Plaxis-3D	575 ton
FHWA Yöntemi	429 ton
λ Yöntemi	423 ton

6.2.2.2. 5.No.'lu Zemin ve Kazık Modeli

Kazık yükleme deneyi ile kazık taşıma gücü hesabı:

Brinch Hansen yöntemi ile hesap:

Kazık yükleme deneyi sonuçlarının değerlendirme yöntemlerinden biri olan Brinch Hansen yöntemi ile kazık taşıma gücü belirlenmiştir. Nihai yük olarak 1000 **ton** kabul edildiğinde bu yönteme göre yapılan hesapta;

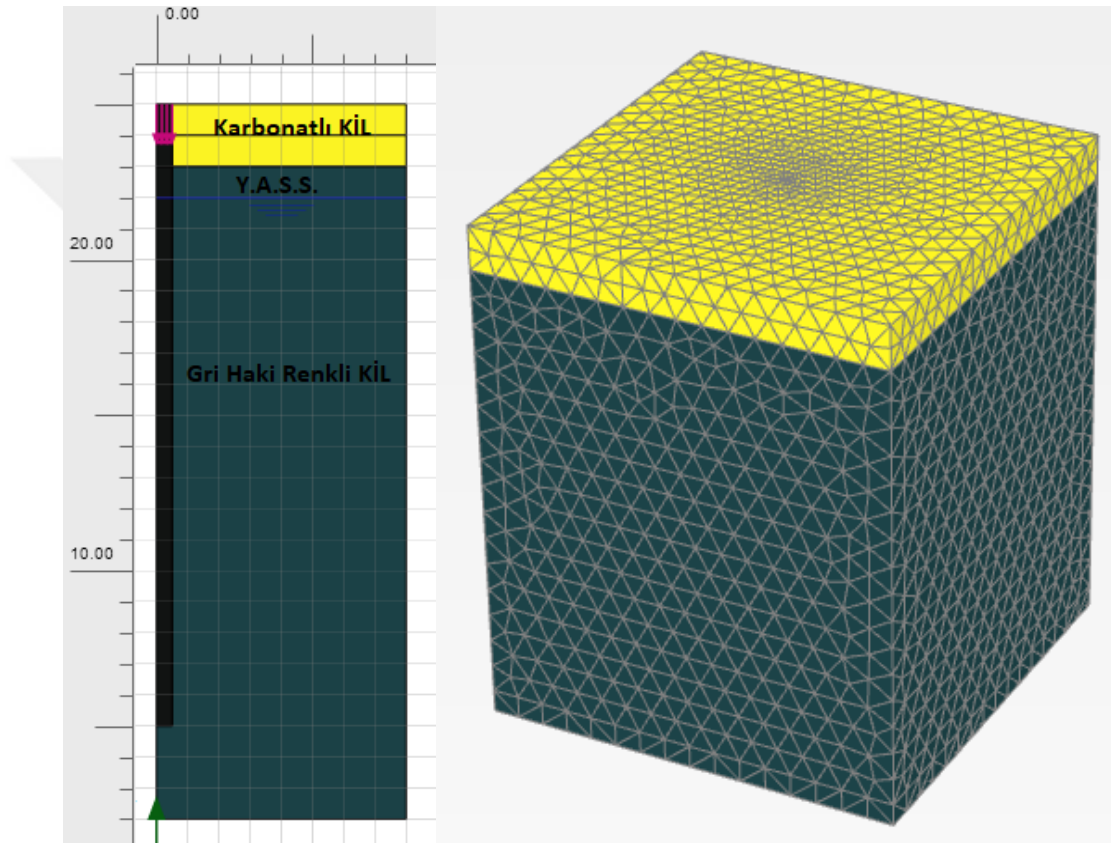
$0.90 * Q_{nihai} = 0.90 * 1000 = 900 \text{ ton}$ olarak bulunur.

1000ton yükte oluşan nihai oturma değeri 50mm'dir.

$50/2 = 25 \text{ mm}$ 'dir, bu oturma değerindeki yük yaklaşık olarak 900ton'dur. Bu yöntem ile hesaplanan kazık taşıma gücü 1000 ton olarak bulunmuştur.

Sonlu elemanlar yöntemi ile kazık taşıma gücü hesabı:

Sonlu elemanlar yöntemlerinden olan Plaxis-2D ve Plaxis-3D programlarına ait idealize zemin profili ve analiz modeli Şekil 6.27'de gösterilmiştir



a) b)
Şekil 6.27. 5.No.'lu deney kazığı idealize zemin profili
a) Plaxis-2D b) Plaxis-3D

5.No.'lu deney kazığına ait iki ve üç boyutlu sonlu elemanlar yöntemi ile analizler yapılmıştır. İdealize zemin profili tabakaları Tablo 6.24.'de verilmiştir. İki programda da aynı kazık ve zemin parametreleri kullanılmıştır. Bu parametreler kazık yükleme deneyi sonuçları ile uyumlu olacak şekilde yük-yerdeğiştirme grafikleri incelenerek yapılan birçok geri analiz işlemleri ile belirlenmiştir. Hesapta kullanılan parametreler Tablo 6.25.'te verilmiştir. Modelde dikkate alınan kazık çapı 100cm, kazık boyu ise 20.0m'dir.

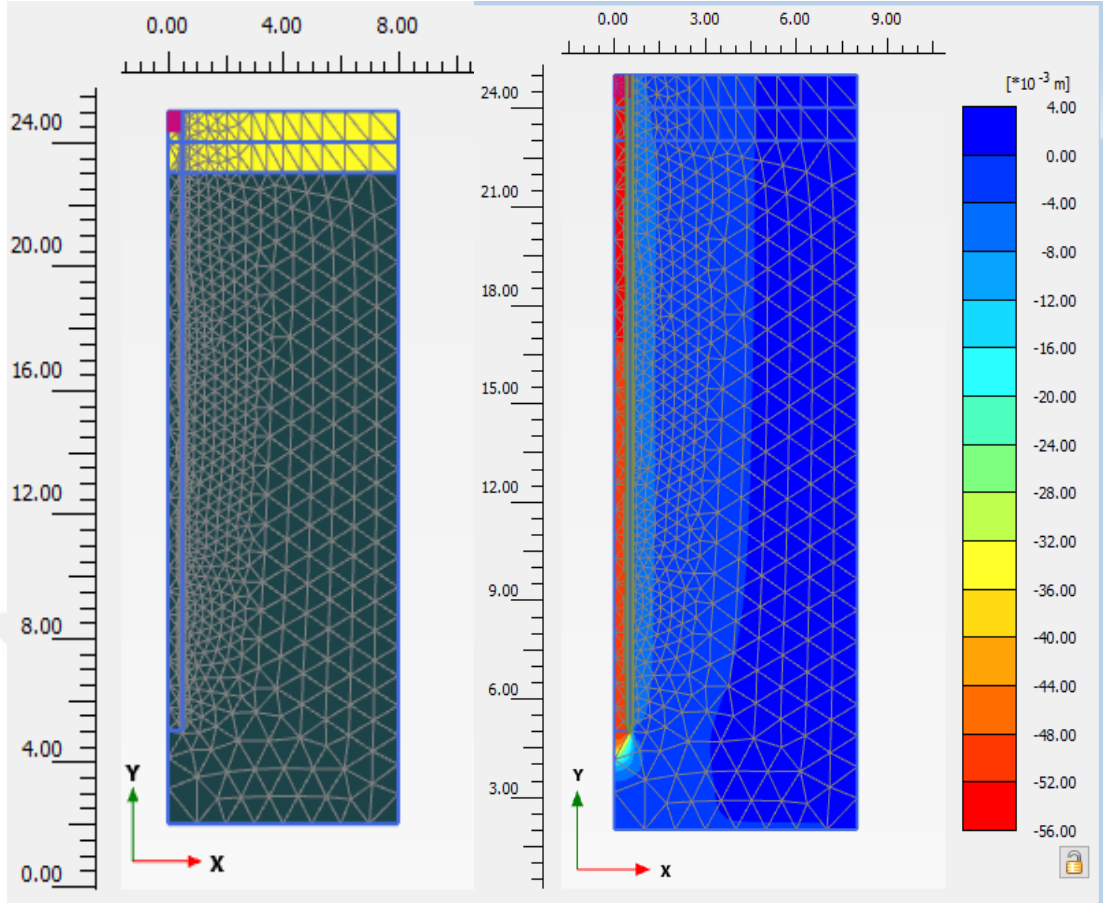
Tablo 6.24. 5 No.'lu deney kazığı idealize zemin profili.

