

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



TRABZON



KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ORCID : - - -

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünce

Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : / /

Tezin Savunma Tarihi : / /

Tez Danışmanı :
ORCID : - - -

Trabzon

ÖNSÖZ

Bu çalışma Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır.

Yüksek lisans tez çalışmam sırasında yardımlarını ve desteklerini esirgemeyen, tüm süreç boyunca yanımda olan ve bana yol gösteren tez danışmanım sayın Doç. Dr. Zekai ANGIN'a,

Tez sürecimde desteğini esirgemeyen, her durumda bilgi ve tecrübesinden faydalandığım sevgili hocam Prof. Dr. S. Banu İKİZLER'e,

Tüm eğitim öğretim hayatım boyunca bana hep güvenen babama ve her daim yanımda olan canım anneme,

Bu süreç boyunca benden daha heyecanlı ve gururlu olan arkadaşlarıma ve tüm sorularımı sabırla cevaplayan Kerim abim ve Ceyda ablama ,

Mühendislik kavramı altında benimle tüm tecrübelerini paylaşan, sahaya attığım adımdan itibaren elimi tutan ve hiç bırakmayan şefime,

Mesleğim ve eğitim konusunda bana yol gösteren, benim üzerimde emeği olan herkese teşekkürlerimi sunarım.

Elif ÇALIK
Trabzon, 2023

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Farklı Çaplarda Tasarlanan Plastik Kazıkların Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Analizi: İstanbul İli Bakırköy İlçesi Milli Savunma Üniversitesi Kapalı Spor Salonu Örneği” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Doç. Dr. Zekai ANGIN’ın sorumluluğunda tamamladığımı, verileri kendim topladığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 25/09/2023

Elif ÇALIK

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET	VIII
SUMMARY	IX
ŞEKİLLER DİZİNİ	X
TABLolar DİZİNİ.....	XII
SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ	XIV
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı	1
1.3. Literatür Özeti	2
1.4. Kazıklar	6
1.5. Kazıkların Sınıflandırılması	6
1.5.1. Kazık Malzemesine Göre Sınıflandırma	7
1.5.1.1. Ahşap Kazıklar	7
1.5.1.2. Çelik Kazıklar	8
1.5.1.3. Betonarme Kazıklar.....	9
1.5.1.3.1. Prefabrik Betonarme Kazık.....	9
1.5.1.3.2. Yerinde Dökme Betonarme Kazıklar.....	10
1.5.1.4. Kompozit Kazıklar	12
1.5.2. Zeminde Oluşturdukları Deplasmana Göre Sınıflandırma.....	12
1.5.2.1. Büyük Deplasman Kazıkları	12
1.5.2.2. Küçük Deplasman Kazıkları	12
1.5.2.3. Deplasman Yaratmayan Kazıklar.....	12
1.5.3. Taşıma Kapasitesinin Oluşmasına Göre Sınıflandırma	13
1.5.3.1. Uç Kazıkları	13
1.5.3.1.1. Ayaklı Uç Kazıkları	13
1.5.3.1.2. Ayaksız Uç Kazıkları	13

1.5.3.2.	Sürtünme Kazıkları	14
1.6.	Kazıklı Temellerin Düşey Taşıma Gücü Hesabı.....	14
1.6.1.	Statik Formüllerle Taşıma Kapasitesinin Belirlemesi.....	15
1.6.1.1.	Kohezyonsuz Zeminlerde Kazık Taşıma Kapasitesinin Belirlenmesi	16
1.6.1.1.1.	Kohezyonsuz Zeminlerde Kazık Uç Taşıma Kapasitesinin Belirlenmesi	16
1.6.1.1.1.1.	Meyerhof Yöntemi	18
1.6.1.1.2.	Vesic Yöntemi.....	19
1.6.1.1.3.	Janbu Yöntemi.....	20
1.6.1.1.4.	Coyle ve Castello Yöntemi	21
1.6.1.1.1.2.	Kohezyonsuz Zeminlerde Sürtünme Direncinin Belirlenmesi.....	22
1.6.1.2.	Kohezyonlu Zeminlerde Kazık Taşıma Kapasitesinin Belirlenmesi	23
1.6.1.2.1.	Kohezyonlu Zeminlerde Uç Taşıma Kapasitesinin Belirlenmesi	24
1.6.1.2.2.	VESİC (1979)'e Göre Killerde($\phi=0$) Uç Taşıma Kapasitesinin Belirlenmesi	24
1.6.1.2.2.	Kohezyonlu Zeminlerde Çevre Taşıma Kapasitesinin Belirlenmesi	25
1.6.1.2.2.1.	Kohezyonlu Zeminlerde Çevre Taşıma Gücü Hesaplamasında α Yöntemi ...	26
1.6.1.2.2.2.	Kohezyonlu Zeminlerde Çevre Taşıma Gücü Hesaplamasında β Yöntemi ...	26
1.6.1.2.2.3.	Kohezyonlu Zeminlerde Çevre Taşıma Gücü Hesaplamasında λ Yöntemi ...	27
1.6.2.	Arazi Deneyleri ile Taşıma Kapasitesinin Belirlenmesi	28
1.6.2.1.	Standart Penetrasyon Deneyi	28
1.6.2.2.	Koni Penetrasyon Deneyi.....	29
1.7.	Sonlu Elemanlar Yöntemi	33
1.8.	Zemin Modelleri.....	34
1.8.1.	Lineer Elastik Zemin Modeli (LE).....	35
1.8.2.	Mohr-Coulomb Zemin Modeli (MC).....	36
1.8.3.	Hardening Soil Zemin Modeli.....	37
1.8.4.	Hardening Soil with Small-Strain Stiffness Zemin Modeli (HSS)	38
1.8.5.	Hoek-Brown Zemin Modeli	39
2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR VE BULGULAR	40
2.1.	Çalışma Alanının Coğrafi Konumu ve İklim Özellikleri	41
2.2.	Çalışma Alanının Jeolojik Yapısı.....	41
2.2.1.	Dolgu	42
2.2.2.	Orta Katı Kil Tabakası	42
2.2.3.	Sert Kil Tabakası	42

2.3.	Çalışma Alanda Yapılan Sondaj Çalışmaları	42
2.4.	Çalışma Alanındaki Yer Altı Suyu.....	45
2.5.	Çalışma Alanının Depremselliği	45
2.6.	Bölgede Yapılan Araştırma Çalışmaları	47
2.6.1.	Arazi Deneyleri	47
2.6.1.1.	SPT Deneyleri	48
2.6.1.2.	Presiyometre Deneyleri	50
2.6.2.	Laboratuvar Deneyleri.....	50
2.6.2.1.	Zeminlerin Fiziksel Özelliklerini Belirleyen Deneyler	50
2.6.2.1.1.	Elek Analizi Deneyi	51
2.6.2.1.2.	Atterberg Limitleri Deneyi.....	51
2.6.2.1.3.	Su Muhtevası Deneyi	52
2.6.2.2.	Zeminlerin Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi	55
2.6.2.2.1.	Doğal Birim Hacim Ağırlık Deneyi	57
2.6.2.2.2.	Kuru Birim Hacim Ağırlık Deneyi.....	57
2.7.	İdealize Zemin Profili.....	58
2.8.	Taşıma Gücünün Hesaplanması.....	59
2.8.1.	Terzaghi taşıma gücü Hesabı	59
2.8.2.	SPT Deney Sonuçlarına Göre Taşıma Gücü Hesabı.....	61
2.9.	Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Analiz	62
3.	SONUÇLAR	84
4.	KAYNAKLAR.....	86
5.	EKLER	88
ÖZGEÇMİŞ		

Yüksek Lisans Tezi

ÖZET

FARKLI ÇAPLARDA TASARLANAN PLASTİK KAZIKLARIN SONLU ELEMENLAR YÖNTEMİ İLE ANALİZİ: İSTANBUL İLİ BAKIRKÖY İLÇESİ MİLLİ SAVUNMA ÜNİVERSİTESİ KAPALI SPOR SALONU ÖRNEĞİ

Elif ÇALIK

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Doç. Dr. Zekai ANGİN
2023, 87 Sayfa, 6 Sayfa Ek

Geoteknik mühendisliğinde zeminler, üzerine inşa edilen yapı yüklerini emniyetli bir şekilde taşımalıdır. Taşıma gücü bakımından yetersiz olan zeminlerde uygulanan zemin iyileştirme yöntemleri sayesinde ülkemizin nüfus yoğunluğu bakımından en kalabalık olan İstanbul ilinde yeni yerleşim alanları açılmıştır. Bu tez kapsamında İstanbul ilinin Bakırköy semtine ait örnek bir vaka incelenmiştir. Kapalı Spor Salonu inşaatı projesinde yapının oturacağı zeminde gözlenen kalın dolgu tabakasının ve kil tabakalarının zemin gerilmelerini taşımaya elverişli olmadığı tespit edilmiştir. Üst yapıdan gelen yüklerin zayıf taşıma kapasitesine sahip olan dolgu birimine taşıtılmamasından dolayı zemin iyileştirme yöntemi olan plastik kazık yapımına karar verilmiştir. Bu çalışmada, mevcut kazıkların uzunluğu sabit tutularak, çapları 45 cm, 80 cm ve 65 cm değiştirmek suretiyle üç farklı analiz yapılmıştır. Yapılan analizlerde, Mohr- Coulomb zemin modeli kullanılmış olup analiz aşamaları ve grafikler gösterilmiştir. 45 cm çaplı kazıklar ve 80 cm çaplı kazıklar 15.0 m uzunluğunda 3.0 metre aralıklarla analiz edilmiş olup, proje kapsamında yapılması planlanan 65.0 cm çaplı donatısız kazıklar optimum kazık olarak seçilerek zemine yerleştirilmiştir. İncelenen zemin üzerinde yapılan deneyler ve zemin parametreleri gösterilmiş olup analizler, sonlu eleman yöntemiyle çözümlenmiştir. Üç farklı çap değeri için bilgisayar programında çözümlenen kazıkların nihai sonuçları ve oturma değerleri analiz edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kazıklı temel, Oturma, Sonlu Elemanlar Yöntemi

Master Thesis

SUMMARY

ANALYSIS OF PLASTIC PILE DESIGNED IN DIFFERENT DIAMETERS BY FINITE ELEMENT METHOD: THE EXAMPLE OF MSU INDOOR SPORTS HALL IN BAKIRKOY DISTRICT OF ISTANBUL

Elif ÇALIK

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Civil Engineering Graduate Program
Supervisor: Doç. Dr. Zekai ANGIN
2023, 87 Pages, 6 Addition Pages

In geotechnical science, soils can safely carry the loads of the structures built on them. Thanks to the soil methods applied on soils with insufficient bearing capacity, new residential areas have been opened in Istanbul, which is the most crowded city in terms of population density. Within the scope of this thesis, an example case belongs to the Bakırköy district of Istanbul. It has been determined that the thick layer of clay and clay layers observed on the ground where it will sit in the Indoor Sports Hall construction project are not suitable for carrying ground stresses. Since the loads coming from the superstructure are carried to the light-bearing filling unit, it was decided to make plastic piles, which is a method of joining on the ground. Three different analyzes were carried out by keeping these networks constant to the lengths of the existing piles, with diameters varying between 45 cm, 80 cm and 65 cm. In the analyses, Mohr-Coulomb soil model was used and the analysis stages and distributions are shown. 45 cm long piles and 80 cm long piles were analyzed at 3.0 meter intervals with a length of 15.0 m, and the reinforced piles up to 65.0 cm planned to be built within the scope of the project were selected as the optimum piles, and the analyzes were carried out on the ground examined and shown on the ground, and the analysis was solved by the finite element method. provided. The final results and settlement values of the piles analyzed by computer program for three different diameter values were analyzed.

Key Words: Pile Foundation, Settlement, Finite Element Method

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1.	Ahşap kazıkların uygulamada gösterimi	8
Şekil 2.	Çelik kazıkların uygulamada gösterimi	9
Şekil 3.	Fore kazık yapım aşamaları	11
Şekil 4.	Çalışma şekline göre kazıkların şematik gösterimi	14
Şekil 5.	Tekil bir kazığın üst yapı yüklerini zemine aktarması	15
Şekil 6.	Meyerhof'a göre uç direncinin derinlikle değişimi	19
Şekil 7.	Coyle-Castello yöntemiyle çözümde dayanma kapasitesi katsayısı N_q	22
Şekil 8.	Lineer elastik malzemenin gerilme (σ)-şekil değiştirme (ϵ) grafiği	35
Şekil 9.	Elastik-tam plastik malzeme modelinin gerilme etkisiyle şekil değişimi	36
Şekil 10.	Standart drenajlı üç eksenli basınç deneyde hiperbolik gerilme-şekil değiştirme ilişkisi	38
Şekil 11.	Geoteknik uygulamalar ve deney türleri aralıklarında G/G_{max} – kayma birim şekil değiştirme ilişkisi	38
Şekil 12.	Hoek-Brown yenilme ölçütünün ampirik şekilde gösterimi	39
Şekil 13.	Yer bulduru haritası	40
Şekil 14.	Türkiye ve İstanbul iline ait deprem tehlike haritası	45
Şekil 15.	Elek analizi deney sonuçları	51
Şekil 16.	İdealize zemin profili	59
Şekil 17.	Model boyutunun belirlenmesi ve suyun birim hacim ağırlığının programa tanıtılması	64
Şekil 18.	Zemin katmanları ve yer altı suyu durumu girilmesi	64
Şekil 19.	Dolgu tabakası parametrelerinin programa tanımlanması	65
Şekil 20.	$R_{inter} = 0,7$ olarak programa girilmesi	66
Şekil 21.	Orta katı kil tabakası parametrelerinin programa tanımlanması	67
Şekil 22.	Sert kil tabakası parametrelerinin programa tanımlanması	68
Şekil 23.	Structures sekmesi girdilerinin programa tanımlanması	68
Şekil 24.	Kazık boy ve aralıklarının programa tanımlanması	69
Şekil 25.	Radye temel in programa tanıtılması	69
Şekil 26.	Radye temel üzerine yük tanımlanması	70
Şekil 27.	Radye temele ait olan özelliklerin Plaxis programına tanımlanması.	71
Şekil 28.	45 cm'lik kazıkları Plaxis programına tanımlanması	71
Şekil 29.	Plaxis programında K_o değerinin seçilmesi	72

Şekil 30. Genel yapı.....	72
Şekil 31. Mesh işlemiyle oluşturulan yapısal elemanlar ile zemin arasındaki etkileşim.	73
Şekil 32. 45 cm'lik kazık için yatay ve düşeyde toplam oturma değerleri.....	73
Şekil 33. 45 cm'lik kazık için düşey yönde gerçekleşen oturma miktarı	74
Şekil 34. 45 cm'lik kazık için eksenel kuvvet.	74
Şekil 35. 45 cm'lik kazık için kesme kuvveti.....	75
Şekil 36. 45 cm'lik kazık için moment.	75
Şekil 37. 80 cm'lik kazık özelliklerinin Plaxis programına tanıtılması.....	76
Şekil 38. 80 cm'lik kazık için yatay ve düşeyde toplam oturma değerleri.....	76
Şekil 39. 80 cm'lik kazık için düşey yönde gerçekleşen oturma miktarı.	77
Şekil 40. 80 cm'lik kazık için eksenel kuvvet.	77
Şekil 41. 80 cm'lik kazık için kesme kuvveti.....	78
Şekil 42. 80 cm'lik kazık için moment.	78
Şekil 43. 65 cm'lik kazık özelliklerinin Plaxis programına tanıtılması.....	79
Şekil 44. 65 cm'lik kazık için yatay ve düşeyde toplam oturma değerleri.....	79
Şekil 45. 65 cm'lik kazık için düşey yönde gerçekleşen oturma miktarı	80
Şekil 46. 65 cm'lik kazık için eksenel kuvvet.	80
Şekil 47. 65 cm'lik kazık için kesme kuvveti.....	81
Şekil 48. 65 cm'lik kazık için moment.	81
Şekil 49. Kazık çapına bağlı olarak değişen toplam oturma.	82
Şekil 50. Kazık çapına bağlı olarak değişen düşey yöndeki oturma.	83

TABLolar DİZİNİ

Sayfa No

Tablo 1. Kazıkların sınıflandırılması	7
Tablo 2. Prefabrik betonarme kazıkların avantaj ve dezavantajlarının gösterimi	10
Tablo 3. Kohezyonsuz zeminlerde kazıkların taşıma gücü faktörleri	18
Tablo 4. N_q ve Φ değerleri	18
Tablo 5. Kohezyonsuz zeminlerde K_s değerleri	23
Tablo 6. I_r değerleri	25
Tablo 7. Ortalama λ değerleri	28
Tablo 8. Standart penetrasyon deneyi ile kazık taşıma gücü arasındaki ilişki	29
Tablo 9. C_s katsayısı	32
Tablo 10. Farklı zemin türüne göre malzeme modellerinin uygulanabilirliği	35
Tablo 11. İstanbul iline ait meteorolojik veriler	41
Tablo 12. Sondaj noktaları koordinatları ve denizden yükseklikleri	43
Tablo 13. Sondaj kuyularından elde edilen veriler	44
Tablo 14. Yer altı Suyu Seviyesi	45
Tablo 15. Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Değerleri.	46
Tablo 16. Bina kullanım sınıfları ve bina önem katsayıları	47
Tablo 17. SPT Düzeltme Katsayıları	48
Tablo 18. SPT N_{60} Değerlerinin Hesaplanması	49
Tablo 19. İnceleme alanındaki presiyometre deney sonuçları	50
Tablo 20. Zemine ait laboratuvar deneyleri sonuçları.	53
Tablo 21. Zemin numuneleri üzerinde yapılan mekanik deney sonuçları.	56
Tablo 22. Zemin numuneleri üzerindeki üç eksenli basınç deneyi sonuçları.	57
Tablo 23. Arazi ve laboratuvar deney sonuçları.	58
Tablo 24. Taşıma gücüne ait katsayılar	59
Tablo 25. Orta katı kil tabakasına ait taşıma gücü hesaplamaları.....	60
Tablo 26. Sert kil tabakasına ait taşıma gücü hesaplamaları.	61
Tablo 27. Orta katı kil birimlere ait SPT'ye dayalı taşıma gücü sonuçları.....	62
Tablo 28. Sert kil birimlere ait SPT'ye dayalı taşıma gücü sonuçları	62
Tablo 29. Dolgu Tabakası için alınan zemin parametre değerleri.	65

Tablo 30. Orta Kil tabakası için alınan zemin parametre değerleri.....	66
Tablo 31. Sert Kil tabakası için alınan zemin parametre değerleri.....	67
Tablo 32. Analiz sonuçları.....	82