Zemin Tabakaları Derinlikleri (m)	Zemin	Yeraltı Suyu Seviyesi (Y.A.S.S.)
0.00 – 2.00	Kireçtaşı ara tabakalı karbonatlı KİL	3.00 m
2.00 –	Siyah-gri-haki renkli KİL	

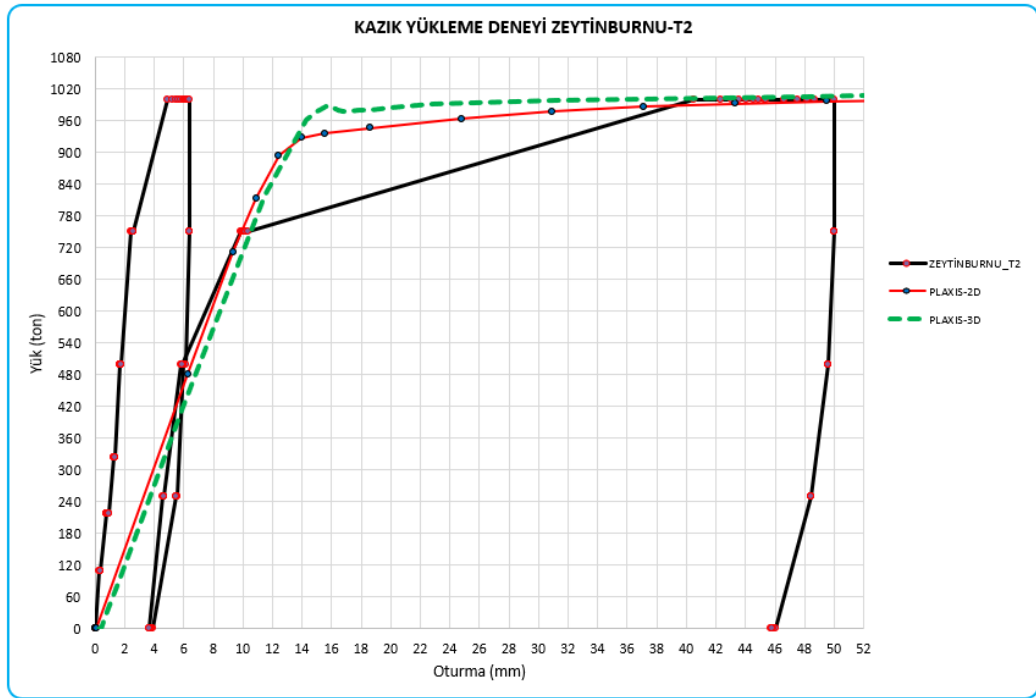
Tablo 6.25. 5.No.'lu deney kazığı için modelde kullanılan zemin parametreleri.

	Kireçtaşı ara tabakalı karbonatlı Kil	Siyah-gri-haki renkli Kil
Malzeme Modeli	Mohr - Coulomb	Mohr - Coulomb
Malzeme Tipi	Drenajsız	Drenajsız
Kuru Birim Hacim Ağırlık, γ_k (kN/m ³)	18.50	18.50
Doygun Birim Hacim Ağırlık, γ_d (kN/m ³)	19.00	19.00
Elastisite Modülü, E (kPa)	30000	50000
Kohezyon c' (kPa)	80	180
İçsel Sürtünme Açısı ϕ' (°)	8	10
Poisson Oranı, ν	0.30	0.30

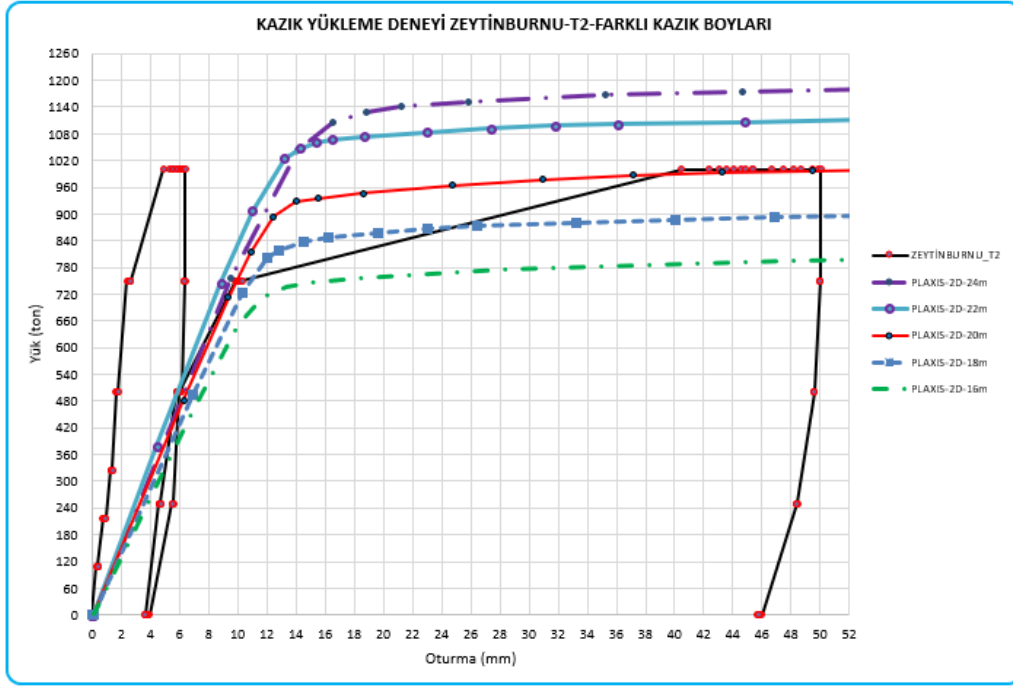
Sonlu elemanlar yöntemi ile yapılan analizler sonucunda bulunan oturmalar Şekil 6.28.'de gösterilmiştir. Deney sonuçları ile Plaxis-2D ve Plaxis-3D analiz sonuçlarının yük – oturma grafikleri Şekil 6.29'da karşılaştırılmalı olarak verilmiştir. Farklı kazık boylarına ait yük – oturma grafikleri ise Şekil 6.30'da karşılaştırılmalı olarak verilmiştir.



(a) (b) (10^{-3} m)
 Şekil 6.28. 5.No.'lu deney kazığına ait Plaxis-2D analiz modeli.
 a) Sonlu elemanlar modeli b) Kazık yerdeğiştirme grafiği (10^{-3} m)



Şekil 6.29. 5.No.'lu deney kazığına ait yük-oturma grafiği ve Plaxis sonuçları



Şekil 6.30. 5.No.'lu deney kazığına ait farklı kazık boyları için yük-oturma grafiği

Amprik yöntemler ile kazık taşıma gücü hesabı:

(FHWA) yöntemi ile hesap:

5.No.'lu deney kazığı için Amprik formüller ile yapılan hesaplamalarda, sonlu elemanlar yönteminde seçilmiş olan aynı parametreler kullanılmıştır. Sonuçlar Tablo 6.26'da verilmiştir.

Tablo 6.26. 5.No.'lu deney kazığı için taşıma gücü

Derinlik (m)	c' (kPa)	ϕ '°	kN/m ³	Nihai Çevre Sürtünmesi (ton)	Nihai Uç Direnç (ton)	Toplam Taşıma Kapasitesi (ton)
0	80.0	8	19.0	0.0	0.0	0.0
-1	80.0	8	19.0	20.0	47.8	67.8
-2	80.0	8	19.0	40.0	59.7	99.7
-3	80.0	8	19.0	64.2	135.7	200.0
-4	180.0	10	19.0	88.4	142.3	230.8
-6	180.0	10	19.0	136.8	146.1	283.0
-8	180.0	10	19.0	185.2	146.1	331.4
-10	180.0	10	19.0	233.6	146.1	379.8
-12	180.0	10	19.0	282.1	146.1	428.2
-14	180.0	10	19.0	330.5	146.1	476.6
-15	180.0	10	19.0	354.7	146.1	500.8
-16	180.0	10	19.0	378.9	146.1	525.0
-18	180.0	10	19.0	427.3	146.1	573.4
-19	180.0	10	19.0	451.5	146.1	597.6
-20	180.0	10	19.0	475.7	146.1	621.8

λ yöntemi ile hesap:

5.No.'lu deney kazığı için λ yöntemi ile yapılan hesaplamalarda, sonlu elemanlar yönteminde seçilmiş olan aynı parametreler kullanılmıştır. Sonuçlar Tablo 6.27'de verilmiştir.

Tablo 6.27. 5.No.'lu deney kazığı için λ yöntemi ile hesaplanan taşıma gücü

Derinlik (m)	c' (kPa)	γ_n (kN/m ³)	Efektif Gerilme (kN/m ²)	f_s Çevre Sürtünme direnci (kN/m ²)	Nihai Çevre Sürtünmesi(ton)	Nihai Uç Direnc (ton)	Toplam Taşıma Kapasitesi (ton)
0	80	19.0	0.0	0.0	0.0	56.5	56.5
-1	80	19.0	19.0	64.4	20.2	56.5	76.8
-2	80	19.0	38.0	71.3	42.6	56.5	99.2
-3	80	19.0	57.0	78.1	67.2	56.5	123.7
-4	180	19.0	46.0	109.6	101.6	127.2	228.9
-6	180	19.0	84.0	119.9	139.3	127.2	266.5
-8	180	19.0	102.0	124.7	178.5	127.2	305.7
-10	180	19.0	120.0	129.6	219.2	127.2	346.4
-12	180	19.0	138.0	109.6	253.6	127.2	380.8
-14	180	19.0	156.0	113.5	289.3	127.2	416.5
-15	180	19.0	165.0	115.5	325.6	127.2	452.8
-16	180	19.0	174.0	117.5	362.5	127.2	489.7
-18	180	19.0	192.0	121.4	400.6	127.2	527.8
-19	180	19.0	201.0	123.4	439.4	127.2	566.6
-20	180	19.0	210.0	125.4	478.8	127.2	606.0

5.No.'lu deney kazığı için, aynı parametreler ve farklı yöntemler ile hesaplanan kazık taşıma gücünün karşılaştırılması Tablo 6.28.'de verilmiştir.

Tablo 6.28. 5.No.'lu deney kazığı ait taşıma gücü sonuçları

Yöntem	Taşıma Gücü (ton)
Kazık Yükleme Deneyi	1000 ton
Plaxis-2D	980 ton
Plaxis-3D	1000 ton
FHWA Yöntemi	622 ton
λ Yöntemi	606 ton

6.2.3. Gaziosmanpaşa İlçesinde Yapılan Deney Kazığına Ait Modelleme

Deney yapılmış olan bölgenin zemin etüt raporundan ve sondaj sırasında tutulan loglardan idealize zemin profili elde edilmeye çalışılmıştır. Kazıkların nihai boylarının, 1 adet kazık yükleme deneyi ile belirlenmesi öngörülmüştür. Arazinin farklı tipteki zemin kesitlerine göre kazık yükleme lokasyonları belirlenmiş ve deneyler yapılmıştır. Gaziosmanpaşa İlçesinde yapılan 1 adet eksenel basınç deneyleri ile ilgili genel arazi zemin profilini temsil eden karot sandığı Şekil 6.31.'de gösterilmiştir. [34]. Zemine ait sondaj logları Ek-C'de verilmiştir.



Şekil 6.31. Gaziosmanpaşa İlçesinde yapılan deneyin bulunduğu sahaya ait karot sandığı[34].

Deney alanındaki zemin kesitinde 2 farklı zemin tabakası bulunmaktadır. Üst tabakada ileri derecede ayrılmış Kıltaşı-Kumtaşı tabakası ile yer yer dolgu benzeri zemin tabakası mevcuttur. Onun altında ise az ayrılmış Kumtaşı tabakası yer alır. Bahsedilen zeminlerin/kaya tabakalarının kalınlıkları yerel olarak değişmektedir. Aynı zamanda zemin tabakaları da kendi içinde yerel olarak farklı sıklık ve dayanım özellikleri de gösterebilmektedir. . Yeraltı su seviyesi görülmemiştir. Tablo 6.29'da deneye ait, zemin tabaka kalınlıkları verilmiştir. [34].

Tablo 6.29. 6. Deneye ait zemin tabaka kalınlıkları[34].

Deney No	Ayrılmış Kıltaşı Kumtaşı Kalınlığı (m)	Az Ayrılmış Kumtaşı Kalınlığı (m)	YASS (m)
6. Deney	0-4.0	4.0-	-

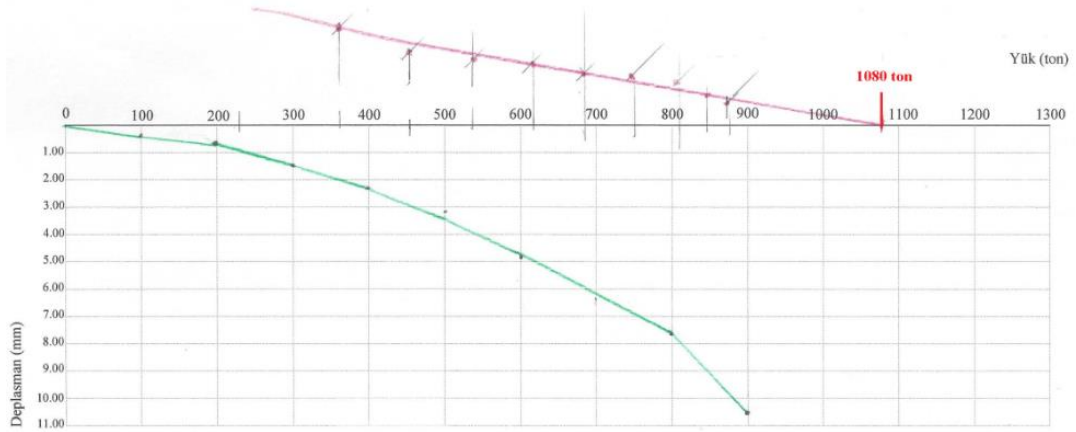
Sahada yapılan deney için idealize zemin profili belirlenmiştir. Kazık yükleme deneyi sonuçları ile uyumlu olacak şekilde zemin/kaya ve kazık parametreleri belirlenmiştir. Belirlenen parametreler Plaxis-2D yazılımında, eksenel simetri model seçeneğiyle sonlu elemanlar yöntemi ile modellenmiştir. Ayrıca modelleme Plaxis-3D sonlu elemanlar yazılımı ile üç boyutlu olarak da yapılmıştır. İki boyutlu ve üç boyutlu analiz sonuçları karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmaya ek olarak da farklı kazık boyları için de hesaplama yapılmış yük-deplasman eğrisi oluşturulmuştur. Sonlu elemanlar yöntemiyle geri analizler yaparak bulunan parametreler yaklaşık yöntemler hesabında kullanılmış, sonuçlar karşılaştırılarak tablo oluşturulmuştur.

6.2.3.1. 6.No.'lu Zemin ve Kazık Modeli

Kazık yükleme deneyi ile kazık taşıma gücü hesabı:

Mazurkiewicz yöntemi ile hesap:

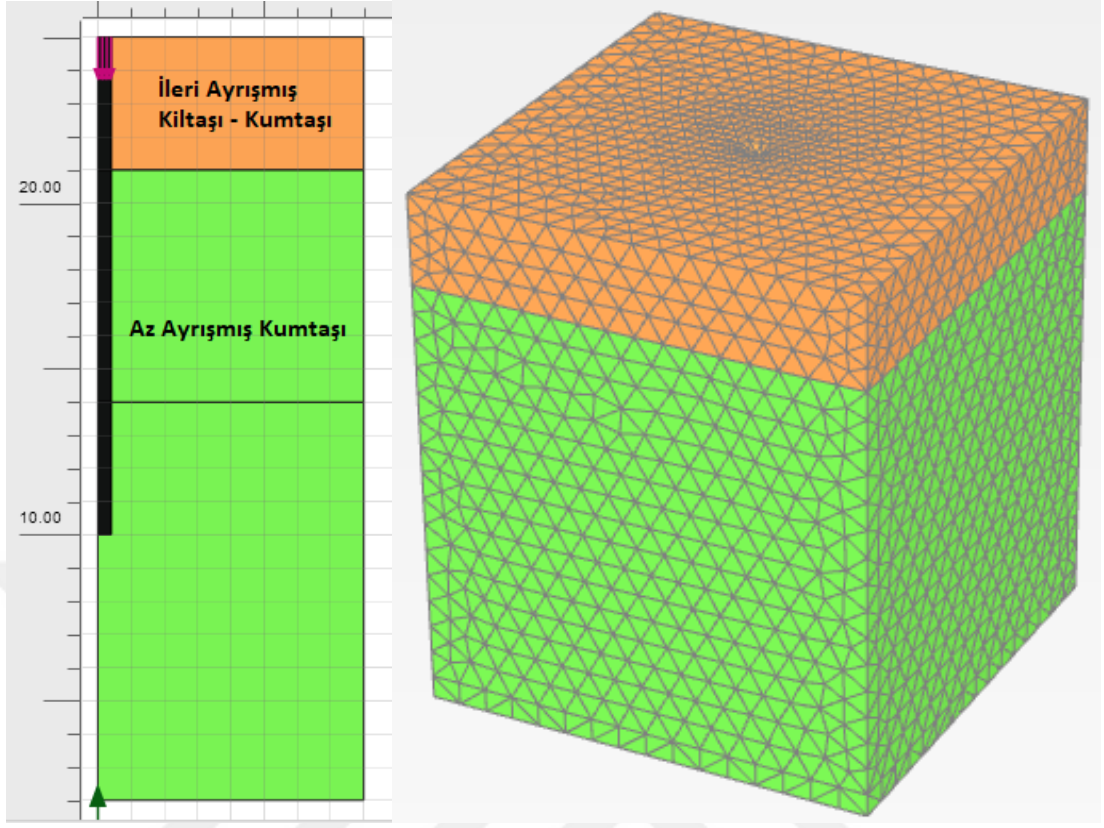
Kazık yükleme deneyi sonuçlarının değerlendirme yöntemlerinden biri olan Mazurkiewicz yöntemi ile kazık taşıma gücü belirlenmiştir. Mazurkiewicz yöntemi ile yapılan hesaplama Şekil 6.32'de gösterilmiştir. Yapılan hesaplamalarda kazık taşıma gücü 1080 ton olarak hesaplanmıştır. Kazık yükleme deneyi raporunda “çekme kazıklarındaki çekme hareketi fazla olduğu için deneyde en fazla 900 ton yük verilebilmiştir” denilmektedir. Nihai yük 900ton olarak bulunmuştur. [34].