KISALTMALAR VE SEMBOLLER DİZİNİ

A_p	: Kazık en kesit alanı (m^2)
A_s	: Kazık toplam çevre alanı (m^2)
A	: Plaxisdeki standart model,
A^*	: Soft Soil Creep modeli
B	: Kabul edilebilir model,
B	: Temel genişliğini (m)
B^*	: NGI-ADP modeli ve tekrarlı yükleme analizi için UDCAM-S modeli,
B	: Temel Genişliği (m)
C_s	: Kazık çevre sürtünmesi hesabında zemin cinsi etkisini dikkate alan katsayı
c_u	: Drenajsız kayma direnci(kN/m^2)
C	: Kohezyon
C_B	: Sondaj Delgi Çapı Düzeltme Katsayısı
C_E	: Enerji Oranı Düzeltme Katsayısı
C_R	: Tij Boyu Düzeltme Katsayısı
C_S	: Numune Alıcı Düzeltme Katsayısı
C_u	: Ortalama drenajsız kayma dayanımı (kN/m^2)
c_a	: Birim adhezyon
D_f	: Gömme derinliği (genel olarak kazık boyudur), (m)
D	: Kazık çapı
D_f	: Temel derinliğini (m)
E_s	: Zeminin elastisite modülü
f_s	: Çevre sürtünme direnci (kN/m^2)
f_c	: Koni penetrasyon deneyinde ortalama çevre sürtünmesi
G	: Kayma modülü
G_{max}	: Maksimum kayma modülü
G_s	: Zeminin kayma modülü
I_r	: Rijitlik indeksidir
I_{rr}	: Zeminin azaltılmış rijitlik endeksi
K_0	: Sükunetteki yanal zemin basıncı katsayısı (Birimsiz)

K_s	: Toprak basıncı sabiti
K_1	: Terzaghi tarafından önerilen temel (kazık kesit) geometrisine bağlı bir katsayı
K_2	: Kazık kesit geometrisine bağlı bir katsayı
L	: Kazık boyu
L_b	: Kazığın Sağlam Zemine Gömülme Derinliği
ΔL	: Efektif sürtünme boyunu ifade eder.
m	: Deneysel katsayı
n	: Deneysel katsayı
N	: SPT Darbe Sayısı
$\bar{N}$	: Kazık boyunca ortalama SPT sayısı,
N_c, N_q, N_γ	: Kayma direnci açısına bağlı taşıma gücü faktörleri (birimsiz)
OCR	: Aşırı konsolidasyon oranı (Birimsiz)
p	: Kazık çevresi
SK 1	: 1. sondaj kuyusunu,
SK 2	: 2. Sondaj kuyusunu,
SK 3	: 3. Sondaj kuyusunu,
SK 4	: 4. Sondaj kuyusunu,
SK 5	: 5. Sondaj kuyusunu,
SK 6	: 6. Sondaj kuyusunu
w	: Ağırlığı ifade eder
q_b	: Birim alana düşen uç taşıma gücü (kN/m^2)
Q_b	: Nihai uç taşıma kapasitesi (kN)
q_E	: Efektif koni penetrasyon uç direnci ortalaması
Q_{ult}	: Nihai kazık taşıma kapasitesi
Q_f	: Çevre sürtünmesi (Yanal Sürtünme)
Q_F	: Kazık taşıma gücü
q'	: Kazık ucu seviyesindeki düşey efektif gerilmeyi
q_t	: Temel Taşıma Gücü Tasarım Dayanımı (kN/m^2)
q_k	: Temel taşıma gücü karakteristik Dayanımı(Ton/ m^2)
γ_1	: Temel tabanı üstündeki zeminin birim hacim ağırlığı, (g/cm^3)
γ_2	: Temel tabanı altındaki zeminin birim hacim ağırlığı, (g/cm^3)
γ''	: Kazık ucu altındaki zeminin birim hacim ağırlığı (kN/m^3)

γ'	: Kazık ucundan kazık başlangıcına kadar olan zeminin birim hacim ağırlığı (kN/m ³)
σ_h'	: Efektif gerilme.
σ_v'	: Hesap yapılan derinlikteki efektif gerilme (kN/m ²)
σ'	: Kazık ucundaki ortalama efektif gerilme
δ	: Kazık zemin arasındaki sürtünme açısı
$\sum_{L=0}^{L=L} \sigma_{vl}'$	: Kazık boyunca oluşan toplam düşey efektif gerilme
ε_p	: Plastik deformasyonu (m)
ε_e	: Elastik deformasyonu (m)
ε	: Toplam deformasyon (m)
α	: Adezyon faktörü
β	: Bjerrum-Burland Beta katsayısı (Sürtünme Katsayısı) (Birimsiz) = $K \tan \phi_r$
λ	: Lambda korelasyon katsayısı (Adezyon Katsayısı) (Birimsiz)
μ_s	: Zeminin Poisson oranı
$\emptyset$	: İçsel Sürtünme Açısı
Δ	: Kazık ucu altındaki plastik bölgedeki kazığın yaptığı ortalama oturma değeri
ϕ	: Zeminin efektif kayma direnci açısı (Derece)
**	: Anizotropi ve tabakalaşma durumunda Jointed Rock model

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Teknolojinin ilerlemesiyle birlikte mühendislik yapıları büyümeye ve çevremizde yayılmaya başladı. Bu büyüme ve genişlemeye bağlı olarak, yerleşmeye ve inşa alanına uygun olmayan zeminlerde de yapılaşmaya ihtiyaç duyuldu. Zeminin geoteknik yapısının üst yapıdan gelen yükleri taşımaya elverişli olmadığı durumlarda zemin iyileştirme yöntemlerine olan talep gittikçe yayıldı.

Temel mühendisliği uygulamalarında sürekli temel ve radye temellerde oturmaları minimize etmek, yer altı su seviyesinin yüksek olduğu durumlarda suyun temelden uzaklaştırılmasını sağlamak, zeminin taşıma kapasitesini arttırmak, zemine mukavemet kazandırmak ve geçirimsizliği azaltmak amacıyla temellerde kazıklar imal edilmektedir. Bu yöntemlerden biri olan fore kazık yöntemi Türkiye’de ve dünyada zemin iyileştirme yöntemi olarak en yaygın kullanılan yöntemlerden biridir. Yapı temellerinin, üst yapıdan gelen yükleri emniyetle taşıyabilmesi, oturma koşulunun güvenli bir şekilde sağlanması için kazıklar kullanılmaktadır. Eğer zemin üst yapıdan gelen yükleri emniyetli bir şekilde taşıyamıyor ya da izin verilebilir miktardan fazla oturma meydana geliyorsa geoteknik analizlerle zemin elverişli hale getirilmektedir. Bu nedenlerden dolayı yapılan kazı çalışmalarında şev stabilitelerini iyi gözlemlemek, iyi kontrol etmek inşaat sektörünü daha güvenilir hale getirmektedir.

1.2. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Yapmış olduğum bu çalışma, İstanbul İli Bakırköy İlçesi Milli Savunma Üniversitesi Kapalı Spor Salonu binasına ait olan çalışmaları kapsamaktadır. Projenin yapılacağı zemin tabakası altında yapılan sondajlar sonucunda zeminin üst yapıdan gelen yükleri emniyetli bir şekilde taşıyamayacağı anlaşılmıştır. Bu sebepten dolayı zemin iyileştirme yollarına başvurulmuştur. Sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak ilk önce 45 cm çapında, daha sonra 80 cm çapında ve son olarak 65 cm çapında plastik kazıklar 15.0 metre uzunluğunda 3.0 metre aralıklarla, analiz edilmiştir. Analizler Plaxis 2D sonlu elemanlar yöntemi

kullanılarak yapılmış olup hem ekonomik hem de oturma değerleri göz önüne alınarak optimum kazık çapı 65 cm olarak seçilmiştir. Mevcut zeminde farklı çaplara sahip kazıkların oturma değerleri, kesme kuvveti ve moment değerleri değişimi analiz edilip tablolarla karşılaştırılmıştır.

1.3. Literatür Özeti

Günümüzde gelişimi hız kazanan zemin iyileştirme yöntemleri hemen hemen her alanda kendinden söz ettirmeyi başarmıştır. Bu bölümde inşaat mühendisliğinde zemin iyileştirme yöntemlerinden biri olan fore kazık uygulamaları incelenerek; literatürde yer alan çalışmalardan kısaca bahsedilecektir.

Mazak (2017), zemin yüzeyine yakın tabakaların yapı yüklerini, oturmalara ve göçmelere karşı emniyetli bir şekilde taşınması için kazıklı temel gibi derin temel çeşitlerinden birini tercih etmiştir. Çalışmasında, taşıma gücünün yetersiz olduğu ve oturma şartlarının sağlanmadığı durumlarda derin temel sistemini kullanılarak yapı yükünü zemine aktarmıştır. 2D ve 3D sonlu elemanlar modelini kullanarak, program üzerinde kazık aralığını değiştirerek, program üzerinde birden fazla model oluşturmuştur. Program analizleri sonucunda, kazık arasındaki mesafe, kazık çapının 3 katına ulaşınca; üç boyutlu (3D) analizlerde oturma miktarının artış gösterdiği, iki boyutlu (2D) analizlerde ise genel olarak sabit kaldığı değerlerine ulaşmıştır.

Vu vd. (2014) yaptığı çalışmada, kazık boyunu, kazık çapını ve adedini Plaxis 3D programını kullanarak analiz etmiştir. Kazıklı radye temel sistemlerine birtakım analizler uygulamış ve bu analizler sonucunda kazık çapının, adetinin radye temel sistemi davranışını büyük oranda etkilediği sonucuna ulaşmıştır.

Altay ve Kayadelen (2017) çalışmasında, kazıkların farklı çap ve boylarını ANSYS Sonlu Elemanlar programına girerek kazık çap ve boyları ile ilgili analizlere ulaşmıştır. Kazıkların çaplarını 40 cm, 80 cm ve 100 cm; boylarını ise 10 m, 15 m ve 20 m olacak şekilde değiştirerek 3 farklı analizde bulunmuştur. Yaptığı analiz sonucunda Altay ve Kayadelen aynı boya sahip olan farklı çaptaki kazıklarda moment değerinin artmasıyla maksimum yanal deplasmanları ve maksimum kayma gerilmesinin arttığı sonucuna varmıştır.

Yeğit ve Zorluer (2019), farklı çap, farklı derinlik ve farklı adetteki kazık gruplarının, aynı yapı yükleri ve aynı zemin içindeki davranışlarını SAP2000 ve Plaxis 3D

Foundation programları ile incelemiştir. Kazık sayısının artması durumunda kazık grubunun verimliliğinin düştüğü, kazık çapının mevcut durumdan daha büyük seçilmesi durumunda ise kazıklar arası mesafenin azalmasından dolayı verimliliğinin düştüğünü görmüştür.

Bozkurt ve Demiröz (2020) yapmış oldukları çalışmada; farklı kazık çapı, kazık uzunluğu ve kazık sayısına sahip kazık gruplarının aynı zemin profili içindeki performanslarını ampirik formüllerle hesaplamışlardır. SAP2000 programı ve Plaxis 3D programı kullanarak incelemede bulunmuşlardır. Çalışmalarında kazık uzunluğu, kazık çapı ve kazık sayısının kazıklı radye temellerdeki oturma davranışı üzerindeki etkilerini incelemiştir. Vardıkları sonuca göre kazık sayısındaki artışın ve kazık çapının artırılmasının kazık grubundaki verimliliği düşürdüğüne ulaşmışlardır. Hem ekonomik hem de güvenli tarafta kalmak için kazık ve radye boyutlarının doğru şekilde tasarlanması gerekmektedir.

Ateş ve Şadoğlu (2021), Rize'nin İyidere ilçesine ait olan kum zemin üzerinde kazıklar arası mesafe, kazık çapı ve kazık uzunluklarını değiştirerek birden fazla deney yapmışlardır. Deney sonuçlarından elde edilen verilere göre kazık aralığının artmasına bağlı olarak 4D kazık aralığına kadar oturmelerde artış meydana gelmektedir. Kazık uzunluğu parametresindeki artışta aynı sonucu vermektedir. Kazık aralığının 5D ve üzeri olduğu durumlarda oturma miktarı çok az miktarda azalmaktadır. Yapılan çalışma sonucunda optimum kazık aralığının; kazık çapının 4 katına kadar artmasıyla taşıma gücünün arttığı, bu aralıktan sonra ise kazık çapının artmasının taşıma gücünde azalmalar meydana getirdiği sonucuna varılmıştır.

Çimen ve Osmanoğlu (2021), yaptıkları çalışmada Kıbrıs Adasındaki killi ve kumlu zemin gruplarına ait, taşıma gücü ve oturma problemleri beraberinde taşıyan zemine kazıklı radye temel sistemi tasarlayarak oturma değerlerini analiz etmişlerdir. Kazıklı radye temel sistemlerinde değişken parametreler olan kazık sayısı, kazık çapı ve kazık uzunluğu değerleri kullanılarak hem killi hem kumlu zeminde oturma analizleri yapmışlardır. Analizleri sonucunda ideal kazık çapı, kazık adedi ve kazık uzunluğu değerlerini hesaplamışlardır. Çalışma sonuçlarında ise her iki zeminde de kazık sayısı artarken, oturma değeri belirli bir kazık sayısından sonra azalmadığı sonucuna ve gruptaki kazık sayısının düşürülüp kazık uzunluklarının artırılması durumunda ise (çap sabit) oturma değerlerinin birbirine yakın oranlarda azaldığı sonucuna varmışlardır.

Cevher (2021), şevlerin stabilitesini arttırmak üzerine yapmış olduğu çalışmada Plaxis 2D ve Geo5 programını kullanarak fore kazıklı iyileştirme yöntemine başvurmuştur. 15 m boyunda 1.40-1.80 ve 2.40 m aralığında 120 cm çapındaki kazıkları şevlerin yüksekliğinin fazla olduğu yerlere iki sıra az olduğu yerlere tek sıra halinde yerleştirmiştir.

Kabaca (2018), yapmış olduğu çalışmada kazıkların taşıma gücü ve oturma parametrelerinin incelenmesiyle ilgili yeni bir metot önerisi üzerine çalışmıştır. Çalışmasında kazık yükleme deneyleri verilerini 8 farklı kazık için analiz etmiştir. Kazık yükleme deneyleri; zayıf zemin koşullarına sahip olan zeminlerde yapılan arazi ve laboratuvar deneylerine ve sonlu eleman yöntemi ile oturma ve taşıma gücü olmak üzere iki ayrı parametre için çözümlenmiştir. Kabaca (2018), ince daneli zemin içinde yapılan fore kazıklarda en yüksek göçme yükünün tüm yöntemler arasında Decourt (1999) matematiksel modele ait olduğu sonucuna varmıştır. Kazık yükleme deneyleri ile yapılan oturma analizlerine en yakın sonucu %55 fark ile sonlu elemanlar yönteminden elde etmiştir.

Avcı (2008), sıvılaştıran zemin üzerine yapmış olduğu çalışmada, sağlam zemin koşullarının zemin yüzeyinden oldukça aşağıda olduğu durumlarında üst yapıdan gelen yükleri çevresel sürtünme yoluyla taşıyan sürtünme kazıklarıyla ilgili çeşitli incelemelerde bulunmuştur. Kazık çapı ve kazık kesit alanının sürtünme yüzeyini arttıran bir faktör olduğu sonucuna varmıştır. Kazık adeti sabit tutarak kazık çapını arttırdığı çalışmada çap artışına bağlı olarak sistem stabilitesinin azaldığı ve daha büyük deformasyonlar olduğu sonucuna varmıştır. Radyeye gelen toplam yük ve kazık çapı sabit kalmak koşuluyla kazık sayısının artırılması düşey deformasyonu azaltırken stabiliteyi arttırmakta olduğu sonucuna varmıştır. Çalışmasında kullandığı Plaxis programının dinamik etkileri (deprem vb.) hesaba katmasının kazık taşıma kapasitesi ve deformasyonlar açısından avantajlı olduğunu da belirtmiştir.

Tolun ve Laman (2015), kazık çapı ve boyunun kazık taşıma gücüne olan etkisini Geo5, Plaxis 2D sonlu elemanlar yöntemi ile analiz etmişlerdir. Çalışmalarında 20-40-60 ve 80 cm çapında; 5-10-15 ve 20 m boyunda dairesel kazıklar kullanmışlardır. Geo5 bilgisayar programına göre kazık çapı ve boyu arttıkça kazık taşıma gücünün arttığı sonucuna varmışlardır. Plaxis 2D bilgisayar programında uygun ağ sıklığı belirlendikten sonra kumlu bir zeminde statik düşey yük altında tekil bir kazığın taşıma gücü kapasitesi incelemiştir. Çalışma sonucunda 20 ve 80 cm çapındaki kazıklarda kazık çapı arttıkça

kazık taşıma gücünün 6 kat arttığı, 5 m ve 20 m boyundaki kazıklarda taşıma gücünün 4 kat arttığı tespit edilmiştir. Bilgisayar programları haricinde kazık çapı ve boyunun taşıma gücü üzerinde olan etkisi teorik yöntemlerle de analiz edilmiştir. Bu yöntemler sonucuna göre hem teorik hem de bilgisayar programlarıyla yapılan analizlerde kazık çap ve boyutunun artması taşıma gücünü arttığı görülmüştür.

Kirkit ve Akgüner (2011), kayaya soketli kazığın düşey yük taşıma kapasitesini analiz etmişlerdir. 10 adet kazığa ait kazık yükleme deneyleri ve ampirik yöntemlerin sonuçlarına genel olarak bakıldığında ampirik yöntemler ve deney sonuçlarının birbirine yakın değerler verdiği sonucuna ulaşılmıştır.

Kirkit (2009), Türkiye’de yapılmış kazık yükleme deneyleri sonuçlarını taşıma gücü yönünden incelemiştir. Kazık yükleme deney ve sonuçlarının yer aldığı bir veri tabanından 14 adet kayaya soketli kazıkların kazık yükleme deneyi sonuçlarını değerlendirerek ampirik yöntemlerle uç taşıma kapasitesi, çevre taşıma kapasitesini hesaplamıştır. Kazık yükleme deneylerinde tek bir kazık ele alındığından taşıma gücü ve oturma analizlerinin grup etkisinden uzak kaldığını tespit etmiştir. Plaxis sonlu elemanlar yöntemini kullanan Kirkit, malzeme modeli olarak Mohr-Coulomb modelini seçmiştir. Kayaya soketli kazıklarda kayanın çok yüksek dayanımlı olmasından dolayı deplasmanlar küçük seviyelerde kalmıştır. Plaxis programına girilen zemin parametrelerinden kohezyon (c) ve kayma mukavemeti açısı (ϕ) parametrelerinin etkisinin ihmal edilecek kadar küçük olduğunu elastisite modülü (E) değerinin analiz sonuçlarını en çok etkileyen parametre olduğunu tespit etmiştir.