Şekil 6.32. 6.No.'lu deney kazığına ait Mazurkiewicz yöntemi hesabı[34].

Sonlu elemanlar yöntemi ile kazık taşıma gücü hesabı:

Sonlu elemanlar yöntemlerinden olan Plaxis-2D ve Plaxis-3D programlarına ait idealize zemin profili ve analiz modeli Şekil 6.33.'te gösterilmiştir.



a) b)
Şekil 6.33. 1.No.'lu deney kazığı idealize zemin profili
a) Plaxis-2D b) Plaxis-3D

6.No.'lu deney kazığına ait iki ve üç boyutlu sonlu elemanlar yöntemi ile analizler yapılmıştır. İdealize zemin profili tabakaları Tablo 6.30.'da verilmiştir. İki programda da aynı kazık ve zemin parametreleri kullanılmıştır. Bu parametreler kazık yükleme deneyi sonuçları ile uyumlu olacak şekilde yük-yerdeğiştirme grafikleri incelenerek yapılan birçok geri analiz işlemleri ile belirlenmiştir. Hesapta kullanılan parametreler Tablo 6.31.'de verilmiştir. Modelde dikkate alınan kazık çapı 80cm, kazık boyu ise 15.0m'dir.

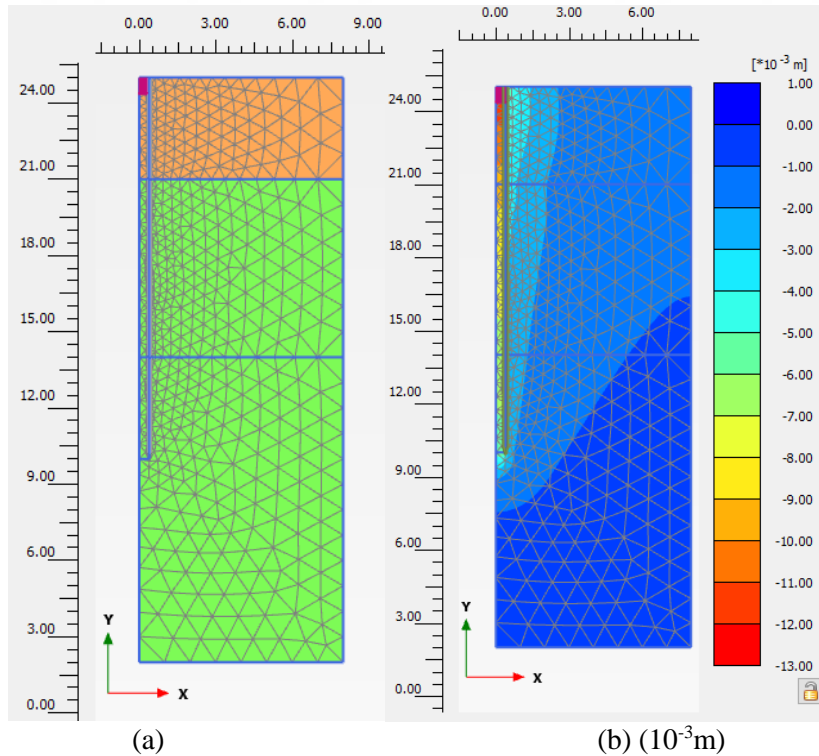
Tablo 6.30. 6 No.'lu deney kazığı idealize zemin profili

Zemin Tabakaları Derinlikleri (m)	Zemin/Kaya	Yeraltı Suyu Seviyesi (Y.A.S.S.)
0.00 – 4.00	İleri Derecede Ayrışmış Kıltaşı-Kumtaşı	-
4.00 –	Az Ayrışmış Kumtaşı	

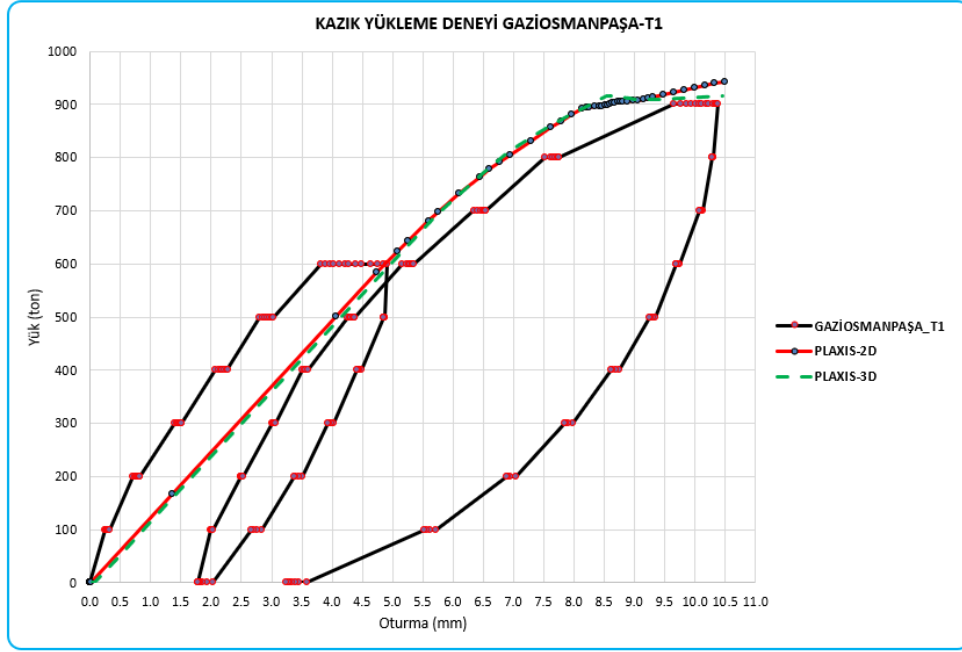
Tablo 6.31. 6.No.'lu deney kazığı için modelde kullanılan zemin parametreleri

	İleri Derecede Ayrışmış Kiltışı-Kumtaşı	Az Ayrışmış Kumtaşı
Malzeme Modeli	Mohr - Coulomb	Mohr - Coulomb
Malzeme Tipi	Drenajlı	Drenajlı
Kuru Birim Hacim Ağırlık, γ_k (kN/m ³)	21.00	23.00
Doymun Birim Hacim Ağırlık, γ_d (kN/m ³)	22.00	24.00
Elastisite Modülü, E (kPa)	50000	350000
Kohezyon c' (kPa)	60	200
İçsel Sürtünme Açısı ϕ' (°)	30	30
Poisson Oranı, ν	0.30	0.30

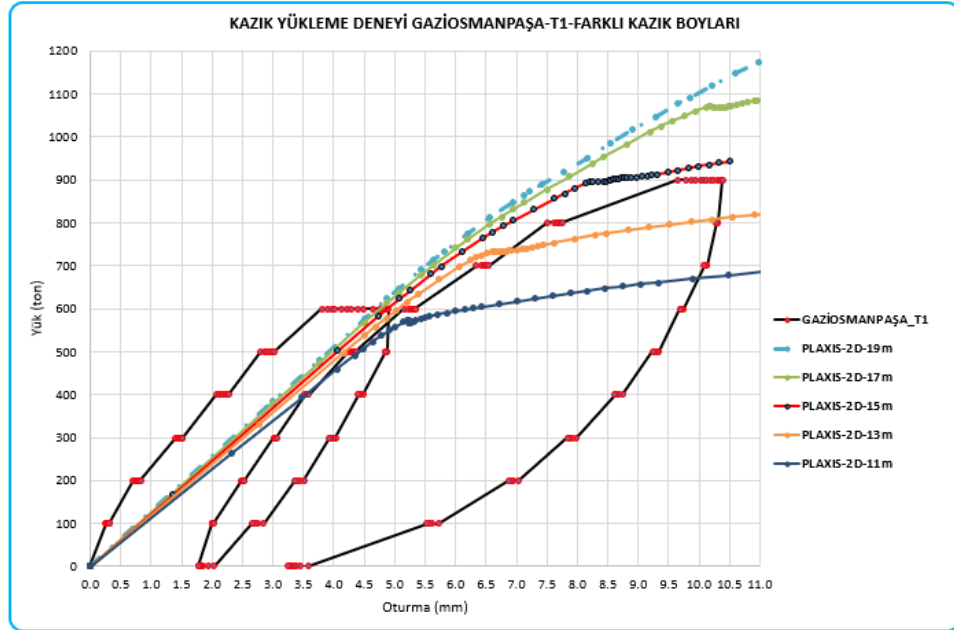
Sonlu elemanlar yöntemi ile yapılan analizler sonucunda bulunan oturmalar Şekil 6.34.'de gösterilmiştir. Deney sonuçları ile Plaxis-2D ve Plaxis-3D analiz sonuçlarının yük – oturma grafikleri Şekil 6.35'te karşılaştırılmalı olarak verilmiştir. Farklı kazık boylarına ait yük – oturma grafikleri ise Şekil 6.36'da karşılaştırılmalı olarak verilmiştir.