Ateş ve Toplu (2022) kazıklar arası mesafe değişimin kazık tasarımına olan etkisini incelemiştir. Kazık çapını 120 cm kabul eden Ateş ve Toplu ilk durumda 65 cm kalınlığında radye temel kullanıp, 19 m uzunluğunda 120 adet kazığı 2.5 m aralıklarla yerleştirmişlerdir. İkinci durumda ise 60 cm kalınlığında radye temel kullanıp 25 m boyundaki toplam 66 adet kazığı, 3.5 m aralıklar ile yerleştirmişlerdir. Yapılan analizlerde, kazıklar arası mesafe artışına bağlı olarak kazık çapı veya kazık boyunun da arttırılması gerekmektedir. Bir farklı seçenek ise optimum değerlerde kazık çapını ve kazık boyunu birlikte arttırmak gerekli olduğu sonucuna varılmıştır.

1.4. Kazıklar

Günümüzde devamlı büyüyen ve nüfusu gittikçe artan şehirlerde yeni imara açılacak yerler için ihtiyaca yönelik alanların bulunmaması durumunda zayıf zemin özelliği gösteren alanlar önerilmese de zamanla halkın kullanımına açılmaktadır. Zayıf zeminler üzerine kurulan yapılaşma beraberinde birçok mühendislik problemini de gündeme getirmektedir. Zemin iyileştirme yöntemlerinden biri olan kazıklı temellerde bu amaçla beraber yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır.

Kazıklı temeller genellikle;

- Taşıma gücü bakımından düşük dirence sahip büyük yapıların yüzeye yakın sığ derinliklerinde, (Genç, 2011)
- Üst yapıdan gelen yükleri basınca karşı çalıştırırken deniz platformları gibi temelleri su seviyesinin altında olan yapılarda zemini iyileştirmek için,
- Deprem durumunda yüksek yapılarda yanal yüklerin karşılanması amacıyla,
- Zayıf zeminin taşıma kapasitesini artırmak,
- Dolgu ve şevlerin stabilitesini sağlamak,
- İstinat duvarlarını desteklemek,
- Zeminin potansiyel sıvılaşma riskini azaltmak amacıyla kullanılmaktadır.

1.5. Kazıkların Sınıflandırılması

Kazıklar, yapıldıkları malzemeye göre dört farklı grupta incelenebilir. Bunlar;

- Ahşap Kazıklar
- Çelik Kazıklar
- Betonarme Kazıklar
- Kompozit Kazıklar

Kazıklar, zemin üzerinde oluşturduğu deplasmana göre üç farklı grupta incelenebilir.

Bunlar;

- Büyük Deplasmanlı Kazıklar
- Küçük Deplasmanlı Kazıklar
- Deplasman Yaratmayan Kazıklar

Kazıklar, taşıma gücüne göre iki farklı grupta incelenebilir. Bunlar;

- Uç Kazıkları
- Sürtünme Kazıkları

Tablo 1. Kazıkların sınıflandırılması

Kazıkların Sınıflandırılması		
Kazık Malzemesine Göre	Zeminde Oluşturduğu Deplasmana Göre	Taşıma Gücünün Oluşmasına Göre
Ahşap Kazıklar	Büyük Deplasman Kazıkları	Uç Kazıkları
Çelik Kazıklar	Küçük Deplasman Kazıkları	Sürtünme Kazıkları
Betonarme Kazıklar	Küçük Deplasman Kazıkları	
Kompozit Kazıklar		

1.5.1. Kazık Malzemesine Göre Sınıflandırma

Kazık malzemesine göre kazıklar dört ana başlıkla sınıflandırılmıştır.

1.5.1.1. Ahşap Kazıklar

Ahşap kazıklar, hafif olmaları, taşınma kolaylığı, boylarının istenilen uzunlukta ayarlanabilmesi açısından yapısal yükleri desteklemek amacıyla en eski kazıklı temel olarak kullanılan ürünlerdir.

Ahşap kazıklar çürüme, böcek vb. dış etkenlerden oldukça fazla etkilenebilmektedirler. Günümüzde çok fazla tercih edilmeme sebepleri arasında; basınç dayanımlarının az olması, zeminde yer alan organizmaların tahribatı ve yer altı su seviyesi değişimleri etkilidir.



Şekil 1. Ahşap kazıkların uygulamada gösterimi

1.5.1.2. Çelik Kazılar

Çelik kazıkların yüksek mukavemetleri, istenilen boyutlarda kesilebilmeleri ve kaynaklanabilme özellikleri sayesinde, uzun derinliklere kadar çakılma işlemi için daha uygundur. Sert zeminlerde uygulanabilen çelik kazıkların ise şöyle bir dezavantajı vardır. Zeminin pH değeri düşük ise çeliğin korozyona uğrama riski bulunmaktadır. Korozyonu engellemek amacıyla; kazıkların beton ile kaplanması ve kalınlıklarının artırılması, katodik boya uygulanması, çeliğe antikorozif madde ilave edilmesi gibi işlemler uygulanmaktadır.

Çelik kazıklar çoğunlukla H ve dairesel kesit olarak kullanılmaktadırlar. Zemine itme veya çakma yöntemiyle yerleştirilirler.

H profillerden oluşturulan kazıklar, genellikle taşlı zeminlerde kolay çakılabilmesi ve temelin kaya zemine oturması gereken durumlarda kullanılırlar. Zeminde oluşturdukları yer değiştirme miktarı küçük hacimli olduğundan dolayı H kazıkları küçük deplasman kazıkları olarak nitelendirilebilir. Dezavantajı ise çakma esnasında eğilme ve burkulma olasılığının fazla olmasıdır (Coduto, 2001).



Şekil 2. Çelik kazıkların uygulamada gösterimi

Boru tipi kazıklar ise dikişsiz tek parça veya düz, spiral dikişli olarak imal edilmektedir. Hem uç kazığı hem de sürtünme kazığı olarak kullanılan kazıklar ayrıca kayaya soketli kazık olarak da kullanılmaktadır. Uçları açık veya kapalı olacak şekilde uygulanmaktadır. Kaya zeminlere çakılacak kazıkların ucu zemine daha iyi oturmasını sağlamak amacıyla açık bırakılmaktadır. Sulu zeminlerde ise önce kazığın uç kısmı betonla doldurulur, beton priz kazandıktan sonra borunun içindeki su boşaltılarak geri kalan kısım betonla doldurulmaktadır. Ucu kapalı uygulanan çelik kazıkların uç kısımları işlenerek kalınlaştırılır ve sivriltilir. Büyük taşıma gücü dayanımına sahip olan boru tipi çelik kazıklar köprü ayakları vb. yapılarda tercih edilmektedirler.

1.5.1.3. Betonarme Kazıklar

Betonarme kazıklar; bulundukları gruplara göre ikiye ayrılır. Bunlar; prefabrik betonarme kazıklar ve yerinde dökme betonarme kazıklardır.

1.5.1.3.1. Prefabrik Betonarme Kazık

Genellikle zemine çakılarak yerleştirilen bu kazıklar günümüzde en çok tercih edilen kazıklardan biridir. Proje yükünün fazla, zeminin gevşek ve taşıma gücü bakımından elverişsiz olduğu arazilerde tercih edilmektedir. Genellikle 400 kg/m^3 dozlu betonla,

donatılı olarak imal edilmektedirler. Dikdörtgen, dairesel ve düzgün çokgen gibi birçok kesitli olarak üretilmeleri en büyük avantajlarından biridir. Donatıların yer altı suyundan ve zeminin zararlı etkilerinden korunması için en az 4 cm pas payı bırakılmalıdır.

Tablo 2. Prefabrik betonarme kazıkların avantaj ve dezavantajlarının gösterimi

Avantajları	Dezavantajları
İstenilen boy ve mukavemette üretilmesi	Taşıma ve yerine yerleştirilmesi sırasında kontrolünü sağlamanın zor olması
Malzeme cinsine bağlı olarak mukavemetinin ayarlanabilmesi	Çakma araçlarının ağır olması ve yüksek titreşim meydana gelmesi
Deniz suyuna karşı dayanıklı olması	Bitişik yapıların zemin kabarmasına bağlı olarak hasara uğrama riskinin olması
Üst yapıya kolaylıkla bağlanabilmesi	Kazık boyunun değiştirilmesi için yeniden üretilmesinin gerekmesi
45 derece eğime kadar çakılabilmesi	

1.5.1.3.2. Yerinde Dökme Betonarme Kazıklar

Genellikle bütün zemin koşullarında uygulanabilen yerinde dökme betonarme kazıklar en çok tercih edilen kazık türlerinden biridir. Günümüzde fore kazık olarak adlandırılan bu kazıklar proje kapsamındaki kuyu boyuna göre silindirik bir boşluğa, uygun donatı ve betonun doldurulmasıyla oluşturulur. Kohezyonlu zeminler fore kazık uygulaması için en uygun zeminlerden biridir.

Sağlam olmayan zemin koşullarını iyileştirmek için kullanılan bu yöntem aşamaları şu şekilde uygulanmaktadır. Uygun zemin araştırması yapıp, foraj işlemini gerçekleştirecek makine ve ekipmanlar kazık uygulamasının yapılacağı zemine indirilmelidir. Auger adı verilen burgu şeklindeki delgi aparatı sayesinde fore kazık kuyuları açılmalıdır. Foraj aşamasından önce kuyuya indirilecek olan demir donatısının hazırlanması gerekmektedir. Kazık donatısı silindirik bir şekilde ve donatının birbirine tutunmasını sağlamak için Z demiri uygulanmalıdır. Fore kazık uygulaması sırasında kazık kuyularını bekletmemek oldukça önemlidir. Foraj işlemi sonrasında bekleyen kuyularda kendini tutamayan zeminler göçmeye sebebiyet verebilir. Göçmeyi önlemek için üç farklı yöntem kullanılabilir. Bu yöntemlerden ilki kuyunun su veya bentonit solüsyonu ile doldurulmasıdır. Bu yöntem göçmeye maruz kalan zemine karşı tepki oluşturarak foraj işleminin sağlıklı şekilde ilerlemesini sağlar. En çok tercih edilen diğer yöntem ise

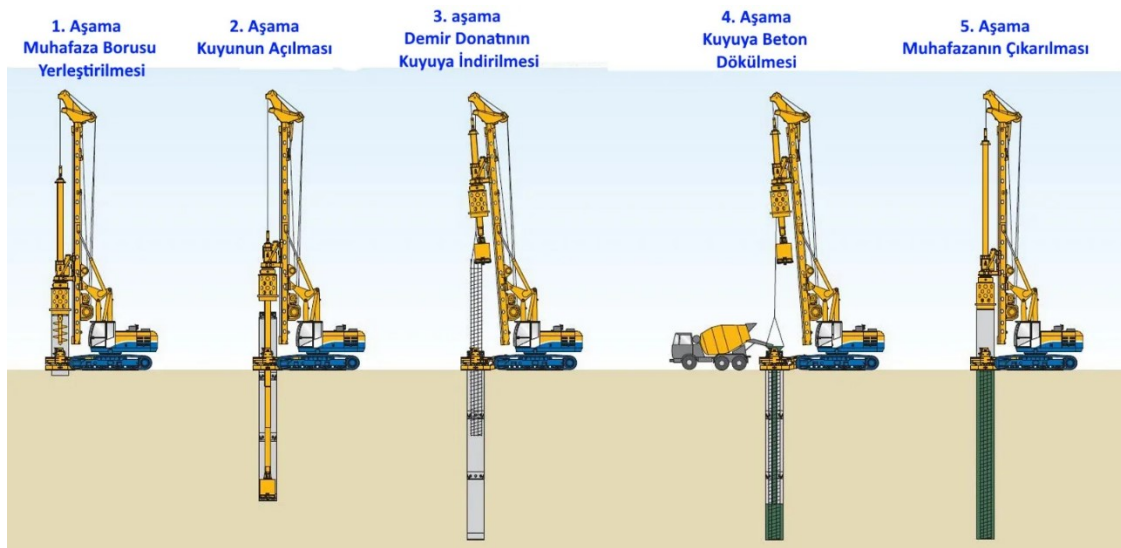
muhafaza borusu yöntemidir. Bu muhafaza boruları; kendini tutamayan zeminin derinliği ve sıkılığına göre, baskı ve rotasyon, vibrasyonlu çekiç ya da hidrolik osilatör kullanılarak yerleştirilir, betonlama işleminden sonra geri çekilir. Delgi istenilen derinlik ve çapta tamamlandıktan sonra demir donatı yerleştirilir. Donatı yerleştirildikten sonra kuyuyu bekletmeden betonun dökülmesi gerekmektedir. Betonlama işlemi tremi borusu yardımıyla yapılmaktadır. Tremi borusu kuyunun dibinden itibaren yaklaşık 30 cm yükseklikte betonlamaya başlanır. Beton dökümü temiz beton yüzeye çıkıncaya kadar devam etmektedir. Tremi borusunun uygulanmasının amacı beton segregasyonu en alt seviyeye indirmektir.

Yerinde dökme betonarme kazıkların avantajları,

- Zeminde sıkıştırma etkisiyle taşıma gücünün artırabilir olması,
- İmalattan sonra oturma miktarının azalması,
- Kazık boyunun yerinde ayarlanabilmesi,
- Kazık çapının 3m'ye kadar yapılabilmesi,

Yerinde dökme betonarme kazıkların dezavantajları ise,

- Kazık performansının zeminden kaynaklanan engellerden etkilenmesi,
- Uygulanması esnasında zeminde gevşeme / yumuşama riskinin olması,
- Kalite ve mukavemetin işçiliğe bağlı olması,
- Yer altı suyunun deliğe dolma olasılığı başarılı betonlamaya olanak vermez olarak sıralanmaktadır.



Şekil 3. Fore kazık yapım aşamaları (Bol, 1996)

1.5.1.4. Kompozit Kazıklar

İki yapı malzemesinin birlikte kullanılması sonucu oluşturulan kazıklar kompozit kazıklar olarak adlandırılır. Genellikle bu tip kazıklar ahşap -betonarme, çelik-ahşap, beton-çelik şeklinde oluşmaktadır. Kompozit kazıkların üst kısmı beton veya çelikten, alt kısmı ahşaptan oluşmaktadır. Ahşap kısım, çürümeye maruz kalmayacağı derinliklere kadar, beton üst kısım beton ya da kaplama borusu yerinde bırakılarak çakılmaktadır.

1.5.2. Zeminde Oluşturdukları Deplasmana Göre Sınıflandırma

Kazıklar zeminde oluşturdukları deplasmana göre üç grupta sınıflandırılabilir.

1.5.2.1.Büyük Deplasman Kazıkları

Yaygın olarak deplasman kazıkları olarak bilinen bu kazıklar, önceden imal edilmiş, içi dolu veya boş; ucu kapalı olarak zemine titreşim vb. yöntemlerle yerleştirilen kazıklardır. Bu tip kazıklara örnek olarak prefabrik beton, kapalı uçlu çelik boru, oluklu ve konik çelik boru kazıklar gösterilebilir.

1.5.2.2. Küçük Deplasman Kazıkları

Yapımları sırasında zeminde daha az deplasman oluşturan kazıklar olarak adlandırılan bu kazıklar; çelik profillerden (H-profilli, ucu açık tüpler, kutu kesitler) imal edilen kazıklar ve burgu kazıklar gösterilebilir.

1.5.2.3. Deplasman Yaratmayan Kazıklar

Zeminde sondaj, kazı gibi uygulamalarla bir delik açılarak içi sonradan betonlanan kazıklardır. Bunlar yanıl destekle ya da yanıl desteksiz olarak imal edilirler. Yanıl destekle imal edilenlere örnek olarak muhafaza borusu ile imal edilen kazıklar ve bentonit ile imal edilen kazıklar gösterilebilir.

1.5.3. Taşıma Kapasitesinin Oluşmasına Göre Sınıflandırma

Taşıma kapasitesine göre kazıklar uç kazıklar ve sürtünme kazıkları olmak üzere iki grupta incelenir.

1.5.3.1. Uç Kazıkları

Uç kazıkları, üst yapıdan gelen yüklerin taşıma gücü düşük olan zemini geçerek yapı yükünü doğrudan sert zemine veya kayaya aktarılmasını sağlamaktadır. Kazıklar imal edilirken sert zeminle (kaya vb.) karşılaştıklarında kayaya soketlenebileceği gibi uç kazıklar sert zemine soketlenmeden de yapılmaktadırlar. Yapıdan gelen yükü alttaki sağlam zemine basınç yoluyla aktaran kazıklarda, uç direncinin oluşması için belirli miktarda oturma gerçekleşmesi gerekmektedir. Çevre sürtünmesinin gerçekleşmesi için gereken oturma miktarı uç oturma miktarından küçük olduğundan bazı hesaplamalarda ihmal edilebilir. Uç kazıkları, taşıdıkları yüke ve yükü ilettikleri zeminin taşıma gücüne bağlı olarak ayaklı ve ayaksız olmak üzere iki şekilde imal edilebilirler: Bunlar ayaklı uç kazıkları ve ayaksız uç kazıkları şeklinde sınıflandırılır.

1.5.3.1.1. Ayaklı Uç Kazıkları

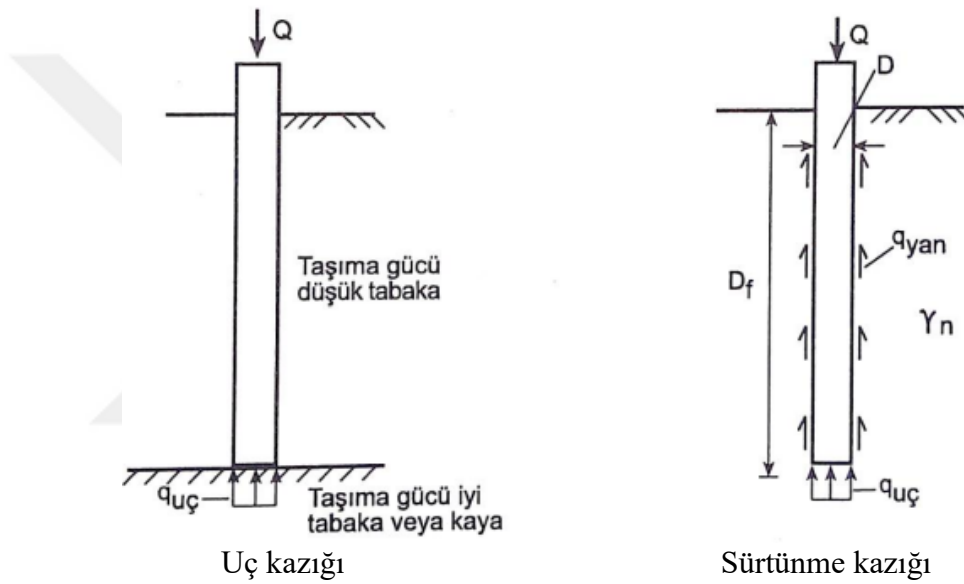
Bir ayak yardımıyla yükü daha geniş alana yayarak gerilmeye azaltan zeminler, kazığın ulaştığı sağlam zeminin emniyet gerilmesini güvenli seviyeye ulaştırırlar. Ayaklı uç kazıkları genelde yerinde dökme kazıklarda kullanılan bir yöntemdir.

1.5.3.1.2. Ayaksız Uç Kazıkları

Zemin yapısı üst yapıdan gelen yükleri güvenli bir şekilde taşıyabiliyorsa ya da kazık ucunun sağlam zemine iletebileceği yük taşıma kapasitesi açısından yeterli ise ayaksız uç kazıkları tercih edilmektedir.

1.5.3.2. Sürtünme Kazıkları

Sürtünme etkisini kullanarak üst yapıdan gelen yükü zemine aktaran kazıklara sürtünme kazığı denir. Sürtünme kazığı, sağlam zeminin ya da kaya tabakasının derinde olduğu zeminlerde tercih edilmektedir. Bunun yanında kazık çevresinde oluşan gerilmeye çevre sürtünmesi (f_s) adı verilmektedir. Bu kazıklarda uç direnci ihmal edilmektedir. Bunun nedeni ise sürtünme direncine oranla uç direncinin çok küçük bir değere sahip olmasıdır.



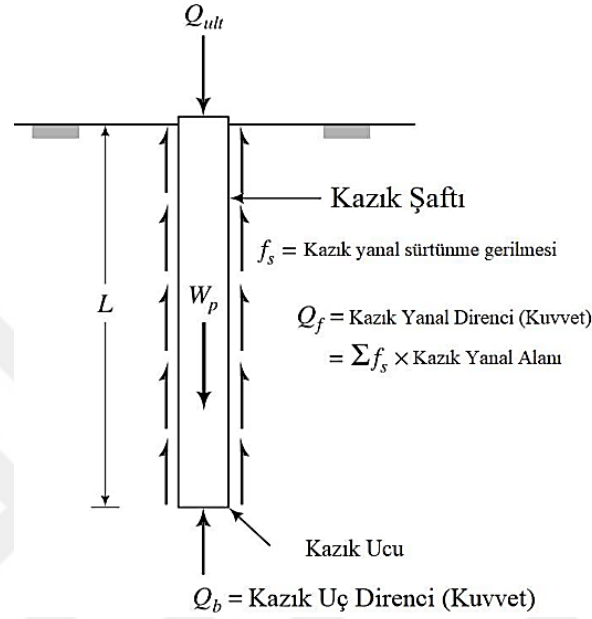
Şekil 4. Çalışma şekline göre kazıkların şematik gösterimi

1.6. Kazıklı Temellerin Düşey Taşıma Gücü Hesabı

Bir kazığın göçmeye ve oturmaya karşı taşıyabileceği maksimum güç kazık taşıma gücü olarak tanımlanır. Kazık taşıma gücünün belirlenebilmesi için ampirik ya da ampirik olmayan yöntemler geliştirilmiştir. Bunlar; arazi deneyleri, laboratuvar deneyleri, zeminin dayanım özelliklerinden yararlanarak geliştirilen statik formüller ve kazık yükleme deneyleri olarak sınıflandırılabilir. Ayrıca gelişen teknoloji ile birlikte taşıma gücü analizlerinde sonlu elemanlar yöntemi ve 2D ve 3D bilgisayar programları kullanılmaktadır.

Kazıkların taşıma gücü, zemin ve kazık arasında oluşan çevre sürtünmesi ve kazık ucunun taşıdığı yükün toplamı olarak ifade edilmektedir.

Tekil bir kazığın üst yapıdan gelen yüklerini zemine aktarma mekanizması Şekil 5’de gösterilmiştir.



Şekil 5. Tekil bir kazığın üst yapı yüklerini zemine aktarması

1.6.1 Statik Formüllerle Taşıma Kapasitesinin Belirlenmesi

Statik kazık formüllerini kullanarak kazıkların taşıma gücünü belirlerken kazığın bulunduğu zemini sınıflarına göre değerlendirmek daha uygun olmaktadır. Kazıklar sahip oldukları zemin özelliklerine göre kohezyonlu ve kohezyonsuz olarak iki ayrı başlıkta incelenebilir. En genel halile bir sürtünme kazığı için toplam taşıma gücü Eşitlik 1’de gösterilmiştir.

$$Q_{ult} = Q_f + Q_b \quad (1)$$

Burada:

Q_{ult} : Nihai kazık taşıma kapasitesi

Q_f : Çevre sürtünmesi (Yanal Sürtünme)

Q_b : Kazık Uç direnci

1.6.1.1. Kohezyonsuz Zeminlerde Kazık Taşıma Kapasitesinin Belirlenmesi

İri taneli (kumlu, çakıllı) zeminlerde taşıma gücünü sürtünme direnci ve uç direnci belirlemektedir. Bu dirençleri hesaplamak için temel prensip: sürtünme alanı ile birim sürtünme direnci çarpılarak sürtünme direnci, uç direncin etki edeceği alan ile birim uç direnci çarpılarak uç direnci hesaplanmaktadır. Genel anlamda bu hesaplama Eşitlik 2’de gösterilmiştir.

$$Q_{ult} = Q_f + Q_b = f_s * A_s + q_b * A_p \quad (2)$$

Burada:

f_s : Kazık yanal sürtünme gerilmesi

A_s : Zeminle temas eden kazık çevre alanı

q_b : Birim uç direnci

A_p : Zeminle temas eden kazık uç alanı

1.6.1.1.1. Kohezyonsuz Zeminlerde Kazık Uç Taşıma Kapasitesinin Belirlenmesi

Kohezyonsuz zeminlerde uç taşıma kapasitesi ise Eşitlik 3’teki gibi hesaplanmaktadır. Yapılan deneyler ve arazi araştırmaların sonucuna göre göre; iri daneli zeminlerde de uç taşıma gücü, kritik bir derinliğe kadar “ D_f ” (gömme derinliği) artmakta ve bu derinlikten sonra sabit bir değere ulaşmaktadır.

$$q_b = K_1 \cdot c \cdot N_c + \gamma' \cdot D_f \cdot N_q + K_2 \cdot \gamma'' \cdot D \cdot N_\gamma \quad (3)$$

Burada:

q_b : Birim alana düşen uç taşıma gücü (kN/m^2)

c : Kazık uç bölgesindeki zeminin kohezyonu (kN/m^2)

N_c, N_q, N_γ : Kayma direnci açısına bağlı taşıma gücü faktörleri (birimsiz)

γ' : Kazık ucundan kazık başlangıcına kadar olan zeminin birim hacim ağırlığı (kN/m^3)

D_f : Gömme derinliği (genel olarak kazık boyudur), (m)

γ'' : Kazık ucu altındaki zeminin birim hacim ağırlığı (kN/m³)

D : Kazık Çapı (m)

K_1 : Terzaghi tarafından önerilen temel (kazık kesit) geometrisine bağlı bir katsayıdır. (Kare ve dairesel kesitli kazıklar için bu değer 1.3 alınmalıdır. (Birimsiz)

K_2 : Kazık kesit geometrisine bağlı bir katsayıdır. Kare kesitli kazıklar için 0.4 olan bu değer, dairesel kesitli kazıklar için 0,3 olarak alınmalıdır. (Birimsiz)

Kohezyonsuz zeminlerde kohezyon ($c=0$) değeri sıfır olduğu için ve derin temellerde temel genişliği temel derinliğinden oldukça küçük olduğundan dolayı Eşitlik 3'teki $K_2 \cdot \gamma'' \cdot D \cdot N_q$ ve c terimi ihmal edilerek kazığın nihai uç taşıma gücü aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$Q_b = A_p(\gamma' D_f N_q) \quad (4)$$

$$Q_b = A_p \cdot q_b \quad (5)$$

$$q_b = \gamma' \cdot D_f \cdot N_q \quad (6)$$

Q_b =Nihai uç taşıma gücü

q_b =Birim alana düşen uç taşıma gücü (kN/m²)

γ' =Kazık ucundan kazık başlangıca kadar olan zeminin birim hacim ağırlığı (kN/m³)

D_f =Gömme derinliği (genel olarak kazık boyudur), (m)

N_q =Kayma direnci açısına bağlı taşıma gücü faktörleri (birimsiz)

A_p : Zeminle temas eden kazık uç alanı

Burada; yarı-ampirik bir taşıma kapasitesi sabiti olan N_q , üç farklı değişkene bağlıdır. Bunlar:

- D_f/B oranı,
- Zemin tabakasının içsel sürtünme açısı (ϕ)
- Kazığın yapım metodudur

N_q değerleri farklı araştırmacılar tarafından Tablo 3'deki gibi hesaplanmıştır. Meyerhof (1976) ve Coyle ve Castello (1981) ise kazık yükleme deneyi verilerine dayanarak tasarımda Tablo 3'de verilen N_q değerlerin kullanılmasını uygun görmüşlerdir.

Tablo 3. Kohezyonsuz zeminlerde kazıkların taşıma gücü faktörleri (Coyle ve Castello (1981))

Farklı içsel sürtünme açıları (ϕ) için yaklaşık N_q değerleri					
Teoriler	25°	30°	35°	40°	45°
De Beer (1945)	59	155	380	1150	4000
Meyerhof, çakma kazıklarda (1953)	38	89	255	880	4000
Caquot-Kerisel (1956)	26	55	140	350	1050
Brinch Hansen (1961)	23	46	115	350	1650
Skempton, Yassin ve Gibson (1953)	46	66	110	220	570
Brinch Hansen (1951)	32	54	97	190	400
Berezantsev (1961)	16	33	75	186	-
Vesic (1963)	15	28	58	130	315
Vesic, $I_r = 60$ (1972)	20	27	40	59	85
Vesic, $I_r = 200$ (1972)	29	46	72	110	165
Terzaghi, Genel kesme (1943)	12,7	22,5	41,4	81,3	173,3
Terzaghi, Lokal kesme (1943)	5,6	8,3	12,6	20,5	35,1

Tablo 4. N_q ve Φ değerleri

ϕ°	20	25	28	30	32	34	36	38	40	42	45
N_q Çakma kazık	8	12	20	25	35	45	60	80	120	160	230
N_q dökme kazık	4	5	8	12	17	22	30	40	60	80	115

Ayrıca çeşitli araştırmacılar yaptıkları analizlerde kumlarda ve killerde uç taşıma kapasitesinin hesabı için çeşitli yöntemler kullanmışlardır. Bu yöntemlerden sıklıkla kullanılanlar; Meyerhof, Vesic, Janbu ve Coyle Castello yöntemleridir.

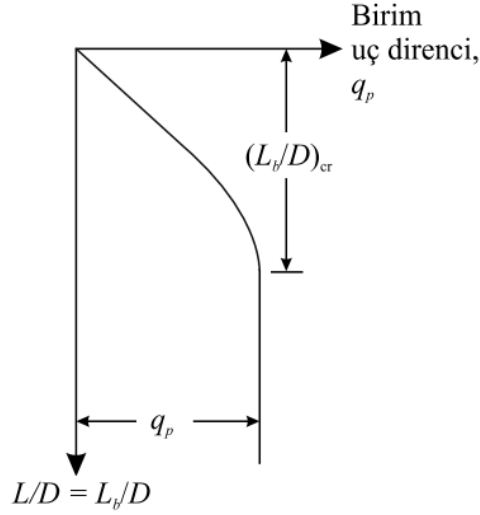
1.6.1.1.1. Meyerhof Yöntemi

Meyerhof (1976), kumlarda uç direncinin hesaplanması için yaptığı bir çalışmada kazık soket boyu ve kazık çapı (L_b / D) 2 ile 40 arasında değişen 33 kazık üzerinde değerlendirmeler yapmıştır.

L_b : Kazığın Sağlam Zemine Gömülme Derinliği

D : Kazık çapı

q_p : Birim Uç Direnci



Şekil 6. Meyerhof'a göre uç direncinin derinlikle değişimi

Meyerhof yöntemine göre belli bir derinliğe kadar uç direnci artmaktadır. Şekil 6'da görüldüğü gibi, belli bir derinlikten sonra uç direnci sabit olarak devam etmektedir. Şekil 6'da ifade edilen D kazık çapı, L_b kazığın sağlam zemine gömülme derinliği olup, homojen zeminlerde $L_b=L$ olur. Kazığın uç direnci L_b boyuna bağlıdır. L_b boyu arttıkça uç direnci de artmaktadır.

1.6.1.1.2. Vesic Yöntemi

Vesic (1979)'e göre kazıkların uç direncinin hesaplanmasını Eşitlik 7'de gösterilmiştir.

$$(7) \quad Q_b = A_p q_b = A_p \sigma' N_\sigma$$

Burada:

σ' = kazık ucundaki ortalama efektif gerilme

Q_b =Kazık uç Direnci

N_σ =Taşıma gücü katsayısı

$$(8) \quad \sigma' = \left(1 + \frac{2K_o}{3}\right) \cdot q'$$

K_0 =dengedeki yanal zemin basıncı katsayıdır

$$K_0 = 1 - \sin\varphi' \quad (9)$$

$$N_\sigma = 3Nq' / (1 + 2K_0) \quad (10)$$

Vesic yöntemine göre,

$$N_\sigma = f(I_{rr}) \quad (11)$$

I_{rr} =zeminin azaltılmış rijitlik endeksidir ve Eşitlik 12 ile ifade edilir.

$$I_{rr} = \frac{I_r}{1 + I_{r\Delta}} \quad (12)$$

I_r =rijitlik indeksidir.

$$I_r = \frac{E_s}{2(1 + \mu_s)} \times q \cdot \tan \varphi' = \frac{G_s}{q \cdot \tan \varphi'} \quad (13)$$

Burada:

μ_s =Zeminin Poisson oranı

E_s =Zeminin elastisite modülü

G_s =Zeminin kayma modülü

Δ =Kazık ucu altındaki plastik bölgedeki kazığın yaptığı ortalama oturma değeri

1.6.1.1.3. Janbu Yöntemi

Janbu yöntemine göre kazık uç direnci Eşitlik 14 ile hesaplanmaktadır.

$$Q_b = A_p q_b = A_p (c_u N_c + q' \cdot N_q) \quad (14)$$

Bu denklem Meyerhof (1976) denklemiyle aynıdır. Ancak, N_c, N_q aşağıda gösterildiği şekilde hesaplanmaktadır.

$$N_q = (\tan \phi + 1 + \tan^2 \phi)^2 e^{2\mu \tan \phi} \quad (15)$$

$$N_c = (N_q - 1) \cot \phi \quad (16)$$

μ açısı yumuşak killerde 700 , sert kumlarda 1050 arasında değişmektedir.

1.6.1.1.4. Coyle ve Castello Yöntemi

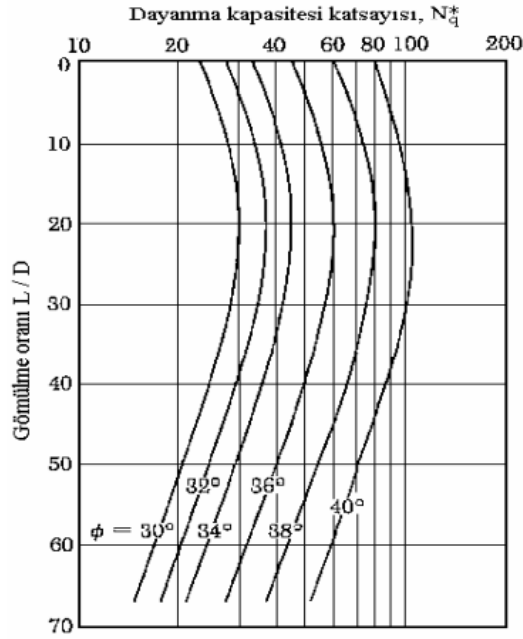
Coyle ve Castello (1981), kum zeminlerde 24 tane geniş ölçekli çakma kazık arazi deneylerini incelemiştir. Coyle ve Castello (1981) kumlardaki çakma kazıklar üzerine birçok deney yapmışlardır. Coyle ve Castello (1981) yaptığı deney sonuçlarına göre N_q değerini hesaplamak için farklı bir yöntem önermiştir. Bu yöntemin Meyerhof yönteminden farkı, daha spesifik oluşudur. Kullanılan formül temel olarak aynı olmasına rağmen üzerinde çalışılan zemin kohezyonsuz olduğu için formülün kohezyona bağlı kısmı çıkarılmıştır.

$$Q_b = A_p q_b = A_p (N_q q') \quad (17)$$

$q' =$ kazık ucu seviyesindeki düşey efektif gerilmeyi

$N_q =$ Taşıma gücü faktör

Bu denklemde dayanma kapasitesi faktörü Coyle ve Castello 'nun kohezyonsuz zeminler için geliştirmiş olduğu Şekil 7'den alınmıştır. Buradaki dayanma kapasitesi faktörü sürtünme açısına bağlıdır.



Şekil 7. Coyle-Castello yöntemiyle çözümde dayanma kapasitesi katsayısı N_q^* (Coyle -Castello)

Meyerhof Yöntemi ve Janbu Yöntemi temel olarak aynı prensibe dayanmaktadır. Aralarındaki temel fark N_q formülündeki kabullerden kaynaklanmaktadır. Meyerhof Yöntemi N_q hesabında pasif durum yatay toprak basınç katsayısını esas alırken, statik içsel sürtünme açısını 90 olarak kabul etmiştir. Ancak Janbu yönteminde içsel sürtünme açısı 60-90 derece arasında değişmektedir. İçsel sürtünme açısındaki değişimler Meyerhof ve Janbu arasındaki farkı meydana getirmektedir.

1.6.1.1.2. Kohezyonsuz Zeminlerde Sürtünme Direncinin Belirlenmesi

Kohezyonsuz zeminlerde sürtünme direnci Eşitlik 18 yardımıyla hesaplanabilir. Bu eşitlikteki f_s terimi şu şekilde ifade edilebilir:

$$f_s = c_a + \sigma_h' \tan \delta \quad (18)$$

Burada:

f_s : Sürtünme Direnci

c_a : Birim adhezyon

δ : Kazık ile zemin arasında oluşan sürtünme açısı($2/3\Phi$),

σ_h' : Efektif gerilmeyi ifade etmektedir.

Kohezyonsuz zeminlerde $c_a = 0$ olduğundan Eşitlik 18 şu şekilde düzenlenebilir;

$$Q_f = pK_s \tan \delta \sum_{L=0}^{L=L} \sigma_{vl}' \Delta L \quad (19)$$

Burada;

K_s : Toprak basıncı sabiti

$\sum_{L=0}^{L=L} \sigma_{vl}'$: Kazık boyunca oluşan toplam düşey efektif gerilme

p : Kazık çevresi

ΔL : Efektif sürtünme boyunu ifade eder.