Şekil 6.34. 6.No.'lu deney kazığına ait Plaxis-2D analiz modeli.
a)Sonlu elemanlar modeli b) Kazık yerdeğiştirme grafiği (10⁻³m)



Şekil 6.35. 6.No.'lu deney kazığına ait yük-oturma grafiği ve Plaxis sonuçları



Şekil 6.36. 6.No.'lu deney kazığına ait farklı kazık boyları için yük-oturma grafiği

Amprik yöntemler ile kazık taşıma gücü hesabı:

Kazık uç taşıma gücü:

Kazık taşıma gücü, kazık yüklemesi deneyleri ve sonlu elemanlar yöntemi ile hesaplanmıştır. Kazık taşıma gücü, ayrıca 3. Bölümde anlatılan amprik ve yarı amprik formüller ile de hesaplanabilir. Kayaya gömülü kazıklar için önerilen yöntemlerden uç

dirence göre hesap ile yapılmıştır. Yöntemin detayları 3.Bölümde anlatılmıştır. Rowe ve Armitage (1987) $q_{maks}=2.7*\sigma_c$ formülü kullanılarak yapılan hesaplamada, zemin etüt raporu verilerinden $\sigma_c = 35.5$ MPa olarak alınmıştır.

$2.7*35.5=95.85$ MPa hesaplanmıştır.

$95.85*A_k=95.85*0.785*0.80^2= 4815$ ton olarak bulunmuştur.

80 cm çapında, 15m derinliğindeki kazık için yaklaşık yöntemle hesaplanan göçme yükü 4815 ton olarak bulunmuştur. Ancak betondaki basınç mukavemeti dikkate alındığında nihai taşıma gücü:

$A_c*f_{ck}=0.785*0.80^2*30=1507$ ton olarak belirlenmiştir.

Kazık çevre taşıma gücü:

Kayaya gömülü kazıklar için önerilen yöntemlerden çevre sürtünmesi direncine göre hesap ile yapılmıştır. Yöntemin detayları 3.Bölümde anlatılmıştır.

$f_{su} = \alpha q_u^\beta$ bağıntısı ile hesap yapılmıştır.

α ve β katsayıları Rowe ve Armitage (1984) tarafından önerildiği şekilde hesaplarda dikkate alınmıştır. Zemin etüt raporu verilerinden $\sigma_c = 35.5$ MPa olarak alınmıştır. Ancak kazık beton mukavemeti 30Mpa'dır. Bu sebeple $q_u=30.0$ MPa olarak alınmıştır.

$f_{su} = 0.40*30^{0.57} = 2.78$ MPa=2780kPa

80cm çapındaki kazığın 1.00 metresinin yüzey alanı: $3.14*0.8*1=2.152$ m²

1.00 uzunluğundaki soketin taşıyabileceği nihai yük : $2.152*2780=5982$ kN=598ton

6.00m soket boyu için hesap: $6*598=3588$ ton olarak bulunur.

80cm çapında, 15m derinliğindeki kazık için yaklaşık yöntemle hesaplanan göçme yükü 3588 ton olarak bulunmuştur. Ancak betondaki basınç mukavemeti dikkate alındığında nihai taşıma gücü:

$A_c*f_{ck}=0.785*0.80^2*30=1507$ ton olarak belirlenmiştir.

6.No.'lu deney kazığı için, aynı parametreler ve farklı yöntemler ile hesaplanan kazık taşıma gücünün karşılaştırılması Tablo 6.32.'de verilmiştir.

Tablo 6.32. 6.No.'lu deney kazığı ait taşıma gücü sonuçları

Yöntem	Taşıma Gücü (ton)
Kazık Yükleme Deneyi	900 ton
Plaxis-2D	915 ton
Plaxis-3D	915 ton
Amirik Yöntemler	1507 ton

6.Bölümde kazık taşıma gücü hesap yöntemleri anlatılmıştır. Her bir deney kazığı için farklı yöntemlerle hesap yapılmıştır. Taşıma gücü değerleri tablolar halinde sunulmuştur.



7. DEĞERLENDİRME

Çalışma kapsamında, 6 adet deney kazığı için farklı hesap yöntemleri ile tekil kazığın nihai taşıma gücü hesaplanmıştır. Kazık yükleme deneyleri ile uyumlu olacak şekilde sonlu elemanlar yöntemi ile hem iki boyutlu hem de üç boyutlu hesaplamalar yapılmıştır.

Yapılan çalışmalar ile tekil kazığın düşey yükler altındaki davranışı modellenmiştir. Yükleme deneyleri ile karşılaştırılmak üzere tekil kazığın yük-oturma ilişkisi elde edilmiştir. Sonlu elemanlar yönteminin yanı sıra kazıkların taşıma gücü farklı ampirik yöntemler ile değerlendirilmiştir. Bunlar arasında Brinch-Hansen yöntemi, teğet yöntemi, Mazurkiewicz yöntemleri kullanılmıştır. Yaklaşık yöntemler ile kazıkların nihai taşıma gücü değerleri hesaplanmış, hesaplamalar hem FHWA (α , β) hem de λ yöntemi ile yapılmıştır. Deney kazıklarına ait bilgiler Tablo 7.1.'de verilmiştir.

Tablo 7.1. Toplam 6 adet deney kazıkları ve sonuçları

Açıklamalar	1.No'lu	2.No'lu	3.No'lu	4.No'lu	5.No'lu	6.No'lu
Deney Sahası (İstanbul)	Silivri	Silivri	Silivri	Z.burnu	Z.burnu	G.paşa
Kazık Çapı	80cm	80cm	80cm	100cm	100cm	80cm
Kazık Boyu	16m	16m	16m	14m	20m	15m
Donatı Durumu	Donatılı	Donatılı	Donatısız	Donatısız	Donatılı	Donatılı
Kazık Yükleme Deneyi Değerlendirme Yöntemi	Brinch-Hansen	Brinch-Hansen	Teğet	Brinch-Hansen	Brinch-Hansen	Mazurkiewicz
Kazık Yükleme Deneyi Sonucu	360 ton	283 ton	300 ton	573 ton	1000ton	900 ton
Plaxis-2D	350 ton	280 ton	315 ton	575 ton	980 ton	915 ton
Plaxis-3D	355 ton	290 ton	330 ton	575 ton	1000 ton	915 ton
FHWA Yöntem	317 ton	269 ton	304 ton	429 ton	622 ton	-
λ Yöntemi	278 ton	231ton	271 ton	423 ton	606 ton	-
Kayaya soketli uç	-	-	-	-	-	1507 ton
Kayaya soketli çevre	-	-	-	-	-	1507 ton

1, 2 ve 3 No'lu deneyler aynı proje sahasında yapılmıştır. Tüm kazıkların çapları ve boyları aynıdır. Zemin profilleri incelendiğinde yer altı su seviyeleri 4.0 metrede olduğu görülmüştür. Zemin birimleri aynı olmasına rağmen tabaka kalınlıkları farklılık göstermektedir. Nebati toprak kalınlığı en fazla olduğu deney 2 No'lu deneydir. 1, 2, ve 3 No'lu deney sonuçları değerlendirildiğinde, 2 No'lu deneyin taşıma gücü en azdır.

Plaxis-3D ile hesaplanan değerlerin genel olarak Plaxis-2D sonuçlarına göre yaklaşık %5 daha fazla olduğu gözlenmiştir. Sonlu elemanlar yöntemi ile bulunan sonuçların ampirik (yaklaşık) yöntemler ile bulunan sonuçlardan daha yüksek olduğu ve deney sonuçlarına daha yakın olduğu grlmştir. Tablo 7.2’de 1, 2, 3 No’lu deney sonuçları verilmiştir.

Tablo 7.2. 1,2,3 No’lu Deney kazıklarına ait taşıma gücü sonuçları (ton)

Yöntem	1 No’lu Deney	2 No’lu Deney	3 No’lu Deney
Kazık Yükleme Deneyi	360 ton	283	300
Plaxis-2D	350 ton	280	315
Plaxis-3D	355 ton	290	330
FHWA Yöntemi	317 ton	269	304
λ Yöntemi	278 ton	231	271

4 ve 5 No’lu deneyler aynı proje sahasında yapılmıştır. Kazıkların çapları aynı olup uzunlukları farklıdır. Zemin profilleri incelendiğinde yer altı su seviyeleri 3.0 metrede olduğu grlmştir. Zemin birimleri aynı olmasına rağmen tabaka kalınlıkları farklılık göstermektedir. Zemin profilinin st kısmında bulunan karbonatlı kil tabakası alt katmanda bulunan siyah-gri renkli kil tabakasına göre daha düşük kohezyona sahiptir. 4 No’lu deneyin yapıldığı bölgede karbonatlı kil tabakası kalınlığı 5 No’lu deneyin yapıldığı bölgeye göre daha fazladır. Ayrıca 5.No’lu kazık boyu (20.0m) daha uzundur. Bu durumdan dolayı 5 No’lu kazığın nihai taşıma gücü daha fazla bulunmuştur. 4 ve 5 No’lu deney sonuçları değerlendirildiğinde, Plaxis-3D ile hesaplanan değerlerin genel olarak Plaxis-2D sonuçlarına göre yaklaşık % 2 daha fazla olduğu grlmştir. Sonlu elemanlar yöntemi ile bulunan sonuçların ampirik (yaklaşık) yöntemler ile bulunan sonuçlardan daha yüksek olduğu ve deney sonuçlarına daha yakın olduğu grlmştir. Tablo 7.3’te 4 ve 5 No’lu deney sonuçları verilmiştir.