Tasarım amaçlı kullanılan hesaplama yöntemlerinde genellikle $\delta = \frac{2}{3} \phi$ olarak alınmaktadır (Sharma ve Prakash, 1990). Çeşitli araştırmacılar tarafından yapılan analizler sonucunda K_s değerinin ve bundan dolayı da çevre sürtünmesi değerinin, yer değiştiren zemin miktarı ile artış gösterdiği tespit edilmiştir. Daha küçük K_s değerine sahip olan H profiller ve yerinde dökme kazıklar daha küçük çevre direncine sahip olmaktadır. Kohezyonsuz zeminlerde K_s değerleri Tablo 5'te gösterilmektedir.

Tablo 5. Kohezyonsuz zeminlerde K_s değerleri (Meyerhof, 1976)

Kazık tipi	K_s
Yerinde dökme kazık	0,5
Çakma H profil	0,5-1,0
Çakma yer değiştirme kazığı	1,0-2,0

1.6.1.2. Kohezyonlu Zeminlerde Kazık Taşıma Kapasitesinin Belirlenmesi

Kohezyonlu zeminlerde kazıkların taşıma kapasitesi sürtünme ve uç dirençlerinin toplamına eşittir. Kohezyonlu zeminlerdeki kazıkların uç taşıma kapasitesi (Q_b), granüler zeminlerde olduğu gibi birkaç farklı yöntem ile hesaplanmaktadır.

1.6.1.2.1. Kohezyonlu Zeminlerde Uç Taşıma Kapasitesinin Belirlenmesi

Yüzeysel temellerle benzer şekilde hesaplanan taşıma gücü kohezyonlu zeminlerde D_f gömme derinliği kazık boyuna eşdeğer olan bir temel şeklinde hesaplanır. Terzaghi taşıma gücü bağıntısı ile uç taşıma gücü bağıntısı kohezyonsuz zeminlerdeki uç taşıma kapasitesi eşitliği ile aynı olup Eşitlik 3'teki gibidir.

Suya doymun kohezyonlu zeminlerde kayma mukavemeti açısı değeri sıfır olmaktadır. ($\phi=0$) ve N_γ taşıma gücü faktörü sıfır, N_q taşıma gücü faktörü ($N_q=1$) olur ve kazıkların uç taşıma gücü aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır. Derin temeller için $\phi=0$ olduğunda; $c=c_u=9.0$ alınabilir ve N_q terimi ihmal edilebilir.

$$q_b = K_1 \cdot N_c \cdot c_u + \gamma' \cdot L_p \quad (20)$$

$$Q_b = N_c \cdot C_u \cdot A_p = 9C_u \cdot A_p \quad (21)$$

Burada:

q_b = Birim alana düşen uç taşıma gücü (kN/m^2)

N_c = Taşıma gücü Faktörü

C_u = Drenajsız Kayma Mukavemeti (kN/m^2)

K_1 = Terzaghi tarafından önerilen temel geometrisine bağlı bir katsayıdır. Kare ve dairesel kesitli kazıklar için bu değer 1.3 alınmalıdır.

Birim alana düşen bu gerilme değeri, kazık kesit alanı ile çarpılarak nihai uç taşıma kapasitesi Eşitlik 22'deki gibi hesaplanmaktadır.

$$Q_b = q_b \cdot A_p = 9C_u \cdot A_p \quad (22)$$

Q_b = Nihai uç taşıma kapasitesi (kN)

A_p = Kazık en kesit alanı (m^2)

q_b = Birim alana düşen uç taşıma gücü (kN/m^2)

1.6.1.2.2. VESİC (1979)'e Göre Killerde($\phi=0$) Uç Taşıma Kapasitesinin Belirlenmesi

Vesic (1979)'a göre killerde kazık uç direncinin formülü Eşitlik 23'te gösterilmiştir.

$$Q_b = A_p q_b = A_p c_u N_c \quad (23)$$

c_u = Drenajsız kayma mukavemeti

Vesic (1979)'e göre

$$N'_c = \frac{4}{3} (\ln I_{rr} + 1) + \left(\frac{\pi}{2}\right) + 1 \quad (24)$$

$\emptyset=0$ için:

$$I_r = \frac{E_s}{3c_u} \quad (25)$$

Hacim değişiminin görülmediği durumlarda $\Delta=0$, $I_{rr} = I_r$

I_r değerleri doğru gerilme seviyelerine karşılık gelen konsolidasyon ve üç eksenli basınç deneylerinde aşağıdaki gibi elde edilmektedir.

Tablo 6. I_r değerleri

Zemin Tipi	I_r
Kum	70-150
Silt ve Kıt (Drenajlı Durum)	50-100
Kil (Drenajsız Durum)	100-200

1.6.1.2.2. Kohezyonlu Zeminlerde Çevre Taşıma Kapasitesinin Belirlenmesi

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

- a) α yöntemi
- b) λ yöntemi
- c) β yöntemi

Kohezyonlu zeminlerde çevre taşıma gücü genel haliyle Eşitlik 26 ile ifade edilmiştir.

$$Q_f = A_s \cdot f_s \quad (26)$$

Q_f =Nihai çevre taşıma kapasite (kN)

A_s =Kazık toplam çevre alanı (m^2)

f_s =Birim alan düşen nihai çevre taşıma (kN/m^2)

Birim alana düşen çevre sürtünme direnci f_s değerini hesaplayabilmek için çeşitli ampirik formüller geliştirilmiştir. Bu formüller sonucunda elde edilen nihai taşıma gücü değerleri bir güvenlik sayısına bölünerek emniyetli taşıma gücü hesaplanabilir.

1.6.1.2.2.1. Kohezyonlu Zeminlerde Çevre Taşıma Gücü Hesaplamasında α Yöntemi

Toplam gerilmeleri temel alan α metoduna göre çevre taşıma gücü hesaplanırken kohezyonlu zeminlerde kazığın zemine tutunması (adezyon) sonucu oluşur.

Drenajsız kayma direncini, α adı verilen bir adezyon faktörü ile çarparak birim çevre sürtünmesini tahmin etme yöntemidir. Adezyon faktörü üzerinde kazığın boyutu, kilin mukavemeti ve yapım yöntemi etkilidir. Killi zeminlerde adezyon, yükleme deneyi ile bulunabileceği gibi ampirik olarak verilen grafiklerden de bulunabilir (Yıldırım, 2009).

Birim alan gelen sürtünme direnci denklemi:

$$f_s = c_a = \alpha c_u \quad (27)$$

f_s : Çevre sürtünme direnci, (kN/m^2)

c_u : Drenajsız kayma direnci(kN/m^2)

α : Adezyon Faktörü

Adezyon faktörü; zeminin örselenmesi, kazığın imalat cinsi ve kohezyonlu zeminin sertliğine bağlıdır. Çakma kazıklarında çakma sırasında zeminde meydana gelen örselenme ile adezyon faktörü azalmaktadır.

1.6.1.2.2.2. Kohezyonlu Zeminlerde Çevre Taşıma Gücü Hesaplamasında β Yöntemi

β yöntemi Burland tarafından önerilmiş olan bir yöntemdir. β yönteminde temel prensip efektif gerilmelere göre hesap yapılmasıdır. Killerin drenajlı durumda daneli zeminler gibi davranacağı kabul edilir ve sürtünme direnci Eşitlik 28'deki gibi hesaplanır.

Kazığın doygun killere çakılması esnasında, kazığın etrafında bulunan zemin yoğrulur ve efektif gerilme azalır, kohezyon sıfır ($c=0$) olur.

$$f_s = \beta \cdot \sigma'_v \quad (28)$$

$$\beta = K_0 \tan \delta \quad (29)$$

f_s : Çevre sürtünme direnci (kN/m^2)

β : Bjerrum-Burland Beta katsayısı (Sürtünme Katsayısı) (Birimsiz) $= K \tan \phi_r$

σ'_v : Hesap yapılan derinlikteki efektif gerilmedir (kN/m^2)

K_0 : Sükunetteki yanal zemin basıncı katsayısı (Birimsiz)

Δ : Kazık zemin arasındaki sürtünme açısıdır. ($\delta = \phi$ alınabilir.)

K_0 sükunetteki yanal zemin basıncı katsayısı ise bilindiği üzere;

Normal Konsolide kil için $K_0 = 1 - \sin \phi$

Aşırı Konsolide kil için $K_0 = 1 - \sin \phi \sqrt{OCR}$

ϕ =Zeminin efektif kayma direnci açısı (Derece)

OCR: Aşırı konsolidasyon oranı (Birimsiz)

1.6.1.2.2.3. Kohezyonlu Zeminlerde Çevre Taşıma Gücü Hesaplamasında λ Yöntemi

Vijayvergia – Fochts (1972) üniform tabakalanmış kohezyonlu zeminlerde meydana gelen deplasmanın zeminde pasif itkiyi harekete geçireceği kabulüne göre yanal sürtünmeyi hesaplamıştır.

Vijayvergia ve Fotch tarafından önerilen λ (Lambda) metodu zeminde çakma sırasında oluşan deplasmanın pasif itkiyi harekete geçireceği kabulüne dayanmaktadır. λ (Lambda) metoduna göre sürtünme direnci:

$$f_s = \lambda^* (\sigma'_v + 2c_u) \quad (30)$$

Burada;

f_s : Kazık shaftı boyunca ortalama sürtünme direnci

λ : Lambda korelasyon katsayısı (Adezyon Katsayısı) (Birimsiz)

σ'_v : Ortalama efektif jeolojik gerilme (kN/m^2)

C_u : Ortalama drenajsız kayma dayanımı (kN/m^2)

B: Kazık çapı,

L: Kazık boyu

Tablo 7. Ortalama λ değerleri

Kazığın Zeminine 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

Killerde sürtünme direnci (çevre taşıma gücü) hesaplamalarında kullanılan α , β ve λ yönteminin farkı aşağıda belirtilmiştir.

- α Yöntemi: Adezyon faktörüne bağlı olarak sürtünme direnci hesaplamaktadır.
- β Yöntemi: Drenajlı durum ve yanall toprak basınçlarına bağlı olarak sürtünme direnci hesaplanmaktadır.
- λ Yöntemi: Sürtünme direnci ; efektif gerilme, drenajsız kayma mukavemeti ve derinlik faktörüne bağlı olarak hesaplanmaktadır.

1.6.2. Arazi Deneyleri ile Taşıma Kapasitesinin Belirlenmesi

1.6.2.1. Standart Penetrasyon Deneyi

Zemin sıklılığı ve kıvamını belirlemekte ülkemizde ve dünyada yaygın olarak kullanılan SPT deneyi ile de kazıklarda taşıma gücü hesabı yapılabilmektedir. Kazık taşıma gücünü SPT deney sonuçları ile hesaplamak için farklı yöntemler mevcuttur.

Granüler ve kaba daneli zeminlerde taşıma kapasitesi hesaplanırken standart penetrasyon deneyi sonuçları kullanılarak elde edilir. Taşıma gücü analizinde kullanılacak olan uç direnci ve çevre sürtünmesinin tahmini çeşitli ampirik bağıntılar yardımıyla gerçekleştirilir.

Zeminin penetrasyon direnci, kazık çevre sürtünmesinin ve uç direncinin belirlenmesinde yararlı olabilir. Zanadian Geotechnical Society (1985), Standart Penetrasyon (SPT) deneyi sonuçlarından kazık taşıma gücünün tahmini için,

$$Q_F = mNA_b + n\bar{N}DA_S \quad (31)$$

Burada:

Q_F =Kazık taşıma gücü

m =deneysel katsayı, çakma kazıklar için 400, fore kazıklar için 120

N =Kazık uç seviyesinde SPT sayısı

A_b =kazık uç kesit alanı,

n =deneysel katsayı, çakma kazıklar için 2, fore kazıklar için 1,

$\bar{N}$ =Kazık boyunca ortalama SPT sayısı,

D =kazık çapı,

A_S =kazık çevre alanı

SPT deneyinin olası hatalarından dolayı güvenlik katsayısının en az 4 alınması önerilmektedir.

Tablo 8. Standart penetrasyon deneyi ile kazık taşıma gücü arasındaki ilişki (Meyerhof, 1976)

Kazık-Zemin Cinsi	Çevre Sürtünmesi f_s (kPa)	Uç Direnci q_b (kPa)
Çakma Kazıklar-Kum	$2\bar{N}$	$40(L/D)N \leq 400N$
Çakma Kazıklar-Silt	$2\bar{N}$	$30(L/D)N \leq 300N$
Fore Kazıklar-Kum	$\bar{N}$	$13(L/D)N \leq 130N$
Fore Kazıklar-Silt	$\bar{N}$	$10(L/D)N \leq 100N$

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

1.6.2.2. Koni Penetrasyon Deneyi

Zemin özelliklerini yerinde belirlemek için kullanılan koni penetrasyon deneyi konik bir uçla yapılmaktadır. Zemin üzerinden aşağıya doğru ucu koni şeklinde, sabit bir hızla

itilen sondanın konik ucunda bir uç direnci meydana gelmektedir. Güvenilir bir yöntem olarak adlandırılan bu metot kazık imalatına benzemektedir. Canadian Geotechnical Society yöntemi ile 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 q_c yanıltıcı değerler verebilir. Kohezyonlu zeminlerde ise FHWA yöntemiyle hesaplama yapılabilmektedir.

Koni penetrasyon deneyi (CPT) sonucunda koni ucunda oluşan uç mukavemeti (q_c), silindirik yüzeyde oluşan çevre sürtünmesi (f_c) ve penetrasyon sırasında meydana gelen boşluk suyu basıncı kazık taşıma gücü hesaplanmasında kullanılmaktadır. Bu amaçla hesaplanmış çeşitli yöntemler bulunmaktadır. Canadian Geotechnical Society (1985), koni penetrasyon deneyi ile kazık taşıma gücünün, CPT deneyi tahmini için, iri çakıl ve sıkı kumlarda uygulama zorluğu nedeni ile silt ve kum zeminler için uygun olarak;

$$Q_f = q_c A_b + f_c A_s L \quad (32)$$

Q_f =Kazık Taşıma Gücü

q_c =Koni penetrasyon uç direnci (D>500 mm olan kazıklar için ortalama değer yerine ölçülen en küçük değerin alınması önerilir.)

A_b =Kazık uç kesit alanı

f_c =koni penetrasyon deneyinde ortalama çevre sürtünmesi

L =Kazık Boyu

A_s =Kazık çevre alanı,

Kazık uç seviye civarındaki koni penetrasyon (CPT) deneyi ortalama uç direncinin hesabı için aritmetik ortalama değer Eşitlik 33'deki gibi hesaplanmaktadır.

$$\bar{q}_c = \frac{q_{c1} + q_{c2} + \dots + q_{cn}}{n} \quad (33)$$

Poulos (1987) çakma kazıkların uç taşıma gücünün, q_b , koni penetrasyon deneyinde ölçülen uç direnci q_c ye yaklaşık olarak eşit alınabileceğini önermiştir. Kazığın uç direncine esas kazık çapının (D), 8 katı (8D) üstündeki bölgede ortalama değer ile kazık uç seviyesinin 0.7D ila 4D altındaki bölgedeki değerlerin minimumlarının ortalamasının alınmasını önermektedir.

Eslami ve Fellenius (1997), ise geometrik ortalamanın alınmasını ve kazık uç seviyesinin 2D altında ve 2D üzerinde kalan bölgede hesap yapılmasını önermiştir.

$$\bar{q}_c = \sqrt[n]{q_{c1} * q_{c2} * \dots * q_{cn}} \quad (34)$$

Deneyde çevre sürtünmesi ölçülmemiş ise, kum zeminde çakma kazıkların çevre sürtünmesi için Eşitlik 35 kullanılabilir.

$$\frac{f_s}{q_c} = 0.005 - 0.01 \quad (35)$$

f_s : Kazık birim çevre sürtünmesi

Schmertmann ve Nottingham tarafından tavsiye edilen yöntemde, ayırık daneli zeminlerde ve killerde, kazık uç seviyesinin 6D-8D kadar üstünden, 0.7D-4D kadar altına kadar olan bölgede ölçülen koni uç dirençleri ortalaması $\bar{q}_c$, kazığın uç direncine eşit alınmaktadır.

$$q_b = \bar{q}_c \quad (36)$$

Birim çevre sürtünmesi ise,

$$f_s = K f_c \quad (37)$$

f_s : Kazık birim çevre sürtünmesi

f_c : Koni penetrasyon deneyinde çevre sürtünmesi

K: Kazığın şekline, malzemesine ve derinliğine göre değişen katsayı (kumlarda 0.8 ile 2 arasında, killerde 0.2 ile 1.25) olarak ifade edilmektedir.

Ayrıca, yalnızca ayırık daneli zeminler için kazık çevre sürtünmesi,

$$f_s = C q_c \quad (38)$$

ifadesi ile verilmektedir.

Burada C katsayısı kazık tipine bağlı olarak %0.8 ile %1.8 arasında değişen bir katsayıdır.

Eslami ve Fellenius (1997), piyezokon adı verilen bir alet yardımıyla uç direnci ve çevre sürtünmesini hesaplamışlardır. Bunun yanı sıra bu alet boşluk suyu basıncını da ölçmektedir. Efektif uç direncini ölçmek için efektif uç direncinden boşluk suyu basıncı çıkarılmaktadır. Kazık zayıf bir tabandan geçerek sağlam bir tabakaya giriyorsa kazık ucunun 4D aşağısından 8D yukarısına kadar bir kesimde, kazık sağlam bir tabakadan geçip zayıf bir tabakaya giriyorsa kazık ucunun 4D aşağısından 2D yukarısına kadar bir kesimde ölçülen efektif koni uç dirençlerinin ortalaması q_E alınır.

$$q_b = q_E \quad (39)$$

Kazık çevre sürtünmesinin ise bir önceki eşitlik ile aynı denklem kullanılarak hesaplanması istenmiştir.

$$f_s = C_s q_E \quad (40)$$

Kazık çevre sürtünmesi hesabında zemin cinsinin etkisi dikkate alınarak bir C_s katsayısı önerilmiştir. Bu katsayının önerilen değerleri Tablo 9’da yer almaktadır.

Burada;

q_b : Kazık uç direnci

f_s : Kazık sürtünme direnci

q_E : Efektif koni penetrasyon uç direnci ortalaması

C_s : Kazık çevre sürtünmesi hesabında zemin cinsi etkisini dikkate alan katsayı olarak ifade edilmektedir.

Tablo 9. C_s katsayısı

Zemin Cinsi	C_s (%)
Çok yumuşak kil veya yumuşak hassas zemin	8.0
Yumuşak kil	5.0
Katı, kil veya kil silt karışımı	2.5
Silt ve kum karışımı	1.0
Kum veya çakıllı kum	0.4

1.7. Sonlu Elemanlar Yöntemi

Günümüzde bilgisayar teknolojisindeki gelişmelerle paralel olarak, mühendislik problemlerinin çözümünde nümerik analiz yöntemleri de gelişmektedir. Sonlu elemanlar yönteminin çalışma prensibi parçadan bütüne gitmedir. İlk olarak 1950 yılında uzay mühendisliğinde kullanılmaya başlanan bu yöntemin en geniş uygulama alanı gerilme analizidir. Sonlu elemanlar yönteminde oluşturulacak olan nesnenin tam olarak yansıtılmaması nedeniyle bilgisayar üzerinde daha kolay modellenebilecek geometriye sahip elemanlar seçilir. Bu elemanlar nümerik analiz yöntemleri ile daha küçük elemanlara bölünebilmesi için bir ağ yapısına ihtiyaç duyulur. Elemanların birbirleriyle kesiştiği yüzeylerde düğüm noktaları meydana gelmektedir. Düğüm noktalarının mümkün olduğunca çok sayıda olması denge, süreklilik ve uygunluk şartları ile kuvvet dağılımının daha hassas ölçülebilmesi açısından önem göstermektedir. Sonlu elemanlar yönteminde, komplike geometriye sahip sistemler, bilgisayar modellenmesi üzerinde çok sayıda daha anlaşılır geometriye sahip parçacıklara bölünerek bu parçacıkların ayrı ayrı çözülmesi ile analiz edilmektedir.

Sonlu Elemanlar Yöntemi birçok mühendislik dalında kullanıldığı gibi inşaat mühendisliği alt dallarında da kullanılmaktadır. Geoteknik mühendisliğinde zemin geometrisinin düzensiz ve heterojen oluşu yapıların özelliklerinin tanımlanması açısından bir engel değildir. Ayrıca çeşitli sınır şartları efektif gerilmeler, boşluk suyu basınçları, yatay ve düşey deplasman değerleri gibi parametrelerinde probleme dahil edilmesine olanak sağlar.

Teknolojik gelişmelerle paralel olarak çeşitli sonlu elemanlar yöntemi ve programı geliştirilmiştir. Bu geliştirilen yöntemlerin başında geoteknik mühendisliği için öngörölmüş zemin davranışını zemin modelleri ile çözümleyen Plaxis, programı gelmektedir. Hollanda Delfh Teknik Üniversitesi tarafından 1987 yılında yumuşak zemin üzerindeki nehir tabakalarının sonlu elemanlar yöntemi ile analiz edilebilmesi için geliştirilmiştir. Gelişen teknoloji ve yazılımlarla birlikte hem geoteknik mühendisliğinde hem de diğer mühendisliklerde çeşitli uygulama alanları bulmuştur.

Bu çalışmada kapsamında plastik kazık uygulanmış bir zeminin Plaxis programı kullanılarak analizleri yapılmıştır. Bu program sayısal bir analiz programıdır ve temel prensibi sonlu elemanlar yönteminin kullanılmasıdır. Plaxis programında analizde bulunacağımız model grafik arayüzü sayesinde oluşturulmaktadır. Geometrisi oluşturulan

modelin; zemin tabakaları, sürşarj yükleri, yapı mukavemet özellikleri, yer altı su seviyesi, sonlu elemanlar ağı ve hesap aşamaları gibi özelliklerini programa bu pencerede tanımlanır. Modeli oluşturup çeşitli zemin parametrelerin girdikten sonra analiz sonuçlarından toplam oturma, düşey yöndeki oturma ve gerilme değerleri belirlenip grafikler yardımıyla sonuçlar oluşturulmaktadır. Plaxis, sonsuz bir ortamı noktalar, çizgiler ve parçalara bölerek sonlu hale getirmektedir. İnşaat aşamalarının simülasyonunu oluşturan programın analiz sonuçlarına bakıldığında; moment, toplam deformasyon, oturma, normal kuvvet ve düşey yöndeki oturma sonuçları grafikler yardımıyla verilir. Programa giriş yaptığımızda analiz edeceğimiz zeminin geometrik modelini oluşturmamız gerekmektedir. Noktalar ve çizgilerden meydana gelen geometrik model fiziksel ortamları, farklı zemin tabakalarının ayrımını belirlemek içinde kullanılmaktadır. Çizgilerin tamamen kapattığı alanlar ise hücreler olarak adlandırılmaktadır.

1.8. Zemin Modelleri

Birçok zemin modeli bulunan Plaxis 2D programında Mohr- Coulomb zemin modeli seçilmiş olup diğer zemin modellerinden söz edilmiştir. Plaxis yazılımında 6 farklı malzeme davranışını tanımlamamızı sağlayan zemin modelleri vardır. Bu modeller; Linear Elastik zemin modeli, Mohr-Coulomb zemin modeli, Hardening Soil zemin modeli, Jointed Rock zemin modeli, Soft Soil zemin modeli ve Soft Soil Creep zemin modelidir. Tablo 10'da farklı zemin modellerine göre kullanılabilecek olan Plaxis malzeme modeli seçimleri gösterilmiştir.

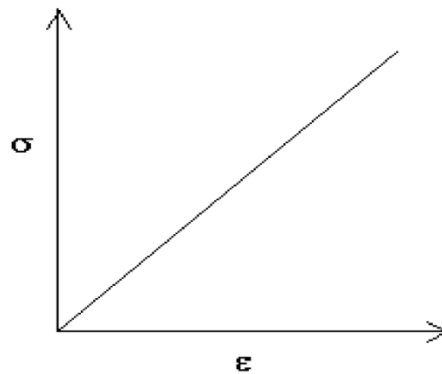
Tablo 10. Farklı zemin türüne göre malzeme modellerinin uygulanabilirliği (Plaxis, 2019)

Malzeme Modeli	Beton	Kaya	Çakıl	Kum	Silt	OC Kil	NC Kil	Turba
Linear Elastik	C	C						
Mohr-Coulomb	B	B	C	C	C	C	C	C
Hardening Soil			B	B	B	B	B	
Hs Small			A	A	A	A	B	
UBC3D-PLM			B*	B*	B*			
Soft Soil Creep							A*	A*
Soft Soil							A*	A*
Jointed Rock		A**						
Modified Cam-Clay							C	C
NGI-ADP						A*	A*	A*
UDCAM-S						A*	A*	A*
Hoek-Brown		A**						
Concrete	A							

A: Bu uygulama için Plaxis 'teki en iyi standart model,
B: Kabul edilebilir model,
C: İlk (yaklaşık) yaklaşım için model olarak tanımlanmaktadır.
A*: Zamana bağlı davranışın önemli olduğu durumlarda Soft Soil Creep modeli; sıvılaşma içeren kumlu zeminlerin dinamik analizi için UBC3D-PLM modeli,
B*: Sadece drenajsız kayma mukavemetinin bulunduğu durumda kısa dönem analiz için NGI-ADP modeli ve tekrarlı yükleme analizi için UDCAM-S modeli,
**: Anizotropi ve tabakalaşma durumunda Jointed Rock modeli ve genel olarak kaya için Hoek-Brown modelidir.

1.8.1. Lineer Elastik Zemin Modeli (LE)

Hooke Yasasına dayanan bu zemin modelinde zeminin izotropik lineer elastik bir malzeme olduğu kabul edilir. Plaxis programında giriş parametreleri Elastisite modülü (E) ve Poisson oranı (ν) dır. Lineer Elastik zemin modeli oldukça sınırlı ve basit problemlerin çözümü için uygulanır. Zemin içinde duvar, beton, kazık vb. rijit yapıları modellemek için kullanılmaktadır.



Şekil 8. Lineer elastik malzemenin gerilme (σ)-şekil değiştirme (ϵ) grafiği

1.8.2. Mohr-Coulomb Zemin Modeli (MC)

Elasto-tam plastik zemin davranışı olarak tanımlanan Mohr–Coulomb modeli, Hooke yasası ve Coulomb başarısızlık kriterine dayanmaktadır. Zeminler, gerilme veya gerilmeye bağlı şekil değişikliğine maruz kaldığında doğrusal olmayan davranış sergilerler. Mohr Coulomb modeli için, kohezyon (c), poisson oranı (ν), young modülü (E), sürtünme açısı (ϕ) ve dilatasyon açısı (ψ) gibi 5 temel parametreye ihtiyaç vardır. Young modülü genellikle zemin rijitliği için kullanılan bir parametredir. Sabit olan Young modülü derinlik boyunca arttırılabilir.

Mohr-Coulomb modelinin plastik kısmı Mohr-Coulomb yenilme kriterine dayanırken doğrusal kısmı Hooke yasasına dayanmaktadır. Elastik-tam plastik malzemenin temel ilkesi yük altındaki şekil değiştirmenin elastik ve plastik olmak üzere iki kısma ayrılmasıdır. (Şekil 8’de gösterilmiştir.) Elastik-tam plastik malzemede toplam deformasyon Eşitlik 41’de gösterilmiştir.

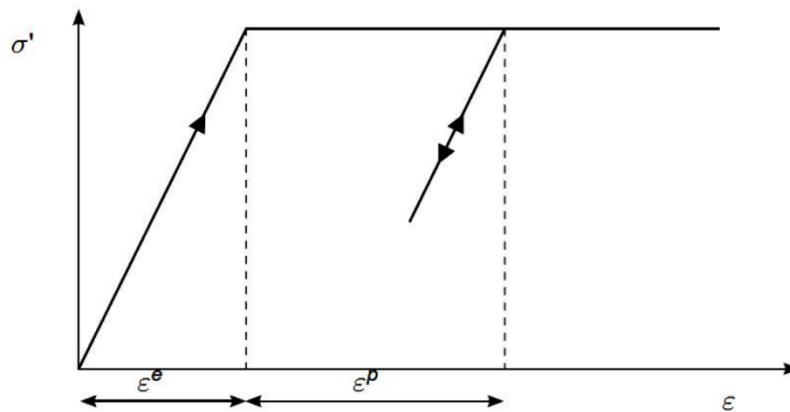
$$\varepsilon = \varepsilon_e + \varepsilon_p \quad (41)$$

Burada;

ε : Toplam deformasyonu (m),

ε_e : Elastik deformasyonu (m),

ε_p : Plastik deformasyonu (m) ifade eder.

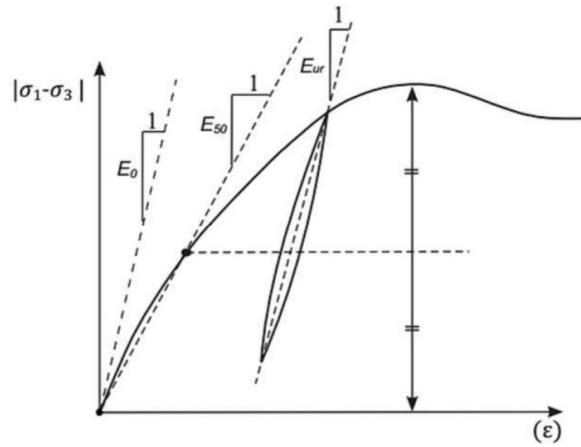


Şekil 9. Elastik-tam plastik malzeme modelinin gerilme etkisiyle şekil değişimi (PLAXİS 2D, 2019)

Mohr Coulomb malzeme modeline göre zemin elastisitesi için rijitlik, elastisite modülü (E) ve Poisson oranı (ν); plastisitesi için mukavemet, zeminin kayma mukavemeti açısı (ϕ), zeminin kohezyonu (c) ve dilatasyon açısı (ψ) parametreleri tanımlanmaktadır. Mohr Coulomb zemin modeli gevşek kumlar ve aşırı konsolide kil davranışını modellemek için tercih edilmemektedir. Gevşek kumlar ve killer gerilme altında hacimsel azalma gösterdikleri için Plaxis programında modellenmeye uygun değilken toprak dolgu barajları ve istinat duvarları güvenlik analizi ve taşıma gücü analizinde kullanılmaktadırlar.

1.8.3. Hardening Soil Zemin Model

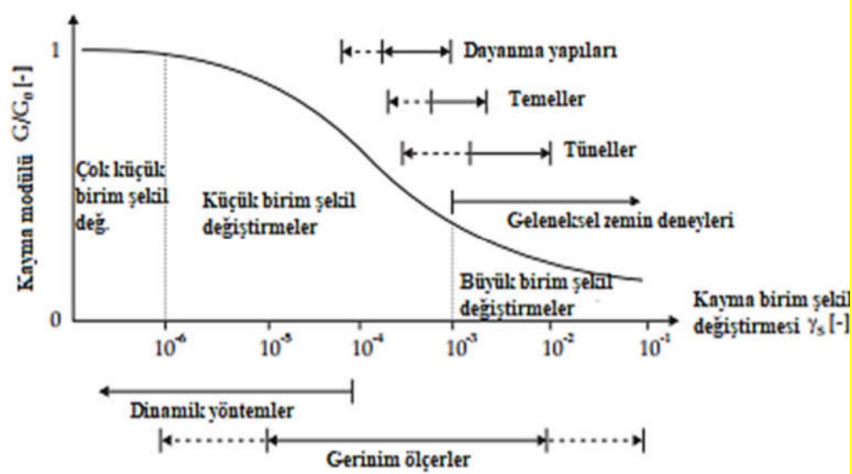
Geoteknik mühendisliğinde Hardening soil zemin modeli karmaşık ve kompleks sorunları çözmek için tasarlanmış oldukça gelişmiş bir zemin modelidir. Pekleşen zemin modeli hiperbolik modelin daha gelişmiş bir versiyonudur. Bu tür gelişmiş modeller malzemenin davranışsal yönlerini basit denklemlerle ifade ederler. 1999 yılında temelleri atılan Hardening Soil zemin modelinin temel ilkesi plastik teoriye dayanmaktadır. Bu modelde gerilmeler (elastik ve plastik) yüzey gerilmelerine bağlı olarak hesaplanmaktadır. Şekil 10' da gerilme şekil değiştirme grafiği görülmektedir. Grafikte görüldüğü gibi gerilmeler arttıkça zeminin rijitlik modülü azalmaktadır. Doğrusal elastik tam plastik modelde zemin rijitliği sabit kabul edilirken Hardening Soil modelde zemin rijitliği değişkendir. Plastik teoriyi kullanan bu model yumuşak ve sert zeminlerin gösterdiği davranışı çözümlmek için tercih edilmektedir. Plastik teoriye göre plastik şekil değiştirmeler multi surface akış kriterine göre belirlenmektedir. Mohr-Coulomb modelindeki sabit zemin rijitliğinden farklı olarak; Hardening Soil Zemin Modeli ve Mohr-Coulomb zemin modelinin programa girdi parametreleri benzerlik göstermektedir. Hem kohezyonlu hem kohezyonsuz zeminlerde kullanılan bu model göçme durumunu tanımlamaktadır. Aşırı konsolide killerin zemin davranışı karmaşık olduğundan dolayı bu modelle çözümleme çok önerilmemektedir.



Şekil 10. Standart drenajlı üç eksenli basınç deneyinde hiperbolik gerilme-şekil değiştirme ilişkisi (Plaxis, 2019)

1.8.4. Hardening Soil with Small-Strain Stiffness Zemin Modeli (HSS)

Bu model küçük deformasyon özelliği gösteren granüler dolgularda ve aşırı konsolide olmuş killerde kullanılmaktadır. Hardening Soil Small Strain Stiffness zemin modeli zeminlerde boşaltma ve yeniden yükleme sırasındaki elastik malzeme davranışını kabul ederek çözüm üretmektedir. Plaxis (2009)'a göre zeminlerin elastik davranış gösterdiği yerlerde birim şekil değiştirme aralığı çok küçük olmaktadır. Şekil 11'de görüldüğü gibi bu model) küçük birim şekil değiştirmelerde zeminin artan rijitliğini de dikkate almaktadır (Şekil 11).



Şekil 11. Geoteknik uygulamalar ve deney türleri aralıklarında $G/G_{\max}$ – kayma birim şekil değiştirme ilişkisi (Benz, 2007)

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR VE BULGULAR

İnceleme alanı; İstanbul ili, Bakırköy ilçesi, Şevketiye Mahallesinde bulunmaktadır. Bu alanda 10.88 metre yüksekliğe sahip Kapalı Spor Salonu yapılması planlanmaktadır. Yapılması planlanan spor salonunun inşaat oturum alanı yaklaşık olarak 1938.37 m²'dir. İnceleme alanının genel görüntüsü Şekil 13'de verilmiştir.



Şekil 13. Yer bulduru haritası

İnceleme alanında yapılması planlanan kapalı spor salonu binasının yapı temelleri mimari projeye göre dolgu birimlerine oturmaktadır. Sahada 5.70-7.10 kalınlığında gözlenen kalın dolgu tabakası heterojen ve yüksek sıkışabilirlik özellikte olup taşıyıcı zemin olma özelliği yoktur. Dolgu altından itibaren 15-26 metre derinliğinde bulunan orta katı kil tabakalarına ait birimlerinin SPT değerleri göz önüne alındığında yapıda oluşabilecek zemin gerilmelerini karşılamaya elverişli olmadığı görülmüştür. Bu binada taşıma gücü, oturma problemi ve sıvılaşma riski beklenmekte olduğu tespit edilmiştir.

Kapalı spor salonuna ait yapı yükleri esas alınarak yeni bir iyileştirme yöntemi uygulanması uygun bulunmuştur. İyileştirme yöntemi olarak taş kolon-jet grout-fore kazık ve derin karıştırma yöntemlerinden biri tercih edilebilir. Uygulanacak projeye göre yapı yükünü 5.70-7.10 metre kalınlığındaki dolgu ve 15-26 metre derinliğe dek devam orta katı

kil tabakalarına ait birimlerin altında gözlenen sert kil içeren zemin tabakalarına taşıttırılması uygun görülmüştür. 1938.3736 m² oturum alanına, 10.88 metre yapı yüksekliğine sahip olan Kapalı Spor salonu için; 65 cm çapında ,15 metre boyunda ,3'er metre aralıklarla temel altı fore kazık zemin iyileştirme yapılması uygun bulunmuştur.

2.1. Çalışma Alanının Coğrafi Konumu ve İklim Özellikleri

İnceleme alanı; İstanbul İli, Bakırköy İlçesi, Şevketiye Mahallesi, Rauf Orbay Caddesinde 72 ada, 4 nolu parselde yer almaktadır. Yüz ölçümü yaklaşık 167.331,24 m²'den oluşan parsel alanı kuzeybatı-güneydoğu yönlerinde düşük eğimli, düze yakın bir topoğrafya sunmaktadır. En yüksek kot maksimum 5.30 metre, en düşük kot minimum 4.80 m yüksekliğine sahip olup yüzde eğim değerleri % 0-5 arasında değişmekte olup inceleme alanı içinden geçen yer üstü suyu bulunmamaktadır.