Tablo 7.3. 4 ve 5 No’lu Deney kazıklarına ait taşıma gücü sonuçları (ton)

Yöntem	4 No’lu Deney	5 No’lu Deney
Kazık Yükleme Deneyi	573	1000
Plaxis-2D	575	980
Plaxis-3D	575	1000
FHWA Yöntemi	429	622
λ Yöntemi	423	606

6 No'lu deney kayaya soketli bir kazık üzerinde yapılmıştır. Zemin profilleri incelendiğinde yer altı su seviyesine rastlanılmamıştır. Üst tabakada aşırı ayrılmış kaya tabakası ve dolgu bulunurken, alt tabakada az ayrılmış kaya tabakası bulunmaktadır. Kazık yükleme deneyi sırasında çekme kazıklarında fazla deplasman olduğundan 900 ton yüke kadar çıkılabilmektedir. Bu yük nihai yük olarak kabul edilmiştir. 6 No'lu deney sonuçları değerlendirildiğinde, Plaxis-3D ile Plaxis-2D sonuçlarının aynı olduğu görülmüştür. Kayaya soketli kazıkta, sonlu elemanlar yöntemi ile bulunan sonuçların ampirik (yaklaşık) yöntemler ile bulunan sonuçlardan daha düşük olduğu ve deney sonuçlarına daha yakın olduğu görülmüştür. Tablo 7.4'te 6 No'lu deney sonuçları verilmiştir.

Tablo 7.4 6 No'lu deney kazığına ait taşıma gücü sonuçları

Yöntem	Taşıma Gücü (ton)
Kazık Yükleme Deneyi	900 ton
Plaxis-2D	915 ton
Plaxis-3D	915 ton
Ampirik Yöntemler	1507 ton

6 No'lu kazık için ampirik yöntemler ile iki farklı hesaplama yapılmıştır. Birinci hesaplamada sadece kazığın uç direnci, ikinci hesaplamada ise sadece soket sürtünmesi dikkate alınmıştır. İki hesap yöntemi ile de bulunan değerler betonun basınç mukavemeti ile hesaplanan değerlerin üzerinde çıkmıştır. Bu sebeple, ampirik yöntemler ile yapılan hesapta tekil kazığın düşey yükler altındaki nihai taşıma gücü betonun basınç mukavemetine bağlı olarak 1507 ton olarak kabul edilmiştir.

8. SONUÇLAR

Bu çalışma kapsamında, kazıklar ile ilgili genel bilgiler verilmiş ve kazık taşıma gücü hesap yöntemleri anlatılmıştır. Kazık taşıma gücü hesabında kohezyonlu ve kohezyonsuz zeminler ile kayaya soketli kazıklarda hesap yöntemlerinden bahsedilmiştir. Sahada yapılmış kazık deney sonuçları irdelenmiş ve sonlu elemanlar yöntemi ile modellenmeye çalışılmıştır.

Elde bulunan ve farklı bölge ve zemin profillerinde yapılan kazık yükleme deney sonuçları, zemin profillerine ve kazık özelliklerine bağlı olarak farklı özellikler göstermektedir. Bu tez kapsamında mevcut 6 adet kazık yükleme deney sonuçları kullanılmıştır. Silivri bölgesindeki deneyin yapıldığı zemin, Zeytinburnu bölgesindeki zemine göre daha yumuşaktır. Ayrıca Silivri bölgesinde yapılan deneyde zeminin üst bölgesinde nebati toprak bulunmaktadır. Bu durumların kazık yükleme deney sonuçlarına yansıdığı görülmüştür. Özellikleri aynı olan kazıkların, aynı oturma değerlerinde taşıdıkları yüklerin farklı olduğu görülmüştür. Kaya birimde yapılan deney kazığının diğer zeminlerde yapılan deneylere göre daha rijit davranış gösterdiği ve yük taşıma kapasitesinin ise yüksek olduğu görülmüştür.

Deneylere ait yük–oturma ve yükleme–boşaltma eğrilerinin eğimleri farklılık göstermektedir. Bu sebeple, kazık yükleme deneyi sonuçları, yükleme eğrisine en uygun yöntemle değerlendirilmiştir. 1, 2, 4, ve 5 No’lu deneyler için Brinch-Hansen yöntemi, 3 No’lu deney için teğet yöntem, 6 No’lu deney için ise Mazurkiewicz yönteminin uygun olabileceği değerlendirilmiştir. Kazık yükleme deneyleri, Plaxis sonlu elemanlar yazılımı ile modellenmiştir. Tekil kazığın düşey yükler altındaki doğrusal olmayan davranışı, yapılan geri analizler ile belirlenmiştir ve nihai taşıma gücü bulunmuştur. Daha sonra geri analizler ile bulunan parametreler, yaklaşık yöntemlerde de kullanılarak nihai taşıma gücü hesaplanmıştır.

Sonlu elemanlar yazılımı ile yapılan modellemeler hem üç boyutlu olarak hem de eksenel simetri model seçeneği ile iki boyutlu olarak yapılmıştır. Kazık yükleme deney sonuçları doğrudan değerlendirildiğinde zemin/kaya parametrelerini (E , c , ϕ vb.) bulmak mümkün değildir. Analizlerde malzeme modeli olarak Mohr–Coulomb modeli kullanılmıştır. Hem iki boyutlu modelde hem de üç boyutlu modelde aynı parametreler kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlarda iki hesap yönteminin de birbirine yakın sonuç

verdiği görülmüştür. Ancak üç boyutlu analiz sonuçlarının genel olarak %5 mertebelerinde daha yüksek çıktığı görülmüştür. Tekil kazığın düşey yükler altındaki davranışını belirlemek için iki ve üç boyutlu modelleme yöntemlerinin kazık deneyi sonuçları ile uyumlu olduğu görülmüştür.

Kil zeminlerde yapılan hesaplamalar, FHWA ve λ yöntemi olmak üzere iki farklı yaklaşık yöntem ile yapılmıştır. FHWA (α , β) yöntemi ile bulunan sonuçların, λ yöntemine göre daha yüksek olduğu görülmüştür. Bu durumun sebebi FHWA yönteminde, kohezyonlu ve kohezyonsuz zemin durumunun dikkate alınarak c ve ϕ parametrelerinin kullanılmış olması, λ yönteminde ise sadece kohezyon parametresinin kullanılmış olmasıdır. 1, 2, ve 3 No'lu deney sonuçları değerlendirildiğinde, FHWA yöntemi ile hesaplanan değerlerin λ yöntemine göre yaklaşık %14 daha yüksek olduğu görülmüştür. 4 ve 5 No'lu deney sonuçları değerlendirildiğinde, FHWA yöntemi ile hesaplanan değerlerin λ yöntemine göre yaklaşık % 2 daha yüksek olduğu görülmüştür. Hesapların yapıldığı kil birimlerde içsel sürtünme açısı çok düşüktür. FHWA yöntemi ile yapılan hesaplamalarda, kohezyon artışına bağlı olarak içsel sürtünme açısının nihai taşıma gücüne katkısı azalmaktadır. λ yönteminde ise içsel sürtünme açısı hesaplarda kullanılmamaktadır. Sonuç olarak zeminin kohezyon değeri arttıkça, bu iki yöntemin birbirine daha yakın sonuç verdiği gözlenmiştir.

1, 2 ve 3 No'lu deneylerin yapıldığı bölgede bulunan kil tabakasının kohezyonu, 4 ve 5 No'lu deneylerin yapıldığı bölgedeki killerden daha düşüktür. 1, 2, ve 3 No'lu deney sonuçları değerlendirildiğinde, ampirik yöntemler ile hesaplanan değerlerin genel olarak deney sonuçlarına göre yaklaşık %10-%15 daha düşük olduğu görülmüştür. 4, ve 5 No'lu deney sonuçları değerlendirildiğinde ise ampirik yöntemler ile hesaplanan değerlerin genel olarak deney sonuçlarına göre yaklaşık % 25-40 daha düşük olduğu görülmüştür. Ampirik formüller yapılan hesaplamalarda, kohezyon artışına bağlı olarak adezyon faktörü düşmektedir. Bu sebeple düşük kohezyonlu zeminlerde için bulunan sonuçlar deney sonuçlarına daha yakındır.

6.No'lu deney sonuçları değerlendirildiğinde, iki ve üç boyutlu sonlu elemanlar analizi sonuçlarının aynı olduğu görülmüştür. Kayaya soketli kazıkta, sonlu elemanlar

yöntemi ile bulunan sonuçların ampirik yöntemler ile bulunan sonuçlardan daha düşük olduğu ve deney sonuçlarına daha yakın olduğu görülmüştür. Hesaplamalarda kullanılan iki farklı ampirik yöntem ile bulunan değerler betonun basınç mukavemeti ile hesaplanan değer üzerinde çıktığı için tekil kazığın düşey yükler altındaki nihai taşıma gücü betonun basınç mukavemetine bağlı olarak belirlenmiştir.