Bakırköy semtinin iklim koşulları sıcak ve ılımandır. Yıllık ortalama sıcaklığı 15.1 derecedir. Yıllık ortalama yağış miktarı 610 mm'dir. 16 mm yağışla Ağustos yılın en kurak ayıdır. Tablo 11'de görüldüğü gibi ortalama 93 mm yağış miktarıyla en fazla yağış aralık ayında görülmüştür. Meteorolojik verilerden alınan sonuçlara göre maksimum rüzgâr hızı güney yönünden 32.6 m/sn, hâkim rüzgâr yönü ise batı-kuzeybatı ve güney-güneybatı yönündedir.

Tablo 11. İstanbul iline ait meteorolojik veriler

Aylar	Ock	Şub	Mrt	Nis	May	Haz	Tem	Ağs	Eyl	Ekm	Kas	Ar
Ortama Sıcaklık (°C)	6,3	6,7	5,6	12	11,7	21,9	24,5	24,	21,3	16,8	12,5	8,4
Minimum Sıcaklık (°C)	4,1	4,4	5,9	8,9	13,8	18,5	21,3	22,1	18,7	14,4	10,3	6,3
Maksimum Sıcaklık (°C)	8,3	9	11,3	15,2	20,1	25	27,9	28,1	24,2	19	14,7	10,3
Yağış (mm)	74	66	65	42	32	27	18	16	41	69	67	93

2.2. Çalışma Alanının Jeolojik Yapısı

Yapılan binanın jeolojik yapısını incelediğimize; dolgu tabakası, orta yüksek plastisiteli katı kil tabakası ve sert kil tabakasından oluştuğunu görmekteyiz.

2.2.1. Dolgu

İnceleme alanında spor salonu binasının oturma alanında açılan sondaj kuyularında kalınlığı 5.70-7.10 metre arasında değişen beton, tuğla, demir vb. malzemeler ile killi kumlu içerisinde kaya parçaları ve çakıllar içeren hafriyat dolgusu olduğu gözlenmiştir.

2.2.2. Orta Katı Kil Tabakası

Dolgu tabakasının altından itibaren 15-16 metre derinliklerde gözlenmektedir. İstanbul'un Marmara Denizi'ne ve Boğaz'a açılan büyük akarsuların kesişim noktasında yer alan bu birim koyu renkli kil, türü ince malzemeden oluşmaktadır. Orta katı kil tabakasına sahip olan derinliklerde su ve fazla miktarda kil olması nedeniyle zemin yüksek plastisitelidir. Oldukça yumuşak ve kıvamlı olan zeminin sıvılaşma riski de yüksektir.

2.2.3. Sert Kil Tabakası

Kil birimlerinin altından itibaren kuyu sonuna dek gözlenmektedir. Çekmece göllerinin dibindeki çökellerden dolayı adını almaktadır. Bu zemin tabakasında alttan üstte doğru kum-çakıl, kil ve kireçtaşının egemen olduğu üç farklı düzeyi kapsamaktadır. Bakırköy ve çevresi eski zamanlarda taş ocaklarına sahip olduğundan dolayı sert kil tabakası büyük ölçüde kireç taşından oluşur.

2.3. Çalışma Alanında Yapılan Sondaj Çalışmaları

Etüt alanından ve çevre arazilerden gözlemler yapılmış olup, inceleme alanında toplam 6 lokasyonda derinlikleri 20.00-32.00 metre arasında toplamda 164.50 metre zemin sondajı, zemin tabakalarının kıvamını tespit etmek için her 1.50 metre bir olmak üzere toplamda 96 adet SPT deneyi hesaplanmıştır. Toplamda 2 adet sondaj kuyusunda 3.00 metrede bir olmak üzere toplam 16 adet presiyometre deneyi yapılmıştır. Sondaj kuyusundan elde edilen veriler Tablo 12'de gösterilmiştir.

Tablo 12. Sondaj noktaları koordinatları ve denizden yükseklikleri

Kuyu No	Koordinatlar		Yükseklik (m)	Derinlik (m)
	X(Enlem)	Y(Boylam)		
SK 1	40.975128	28.844102	4,80	30,00
SK 2	40.974982	28.844585	4,93	32,00
SK 3	40.974900	28.844246	5,10	30,00
SK 4	40.974850	28.843941	5,20	20,00
SK 5	40.974673	28.844399	5,05	22,50
SK 6	40.974801	28.844472	4,90	30,00

Burada;

SK 1-1. sondaj kuyusunu,

SK 2-2. Sondaj kuyusunu,

SK 3-3. Sondaj kuyusunu,

SK 4-4. Sondaj kuyusunu,

SK 5-5. Sondaj kuyusunu,

SK 6-6. Sondaj kuyusunu,

Tablo 13. Sondaj kuyularından elde edilen veriler

Sondaj No	Derinlik (m)	Litoloji	Formasyon
SK 1	0,00-5,70	Beton, tuğla vb. atık malzemeler ile killi kumlu içerisinde kaya parçaları içeren hafriyat dolgusu	Dolgu
	5,70-16,40	Kara -koyu mavimsi külrengi, koyu yeşil renkli çok az kumlu, yoğun siltli, yer yer kömürleşmiş bitki parçalı ince denizel gastropod, orta yüksek plastisiteli, yumuşak orta katı kil	Orta katı kil
	16,40-30,00	Kirli beyaz-kahverengi, açık yeşilimsi kumlu siltli, yoğun karbonat kongresyonlu, orta yüksek plastisiteli sert kil	Sert kil
SK 2	0,00-7,00	Beton, tuğla vb. atık malzemeler ile killi kumlu içerisinde kaya parçaları içeren hafriyat dolgusu	Dolgu
	7,00-26,50	Kara -koyu mavimsi külrengi, koyu yeşil renkli çok az kumlu, yoğun siltli, yer yer kömürleşmiş bitki parçalı ince denizel gastropod, orta yüksek plastisiteli, yumuşak orta katı kil	Orta katı kil
	26,50-32,00	Kirli beyaz-kahverengi, açık yeşilimsi kumlu siltli, yoğun karbonat kongresyonlu, orta yüksek plastisiteli sert kil	Sert kil
SK 3	0,00-5,90	Beton, tuğla vb. atık malzemeler ile killi kumlu içerisinde kaya parçaları içeren hafriyat dolgusu	Dolgu
	5,90-16,50	Kara -koyu mavimsi külrengi, koyu yeşil renkli çok az kumlu, yoğun siltli, yer yer kömürleşmiş bitki parçalı ince denizel gastropod, orta yüksek plastisiteli, yumuşak orta katı kil	Orta katı kil
	16,50-30,00	Kirli beyaz-kahverengi, açık yeşilimsi kumlu siltli, yoğun karbonat kongresyonlu, orta yüksek plastisiteli sert kil	Sert kil
SK 4	0,00-7,10	Beton, tuğla vb. atık malzemeler ile killi kumlu içerisinde kaya parçaları içeren hafriyat dolgusu	Dolgu
	7,10-15,00	Kara -koyu mavimsi külrengi, koyu yeşil renkli çok az kumlu, yoğun siltli, yer yer kömürleşmiş bitki parçalı ince denizel gastropod, orta yüksek plastisiteli, yumuşak orta katı kil	Orta katı kil
	15,00-20,00	Kirli beyaz-kahverengi, açık yeşilimsi kumlu siltli, yoğun karbonat kongresyonlu, orta yüksek plastisiteli sert kil	Sert kil
SK 5	0,00-6,10	Beton, tuğla vb. atık malzemeler ile killi kumlu içerisinde kaya parçaları içeren hafriyat dolgusu	Dolgu
	6,10-16,50	Kara -koyu mavimsi külrengi, koyu yeşil renkli çok az kumlu, yoğun siltli, yer yer kömürleşmiş bitki parçalı ince denizel gastropod, orta yüksek plastisiteli, yumuşak orta katı kil	Orta katı kil
	16,50-22,50	Kirli beyaz-kahverengi, açık yeşilimsi kumlu siltli, yoğun karbonat kongresyonlu, orta yüksek plastisiteli sert kil	Sert kil
SK 6	0,00-6,50	Beton, tuğla vb. atık malzemeler ile killi kumlu içerisinde kaya parçaları içeren hafriyat dolgusu	Dolgu
	6,50-22,30	Kara -koyu mavimsi külrengi, koyu yeşil renkli çok az kumlu, yoğun siltli, yer yer kömürleşmiş bitki parçalı ince denizel gastropod, orta yüksek plastisiteli, yumuşak orta katı kil	Orta katı kil
	22,30-30,00	Kirli beyaz-kahverengi, açık yeşilimsi kumlu siltli, yoğun karbonat kongresyonlu, orta yüksek plastisiteli sert kil	Sert kil

2.4. Çalışma Alanındaki Yer Altı Suyu

İnceleme alanında açılan sondaj kuyularında yer altı suyu düzenli olarak takip edilmiş olup, sondajlarda 6.20-7.30 metre derinliklerde yer altı suyu gözlenmiştir.

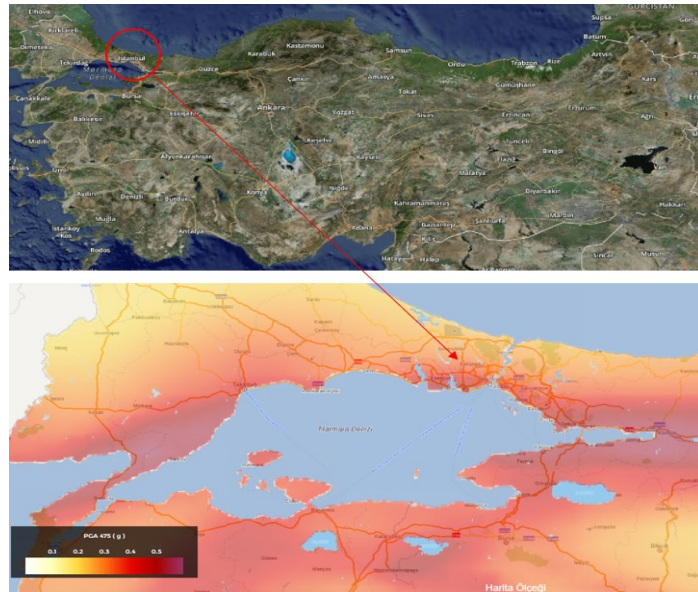
Arazide olası yüzey sularına ve yer altı sularına ve oluşabilecek sızıntılara karşı temel drenajı sağlanmalıdır.

Tablo 14. Yer altı Suyu Seviyesi

Sondaj No	Sondaj Kotu (m)	Yer altı Suyu Seviyesi (m)	Sondaj No	Sondaj Kotu (m)	Yer altı Suyu Seviyesi (m)	Sondaj No	Sondaj Kotu (m)	Yer altı Suyu Seviyesi (m)
SK1	4.80	6.20	SK3	5.10	6.60	SK5	5.05	6.40
SK2	4.93	7.30	SK4	5.20	7.20	SK6	4.90	6.80

2.5. Çalışma Alanının Depremselliği

İstanbul ve çevresi, Kuzey Anadolu fay hattı ülkemizin en aktif fay hatlarından biridir ve İstanbul bu fay hattının kuzeyinde kalmaktadır. İstanbul için verilmiş deprem tehlike haritası Şekil 14’de gösterilmiştir.



Şekil 14. Türkiye ve İstanbul iline ait deprem tehlike haritası (AFAD, 2019)

Proje sahasını da içine alan 40.977901° Enlem ve 28.844282° Boylamında yer almaktadır. Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif uygulamasında kullanılarak yapılan analiz sonucunda, etkin ivme yer katsayısı 0.509 g bulunmuştur.

Tablo 15. Türkiye deprem tehlike haritaları interaktif değerleri

Parametreler		Orta katı kil	Sert kil
Enlem		40.974901	40.974901
Boylam		28.844282	28.844282
Yerel Zemin Sınıfı		ZE	ZD
Bina Kullanım Sınıfı (BKS)		2	2
Bina Önem Katsayısı		1.2	1.2
Bina Yükseklik Sınıfı (BYS)		6	6
Deprem Tasarım Sınıfı (DTS)		1	1
Kısa Periyot harita spektral ivme katsayısı	S_s	1.239	1.239
1 sn periyot için spektral ivme katsayısı	S_1	0.337	0.337
Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı	S_{DS}	1.126	1.244
1sn periyot için tasarım spektral ivme katsayısı	S_{D1}	0.894	0.662
Kısa Periyot Bölgesi için Yerel Zemin Etki Katsayıları F_s	$S_s=1.00$	1.1	1.1
	$S_s=1.25$	0.9	1.00
1,0 saniye Periyot için Yerel Zemin Etki Katsayıları F_1	$S_1=0.30$	2.8	2.0
	$S_1=0.40$	2.4	1.9
Yatay Elastik Spektrumu	$T_A(s)$	0.159	0.106
	$T_B(s)$	0.794	0.532
	$T_L(s)$	6.000	6.000
Düşey Elastik Spektrumu	$T_{AD}(s)$	0.053	0.035
	$T_{BD}(s)$	0.265	0.177
	$T_{LD}(s)$	3.000	3.000
En Büyük Yer İvmesi (PGA) (g)		0.509	0.509
En Büyük Yer Hızı (PGV) (cm/sn)		31.241	31.241

Bölge için değişik zamanlarda ayrıntılı sismik analizler yapılmıştır. 1900-2020 arasında oluşmuş $M > 4.5$ olan depremlerin bir histogramı en sık yaşanan olayların $M = 4.5-5.0$ olduğunu göstermişler. İnceleme alanında 4.0-4.5 M değerindeki bir depremin 10 yıl içinde olma olasılığı % 81-98.3 iken; 50, 75 ve 100 yıl içinde olma olasılığı %100 değer aralığında değişim göstermektedir.

M =5.0-5.5 aralığındaki bir depremin 10 yıl için deprem olma olasılığı %24.3-49.3 aralığında değişirken; 50, 75 ve 100 yıl içinde olma olasılığı % 75.1-99.9 aralığında değişim göstermektedir.

M =6.0-6.5 aralığındaki bir depremin 10 yıl için deprem olma olasılığı %4.6-10.8 aralığında değişirken; 50, 75 ve 100 yıl içinde olma olasılığı % 20.8-68.0 aralığında değişim göstermektedir.

M =7.0-7.5 aralığındaki bir depremin 10 yıl için deprem olma olasılığı %0.8-1.9 aralığında değişirken; 50, 75 ve 100 yıl içinde olma olasılığı % 3.8-17.4 aralığında değişim göstermektedir.

İnceleme alanındaki zeminin bina önem katsayısının 1.2 ve bina kullanım sınıfının 2 olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 16. Bina kullanım sınıfları ve bina önem katsayıları (TBDY, 2018)

Bina Kullanım Sınıfı	Binanın Kullanım Amacı	Bina Önem Katsayısı (I)
BKS = 1	Deprem sonrası kullanımı gereken binalar, insanların uzun süreli ve yoğun olarak bulunduğu binalar, değerli eşyanın saklandığı binalar ve tehlikeli madde içeren binalar a) Deprem sonrasında hemen kullanılması gerekli binalar (Hastaneler, dispanserler, sağlık ocakları, itfaiye bina ve tesisleri, PTT ve diğer haberleşme tesisleri, ulaşım istasyonları ve terminalleri, enerji üretim ve dağıtım tesisleri, vilayet, kaymakamlık ve belediye yönetim binaları, ilk yardım ve afet planlama istasyonları)	1.5
BKS = 2	İnsanların kısa süreli ve yoğun olarak bulunduğu binalar Alışveriş merkezleri, spor tesisleri, sinema, tiyatro, konser salonları, ibadethaneler vb.	1.2
BKS = 3	Diğer binalar BKS=1 ve BKS=2 için verilen tanımlara girmeyen diğer binalar (Konutlar, işyerleri, oteller, bina türü endüstri yapıları vb.)	1.0

2.6. Bölgede Yapılan Araştırma Çalışmaları

2.6.1. Arazi Deneyleri

İnceleme alanında zeminin fiziksel parametrelerini belirlemek için SPT deneyi yapılmıştır. Ayrıca arazi deneyleri kapsamında 2 adet sondaj kuyusunda 3.00 metrede bir toplamda 16 adet presiyometre deneyi yapılmıştır.

2.6.1.1. SPT Deneyleri

Zeminin fiziksel özelliklerini belirlemek için kullanılan deneylerden biri de Standart Penetrasyon deneyidir. SPT deneyinde 76 cm yüksekliğinde, 63.5 kg ağırlığında şahmeranın serbest düşmesi ile zemine 15 cm'lik kademeler halinde toplam 45 cm'ye çakılması için gereken darbe adedi tespit edilmiştir. 15 cm'lik kademeler halinde yapılan serbest düşmeler sonucunda ilk darbe değerleri hesaba katılmayarak son iki kademe için hesaplanan 15 cm'lik darbe sayısı değerleri toplamı SPT-N değeri olarak hesaplanmaktadır.

Düzeltilmiş SPT N_{60} değerleri:

$N_{60} = N \cdot C_R \cdot C_S \cdot C_B \cdot C_E$ formülü ile hesaplanmıştır. SPT düzeltme katsayıları Tablo 17'de verilmiştir.

C_R = Tij Boyu Düzeltme Katsayısı

C_S = Numune Alıcı Düzeltme Katsayısı

C_B = Sondaj Delgi Çapı Düzeltme Katsayısı

C_E = Enerji Oranı Düzeltme Katsayısı

Tablo 17. SPT düzeltme katsayıları (2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği)

Düzeltilme Katsayısı	Değişken	Değer
C_R	3 m ile 4 m aralığında	0,75
	4 m ile 6 m aralığında	0,85
	6 m ile 10 m aralığında	0,95
	10 m ve üzeri derinliğinde	1
C_S	Standart numune alıcı (içi tüplü)	1
	İçi tüplü olmayan	1,10-1,30
C_B	Çap 65 mm ile 115 mm arasında	1
	Çap 150 mm	1,05
	Çap 200 mm arasında	1,15
C_E	Güvenli Tokmak	0,6-1,17
	Halkalı Tokmak	0,45-1
	Otomatik Darbeli Tokmak	0,9-1,60

C_S, C_B, C_E değerleri 1, C_R değeri ise sondaj derinliğine bağlı olarak 0.75, 0.85, 0.95 değerinde alınmıştır. SK 1 sondaj kuyusu için hesaplanan N_{60} değeri Eşitlik 44 ile verilmiştir.