Genel olarak, ampirik formüller ile sonlu elemanlar yöntemi kıyaslandığında, kazık yükleme deney sonuçlarına en yakın sonucu sonlu elemanlar yöntemi vermiştir. Proje sahasının büyük olması durumunda veya bu sahada uygulanabilecek farklı yapılar için kazık tasarımı değişkenlik gösterecektir. Her farklı durum için kazık yükleme deneyi yapılması hem pratik hem de ekonomik olmayacaktır. Farklı zemin profili ve farklı yapı yükleri altında kazık taşıma kapasitesi ve oturmaları hesaplanmak istenirse, elde edilen parametreler, sonlu elemanlar yöntemi ile modellenip sonuçların tahmin edilebileceği anlaşılmıştır. Elde edilen bu sonuçların, yapı-temel-kazık-zemin veya kazık-zemin etkileşim analizlerinde katkısı olabilecektir.

Bu tez çalışması kapsamında, toplamda 6 adet deney kazığının davranışı incelenmiştir. Bu kazıklardan 4 adedi donatılı, 2 adedi donatısız kazıktır. 4. ve 5. No'lu kazıkların boyları farklıdır. 6. No'lu kazık, kayaya soketli donatılı bir kazıktır. Bu sebeple, 4., 5. ve 6.No'lu kazıklar donatı durumu açısından kıyaslanmamıştır. 1., 2., ve 3. No'lu deneylerindeki kazık çap ve boyları aynıdır. Deney sonuçlarına göre kazıkların yük taşıma kapasiteleri sırasıyla, 360, 283 ve 300 ton'dur. 1., 2., No'lu deney kazıkları donatılı, 3. No'lu deney kazığı donatısızdır. Hesaplarda, kazık betonu, donatısız olarak dikkate alınmıştır. Deney sonuçları arasındaki farkların, zeminin tabaka kalınlıkları arasındaki farklardan kaynaklandığı anlaşılmıştır. Kazıktaki donatı durumunun, tekil kazığın düşey yük taşıma kapasitesine etkisinin olmadığı görülmüştür.

Çalışma, altı adet deney verisi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçların genelleştirilmesi söz konusu olmamakla birlikte farklı zemin koşullarında gerçekleştirilmiş daha fazla sayıda deney sonuçlarının kullanılması ve karşılaştırılması suretiyle sonuçlarının güvenilirliği artabilecektir. Mevcut ampirik yöntemlerin deney sonuçlarına göre düşük sonuçlar vermesi, zemin davranışındaki ve saha/laboratuvar deney sonuçlarındaki belirsizlikler ve olası sapmalar dikkate alındığında normal karşılanabilir. Öte yandan mevcut zeminler için farklı malzeme modelleri de dikkate

alınıp benzer çalışmalar gerçekleştirilebilir ve farklı malzeme modellerinin sonuçlar üzerindeki etkisi irdelenebilir.



KAYNAKLAR

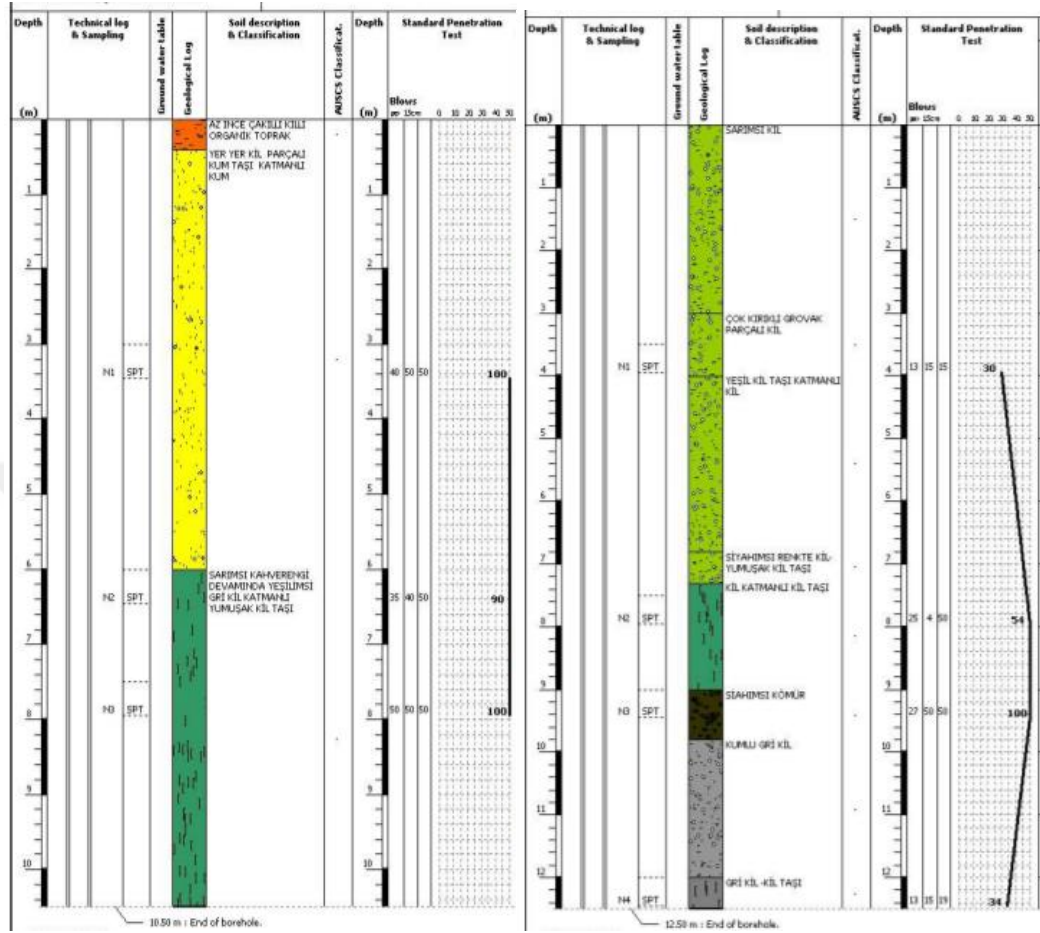
- [1] Uzuner, B.A. “Temel Mühendisliğine Giriş”, Derya Kitabevi, 187-219, Trabzon, 2006.
- [2] Düzceer R., (2017), “Derin Temeller ve Dayanma Yapıları Ders Notları”, İstanbul Kültür Üniversitesi.
- [3] Kirkit M., (2009), Türkiye’de yapılmış kazık yükleme deneylerinden veri tabanı oluşturulması ve veri tabanında bulunan kayaya soketli fore kazıkların analizi, İstanbul.
- [4] Hemada A.A. ve diğ. (2014) Application of FEM to evaluate pile loading test in some special situations, China.
- [5] Kazimierz J. ve diğ. (2015) Numerical modelling and bearing capacity analysis of pile foundation, Poland.
- [6] Köpüklü H., (2015) Baret kazıklı temeller ile ilgili hesap yöntemleri, imalat ve kalite kontrol esasları, İstanbul.
- [7] Yankı O., (2015) İki yönlü statik yükleme deneyi ve nümerik analizlerle kazık davranışının incelenmesi, İstanbul.
- [8] Tolun M., Laman M. (2016), Eksenel yüklü tekil kazığın farklı yöntemlerle sayısal analizi, Adana.
- [9] Özkan T. M., Afacan K. B. (2016), Perde kazıkların düşey taşıma gücünün sonlu elemanlar yöntemiyle incelenmesi, İstanbul.
- [10] Maizir H. ve diğ. (2016), Estimation of Pile Bearing Capacity of Single Driven Pile in Sandy Soil using Finite Element and Artificial Neural Network Methods, Osaka.
- [11] Mrtinkus V. ve diğ. (2017), Numerical simulation of displacement model pile test performed in artificial sand deposit, Lithuania.

- [12] Salim R. R., Abdulrazzaq O. A. (2017), Analysis of Cast in Place Piles Using Finite Elements Method, Irak.
- [13] Helvacıoğlu N.Y., Güler E. (2017), Kireçtaşında yapılan Osterberg cell kazık yükleme deneyinin sonlu elemanlar yöntemi ile sayısal simülasyonu, İstanbul.
- [14] Çelik F., (2018), Statik kazık yükleme deneyinin farklı zemin modellerinde sonlu elemanlar yöntemi ile modellenmesi ve arazi bulgularıyla karşılaştırılması, Niğde.
- [15] Kabaca H., Vural İ. (2018), Kazıkların taşıma gücü ve oturma parametrelerinin incelenmesi, taşıma gücü için yeni bir metot önerisi, Sakarya.
- [16] Bilgiç A.Ç., (2019), Killi zeminlerdeki fore kazıkların taşıma kapasitelerinin yükleme deneyleri ile tahmini, İstanbul.
- [17] TS EN 1536+A1, (2015), Özel Jeoteknik Uygulamalar- Delme Kazıklar (Fore Kazıklar), Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [18] Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (2018), AFAD, Ankara.
- [19] Sağlamer, A. Ve diğ., 2017, Rus-Amerikan-Avrupa Standartlarına Göre Hesaplanan Fore Kazık Taşıma Kapasitelerinin Saha Testlerinin Sonuçları ile Karşılaştırılması, 3rd International Soil-Structure Interaction Symposium, İzmir, 329-348.
- [20] AASHTO (2005), Standart Specifications for Highway Bridges, 17th Edition, American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington DC.
- [21] AASHTO LRFD (2014), AASHTO LRFD Bridge Design Specifications, American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington.
- [22] Navfac (1986), Naval Facilities Engineering Command Foundations & Earth Structures, Virginia.
- [23] SNIP 2.02.03-85 (1999), SNIP National Codes & Standards of Russia, Moskova.

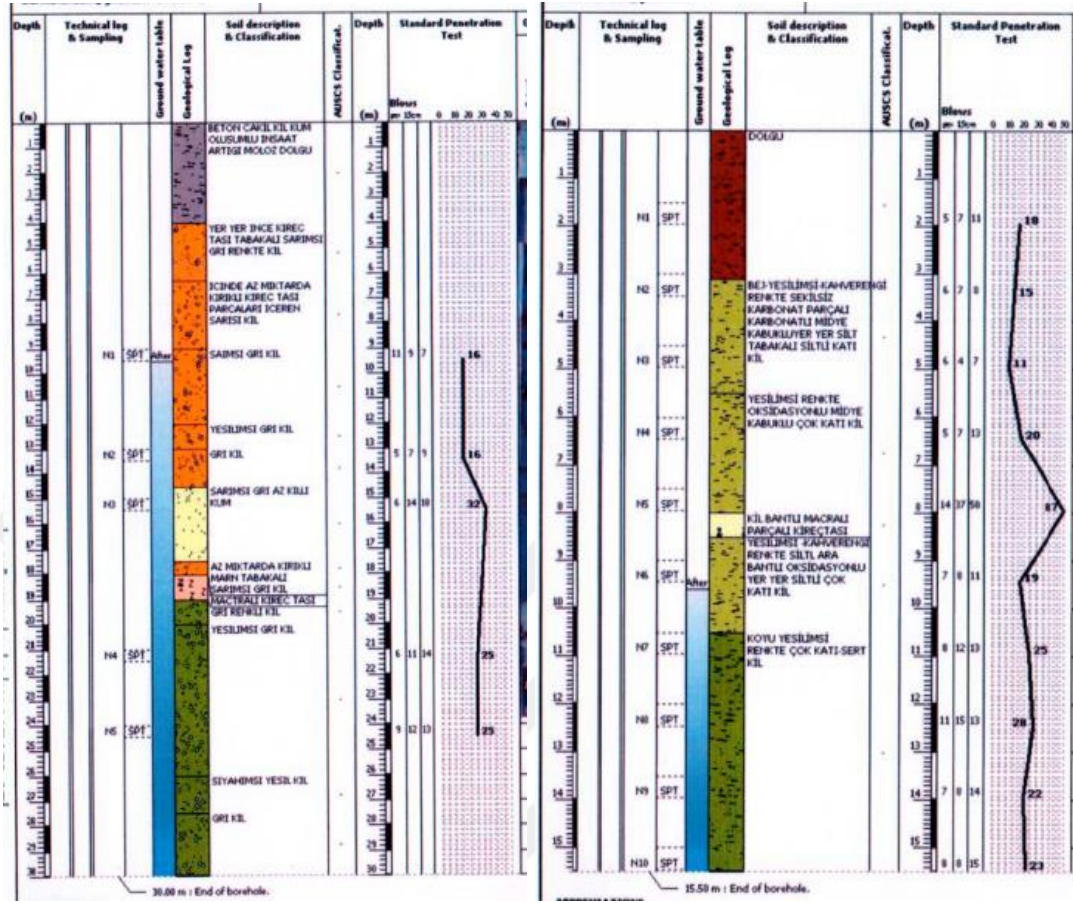
- [24] Toğrol, E., Tan, A. O. (2009). Kazıklı Temeller. Birsen Yayınevi, İstanbul.
- [25] Uzuner, B.A. “Temel Mühendisliğine Giriş”, Derya Kitabevi, 187-219, Trabzon,2006.
- [26] Aktepe M.N., (2016), Kazık yükleme deneylerini değerlendirme yöntemlerinden Özkan-Alku Yönteminin geliştirilmesi ve önerilen yeni yöntem ile erken göçme yükü tahmini, İstanbul.
- [27] ASTM D 1143-81., 1989. “Standart Test Method For Piles Under Statical Axial Compressive Loads”, American Society for Testing and Materials, Philedelphia.
- [28]Branch-Hansen, “Discussion on Hyperbolic Stress-Strain Response”, AmericanSociety of CivilEngineering, ASCE, Journal for Soil Mechanics and Foundation Engineering, Vol.97, SM6, pp.931-932. 1963.
- [29]Mazurkiewicz, B.K., 1972. “Test Loading of Piles According to PolishRegulations” Preliminary Report No.35, Commision on Pile Research, RoyalSwedish Academy of Eng. Science, Stockholm.
- [30] Arioğlu, E., Yılmaz, A.O. ve diğ. (2007). Kayaya Gömülü Fore Kazıklar Bilgi Föyleri-Çözümlü Problemler. Evrim Yayınevi, İstanbul.
- [31] Plaxis 2D 2016, Reference Manual, Build 8122, 2016.
- [32]http://mmf2.ogu.edu.tr/atopcu/index_dosyalar/Dersler/SonluElemanlarMetodu/SEM01_Giriş_Amaç.pdf, (Erişim tarihi: 26.10.2019)
- [33] Plaxis 3D 2016, Reference Manual, Build 8122, 2016.
- [34] KİPTAŞ Genel Müdürlüğü (1987). İstanbul.
- [35] Bell, F. G. (1992). Engineering In Rock Masses. Oxford : F.G. Bell, Butterworth-Heinmann Ltd.

EKLER

EK A: Silivri Bölgesine Ait Sondaj Logu



EK B: Zeytinburnu Bölgesine Ait Sondaj Logu



EK C: Gaziosmanpaşa Bölgesine Ait Sondaj Logu

SONDAJ DERİNLİĞİ (m)	ÖRNEKLER / TESTLER											LİTOLOJİ	AÇIKLAMALAR						
	ÖRNEK NO	ÖRNEKLEME DERİNLİĞİ (m)	ÖRNEK TİPİ	SPT de 30cm için darbe sayısı (N)				SPT GRAFİĞİ						Toplam Karot Yüzdesi TCR (%)	Kaya kalitesi RQD (%)	Sağlam Karot Verimi SCR (%)	Muhafaza Boru Derinliği (m.)	Formasyon Derinlikleri (m.)	
				15	30	45	N ₃₀	10	20	30	40								50
0																		DOLGU ZEMİN (çakıl, kum, kiremit parçaları)	
2.00																	1.0		
4.00													47	0					Gri -Kahverenkli, ince daneli , ince tabakalı, çok sık eklemli ve kırıklı, eklem yüzeyleri killi, az ayrılmış KİLTAŞI (Trakya Fm)
6.00													51	0					
8.00													50	0					
10.00													42	0			10.00		
12.00													53	13					
14.00													54	40					
16.00													55	20					
18.00													35	35					
20.00													38	38					
22.00													40	21					
24.00													41	27					
26.00													35	35			26.00		
28.00																			
30.00																			

EK D: Kazık Yükleme Deney Verileri Kullanım İzni



KONU : Kazık Yükleme Deneyleri Hk.

SAYIN İLGİLİ,

Kurumumuz/şirketimiz tarafından hazırlanan aşağıdaki verilerin, Merve HOTHOT tarafından Yüksek Lisans Tez çalışması kapsamında bilimsel araştırma amacı ile kullanılmasının bir mahsuru bulunmamaktadır.

- İstanbul İli, Zeytinburnu İlçesi sınırları içerisinde yaptırmış olduğumuz, zemin etüt raporu, geoteknik rapor, geoteknik projeler ile kazık yükleme deneyleri.
- İstanbul İli, Silivri İlçesi sınırları içerisinde yaptırmış olduğumuz, zemin etüt raporu, geoteknik rapor, geoteknik projeler ile kazık yükleme deneyleri.
- İstanbul İli, Gaziosmanpaşa İlçesi sınırları içerisinde yaptırmış olduğumuz, zemin etüt raporu, geoteknik rapor, geoteknik projeler ile kazık yükleme deneyleri.

Bilgilerinize arz/rica ederiz.

Kiptaş İstanbul Konut İmar Plan Turizm Ulaşım Sanayi ve Ticaret A.Ş.

Seytinizam Mah.Gümüşsuyu Devletbaşı Cad. No:17/1 34015 Zeytinburnu / İstanbul • Tel: 0212 414 98 98 • Faks: 0212 510 58 88 • www.kiptas.istanbul • info@kiptas.com.tr
Mersis No: 06630-0221-1800019 Vergi Dairesi: Büyük Mükellefler-5630022118 Tic. Sicil No: 231873/175439 Sermaye: 422.249.861 TL



İSTANBUL BÜYÜKŞEHİR BELEDİYESİ