Tablo 18. SPT N_{60} değerlerinin hesaplanması

Sondaj	Derinlik (m)	SPT					Formasyon-Litoloji
		$N_{0,15}$	$N_{15,30}$	$N_{30,45}$	N_{30}	N_{60}	
SK1	1,5-1,95	8	14	16	30	22,5	Dolgu
	3-3,45	10	18	20	38	28,5	Dolgu
	4,5-4,54	50/4	-	-	R	37,5	Dolgu
	6-6,45	1	2	3	5	4,25	Orta katı kil
	7,5-7,95	2	3	4	7	5,95	Orta katı kil
	9-9,45	1	2	1	3	2,55	Orta katı kil
	10,5-10,95	1	1	2	3	3	Orta katı kil
	12-12,45	2	2	2	4	4	Orta katı kil
	13,50-13,95	2	2	3	5	5	Orta katı kil
	15-15,45	2	2	3	5	5	Orta katı kil
	19,50-19,95	15	20	21	41	41	Sert Kil
	22,50-22,95	18	21	23	44	44	Sert Kil
	25,50-25,95	16	24	27	51	50	Sert Kil
	28,50-28,95	19	25	30	55	50	Sert Kil

SK 1 kuyusu için :

3.00-3.45 m derinliğinde

$$N_{30} \text{ değeri} = N_{15,30} + N_{30,45} \quad (42)$$

toplamı olarak hesaplanmıştır.

$$N_{30} = 18 + 20 = 38 \quad (43)$$

olarak hesaplanır.

$$N_{60} \text{ değeri} = N_{60} = N * C_R * C_S * C_B * C_E \quad (44)$$

olarak hesaplanır.

Burada;

$$C_S, C_B, C_E = 1$$

C_R değeri 3.00-3.45 m derinlik için Tablo :17'den 0.75 olarak seçilmiştir.

Bu değerlere göre;

$$\text{Düzeltilmiş } N_{60} \text{ değeri} = 0.75 * 38 = 28 \quad (45)$$

2.6.1.2. Presiyometre Deneyleri

Çalışma alanında, 2 adet sondaj kuyusundan toplam 16 adet presiyometre deneyi yapılmıştır. Deney Apageo marka Menard Presiyometresi ile yapılmış olup, deney sırasında koruyucu tüp kullanılmıştır. Prob 60 mm çaplı, koruyucu tüp 74 mm 'dir. Yapılan presiyometre sonuçları Tablo 19'da verilmiştir.

Tablo 19. İnceleme alanındaki presiyometre deney sonuçları

Sondaj No	Derinlik	Presiyometre Modülü E_m (kg/cm ²)	Limit Basıncı PI (kg/cm ²)	Net Limit Basıncı PI* (kg/cm ²)	Formasyon/Litoloji
SK3	3	41,72	4,35	3,84	Dolgu
	6	35,42	4,63	4,12	Dolgu
	9	40,01	4,46	3,95	Orta katı kil
	12	42,24	6,00	5,56	Orta katı kil
	15	60,68	7,40	7,04	Orta katı kil
	18	311,84	19,30	18,20	Sert kil
	21	334,40	20,79	19,67	Sert kil
	24	358,50	20,09	18,09	Sert kil
	27	531,60	21,85	20,80	Sert kil
	30	591,30	22,94	21,80	Sert kil
SK4	3	40,01	4,46	3,95	Dolgu
	6	30,38	5,54	5,12	Dolgu
	9	48,80	4,30	3,77	Orta katı kil
	12	45,66	5,42	5,01	Orta katı kil
	15	57,72	7,15	6,77	Orta katı kil
	18	303,40	18,63	17,50	Sert kil

2.6.2. Laboratuvar Deneyleri

İnceleme alanında yaralan zemin ortamının jeoteknik özelliklerini belirlemek amacıyla Türk Standartlarına uygun laboratuvar deneyleri yapılmıştır.

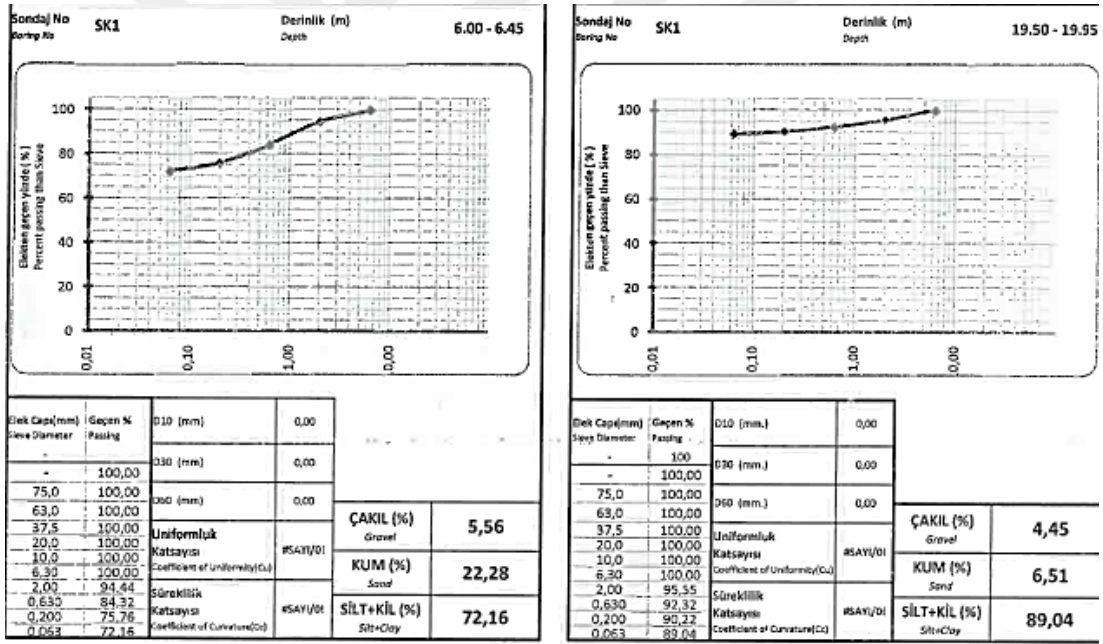
2.6.2.1. Zeminlerin Fiziksel Özelliklerini Belirleyen Deneyler

İnceleme alanında yapılan sondaj çalışmalarında alınan zemin numunelerinin havayla temasını önlemek amacıyla ağızları parafinlenerek muhafaza edilmişlerdir.

Numuneler üzerinde Türk Standartlarına uygun olarak elek analizi, Atterberg limitleri, su muhtevası ve sınıflandırma deneyleri yapılmıştır.

2.6.2.1.1. Elek Analizi Deneyi

Elek analizi sonucu olarak orta katı kil birimlerde çakıl oranı %0-13.10, kum oranı %5.49-25.38, silt oranı %33.44-41.45, kil oranı %35.59-51.14, silt +kil oranı %68.06-94.51 değerleri arasında; sert kil birimlerde çakıl oranı %0-6.56, kum oranı %4.74-18.10, silt oranı %32.69- 44.23, kil oranı %38.53-55.09 silt+kil oranı %78.20-92.03 olarak bulunmuştur. SK1, SK2, SK3, SK4, SK5 ve SK6 sondaj kuyularındaki malzemelere göre elek analizi yapılmış olup elek analizi sonuçları Şekil 15’de verilmiştir.



Şekil 15. Elek analizi deney sonuçları

2.6.2.1.2. Atterberg Limitleri Deneyi

İnceleme alanına ait numuneler üzerinde yapılan Atterberg limitleri orta katı kil birimlerinde LL %30.7-61.1; PL %17.6-29.1 ve PI: %13.1-33.5 değerleri arasında; sert kil birimlerde LL %30.3-46.1; PL%18.9-24.9, PI: %7.1-23.5 değerleri arasında gözlenmiştir. Nemdeki değişim olarak bilinen likit limit değeri dane çapı azaldıkça artmaktadır. Zeminin

nem içeriği likit limit değerine yakınsa büyük bir deformasyon meydana gelebilir. Plastik limit ise zeminin nem içeriğinin en küçük değeri olarak tanımlanmaktadır.

2.6.2.1.3. Su Muhtevası Deneyi

Zeminin sondaj çalışmaları sonucunda alınan zemin numunelerine su muhtevası deneyi yapılmıştır. Orta katı kil birimlerde $W_n = 21.1-41.1$ değerleri arasında; sert kil birimlerde $W_n = 22.2-32.2$ değerleri arasında belirlenmiştir. Killi zeminlerin içindeki su miktarı arttıkça zemin yumuşamaya ve akmaya başlar. Optimum su muhtevası değerinde dayanım oldukça fazladır. İçeriğindeki su miktarı artan zemin yumuşamaya ve akmaya başlar. Optimum su muhtevası altında dayanım en yüksek değere ulaşmaktadır. Zemin tabakalarına ait laboratuvar deney sonuçları çakıl, kum, kil ve silt yüzdeleri Tablo 20’de verilmiş olup zemin sınıflandırılması ve su içeriği gösterilmiştir.

Tablo 20. Zemine ait laboratuvar deneyleri sonuçları

Sondaj No	Numune No	Derinlik (m)	Çakıl	Kum	Silt	Kil	Atterberg Limitleri			W _n	Sınıflandırma ISO	Litoloji
			%	%	%	%	LL	PL	PI	%		
SK1	SPT	6-6,45	5,56	22,28	72,16		40,5	21,6	18,9	29,6	saCIM	Orta katı kil
SK1	CR	7-7,50								29,7		Orta katı kil
SK1	CR	12,50-13	4,56	17,22	41,44	36,78	39,1	23	16,1	28,6	saCIM	Orta katı kil
SK1	CR	15,5-16								23,8		Orta katı kil
SK1	SPT	19,5-19,95	4,45	6,51	89,04		32,3	19,6	12,7	22,6	CIL	Kireç taşı sert kil
SK1	CR	21-21,5								28,8		Kireç taşı sert kil
SK1	CR	26-26,5								30,07		Kireç taşı sert kil
SK2	SPT	7,5-7,95	6,56	25,38	68,06		30,7	17,6	13,1	21,1	saCIL	Orta katı kil
SK2	CR	8-8,5	7,70	12,90	38,26	41,14	38	21,5	16,5	23,6	saCIM	Orta katı kil
SK2	UD	8,5-9								27,6		Orta katı kil
SK2	CR	14-14,5	5,56	12,87	81,57		41,1	21,4	19,7	33,2	SaCIM	Orta katı kil
SK2	CR	23-23,5								31,1		Yumuşak kil
SK2	SPT	27-27,45	4,56	7,66	32,69	55,09	31,7	24,6	7,1	26,6	CIL	Kireç taşı sert kil
SK2	CR	29-29,5	3,23	4,74	92,03		32,9	18,9	14	22,6	CIL	Kireç taşı sert kil
SK3	SPT	6-6,45	6,56	17,12	76,32		58,7	23,3	33,5	38,6	saCIH	Yumuşak kil
SK3	CR	8-8,5								33		Orta katı kil
SK3	CR	13-13,5	7,85	19,76	72,39		44,7	23,7	21	34,1	saCIM	Orta katı kil
SK3	CR	17-17,5	0	16,22	43,84	39,94	31,5	20,2	11,3	25,6	saCIL	Kireç taşı sert kil
SK3	SPT	18-18,22	4,45	7,28	88,27		39,4	23,1	16,3	30,1	CIM	Kireç taşı sert kil
SK3	CR	26-26,5								27,7		Kireç taşı sert kil
SK4	SPT	7,5-7,95	5,23	13,89	80,88		41,8	22,2	19,6	29,6	SaCIM	Orta katı kil
SK4	CR	8-8,5								30,2		Orta katı kil
SK4	UD	8,5-9								28,4		Orta katı kil

Tablo 20'nin devamı

SK4	CR	12,5-13	5,7	17,26	41,45	35,59	56,9	28,8	28,1	41,1	saCIH	Yumuşak kil
SK4	SPT	15-15,10	4,12	7,18	88,70		46,1	22,5	23,5	32,2	CIM	Kireç taşı sert kil
SK4	CR	15,50-16	5,6	8,34	86,06		38,5	24,9	13,6	29,6	CIM	Kireç taşı sert kil
SK5	SPT	7,5-7,95	0	5,49	94,51		57,2	26,8	30,4	36,6	CIH	Yumuşak kil
SK5	UD	8,5-9								35,2		Yumuşak kil
SK5	CR	11,5-12	5,12	10,30	33,44	51,14	61,1	29,1	32,1	38,9	saCIH	Orta katı kil
SK5	SPT	18-18,45	6,56	8,88	84,56		30,3	19,2	11,1	22,2	saCIL	Kireç taşı sert kil
SK5	CR	19-19,5	0	16,94	44,23	38,83	31,7	20,5	11,2	22,3	saCIL	Kireç taşı sert kil
SK6	UD	7-7,5								31,8		Yumuşak kil
SK6	SPT	9-9,45	5,56	7,5	86,94		57,7	25,8	31,9	37,5	CIH	Orta katı kil
SK6	CR	13-13,5	13,10	11,18	75,72		61	27,5	33,5	40	grCIH	Orta katı kil
SK6	CR	18,5-19								28,2		Orta katı kil
SK6	CR	23-23,5	3,7	18,10	39,35	38,85	43,2	20,1	23,1	30,2	saCIM	Kireç taşı sert kil
SK6	SPT	24,24,45	1,85	17,86	80,29		34	20,3	13,7	29,5	saCIL	Kireç taşı sert kil

2.6.2.2. Zeminlerin Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi

Çalışma alanında yer alan birimlerin mekanik özelliklerinin belirlenmesi için, doğal birim hacim ağırlık, kuru birim hacim ağırlık, üç eksenli basınç ve konsolidasyon deneyleri yapılarak zeminin kohezyon (c) ve kayma mukavemeti açısı (ϕ) belirlenmiştir. Zemin numuneleri üzerinde yapılan mekanik deney sonuçları Tablo 21 'de gösterilmiştir.



Tablo 21. Zemin numuneleri üzerinde yapılan mekanik deney sonuçları

Sondaj No	Numune No	Derinlik (m)	γ_n	γ_k	Üç Eksenli Basınç Deneyi		Formasyon -Litoloji
			gr / cm^3	gr / cm^3	c (kPa)	ϕ (°)	
SK1	CR	7.00-7.50	1.840	1.425	48.17	9.11	Orta katı kil
SK1	CR	12.50-13.00	1.845	1.442	50.96	9.98	Orta katı kil
SK1	CR	15.50-16.00	1.824	1.493	37.99	9.07	Orta katı kil
SK1	CR	21.00-21.50	1.878	1.461	93.69	10.50	Kireç taşı sert kil
SK1	CR	26.00-26.50	1.892	1.447	104.08	9.78	Kireç taşı sert kil
SK2	CR	8.00-8.50	1.854	1.496	52.94	11.62	Orta katı kil
SK2	UD	8.50-9.00	1.874	1.464	68.40	10.88	Orta katı kil
SK2	CR	14.00-14.50	1.845	1.382	40.30	10.02	Orta katı kil
SK2	CR	23.00-23.50	1.853	1.418	45.98	8.85	Orta katı kil
SK2	CR	29.00-29.50	1.894	1.541	99.22	8.97	Kireç taşı sert kil
SK3	CR	8.00-8.50	1.861	1.405	63.26	8.20	Orta katı kil
SK3	CR	13.00-13.50	1.846	1.380	48.55	10.88	Orta katı kil
SK3	CR	17.00-17.50	1.865	1.484	59.36	8.77	Kireç taşı sert kil
SK3	CR	26.00-26.50	1.890	1.472	90.04	7.99	Kireç taşı sert kil
SK4	CR	8.00-8.50	1.848	1.413	43.60	10.16	Orta katı kil
SK4	UD	8.50-9.00	1.860	1.448	64.70	8.97	Orta katı kil
SK4	CR	12.50-13.00	1.812	1.280	25.64	6.24	Yumuşak katı kil
SK4	CR	15.50-16.00	1.891	1.450	94.41	8.65	Kireç taşı sert kil
SK5	UD	8.50-9.00	1.860	1.381	61.46	8.90	Yumuşak katı kil
SK5	CR	11.50-12.00	1.851	1.334	54.16	10.02	Orta katı kil
SK5	CR	19.00-19.50	1.898	1.540	105.62	10.96	Kireç taşı sert kil
SK6	UD	7.00-7.50	1.873	1.416	70.30	9.75	Yumuşak katı kil
SK6	CR	13.00-13.50	1.824	1.310	27.61	8.69	Orta katı kil
SK6	CR	18.50-19.00	1.876	1.461	79.40	10.03	Orta katı kil
SK6	CR	23.00-23.50	1.830	1.406	40.20	7.62	Kireç taşı sert kil

Tablo 22. Zemin numuneleri üzerinde yapılan Üç Eksenli Basınç Deneyi sonuçları

Sondaj No	Numune Tipi	Derinlik (m)	Üç Eksenli Basınç Deneyi (CU)							
			Su Basıncı		Toplam Gerilme (kPa)		Efektif Gerilme (kPa)		Sonuçlar	
SK1	CU	11.50-12.00	σ_{d1} kPa	124	σ_{31} kPa	150	σ_{31} kPa'	84	c (kPa)	22
			σ_{d2} kPa	194	σ_{11} kPa	274	σ_{11} kPa'	208	ϕ (°)	11
			u_{wf1}	66	σ_{32} kPa	300	σ_{32} kPa'	134	c' (kPa)	2
			u_{wf2}	166	σ_{12} kPa	494	σ_{12} kPa'	328	ϕ (°)	24
SK3	CU	7.00-7.50	σ_{d1} kPa	122	σ_{31} kPa	100	σ_{31} kPa'	63	c (kPa)	31
			σ_{d2} kPa	170	σ_{11} kPa	222	σ_{11} kPa'	185	ϕ (°)	11
			u_{wf1}	37	σ_{32} kPa	200	σ_{32} kPa'	88	c' (kPa)	1
			u_{wf2}	112	σ_{12} kPa	370	σ_{12} kPa'	258	ϕ (°)	29

2.6.2.2.1. Doğal Birim Hacim Ağırlık Deneyi

Sondaj çalışmaları sonucunda alınan zemin örneklerinde, orta katı kil birimlerinde doğal birim hacim ağırlık $\gamma_n = 1.812 - 1.879 \text{ gr} / \text{cm}^3$, sert kil birimlerinde $\gamma_n = 1.830 - 1.898 \text{ gr} / \text{cm}^3$ değerleri arasında belirlenmiştir.

2.6.2.2.2. Kuru Birim Hacim Ağırlık Deneyi

Sondaj çalışmaları sonucunda alınan zemin örneklerinde, orta katı kil birimlerine ait zemin tabakalarında kuru birim hacim ağırlık $\gamma_k = 1.280 - 1.496 \text{ gr} / \text{cm}^3$, sert kil birimlerine ait zemin tabakalarında $\gamma_k = 1.406 - 1.541 \text{ gr} / \text{cm}^3$ değerleri arasında belirlenmiştir.

İnceleme alanında yapılan sondaj çalışmalarından alınan zemin numunelerinde, orta katı kil birimlerine ait zemin tabakalarında $c = 25.64 - 79.40 \text{ kPa}$ ve $\phi = 6.24 - 11.62^\circ$, sert kil birimlerine ait zemin tabakalarında $c = 40.20 - 105.62 \text{ kPa}$ ve $\phi = 7.62 - 10.96^\circ$ değerleri arasında belirlenmiştir.

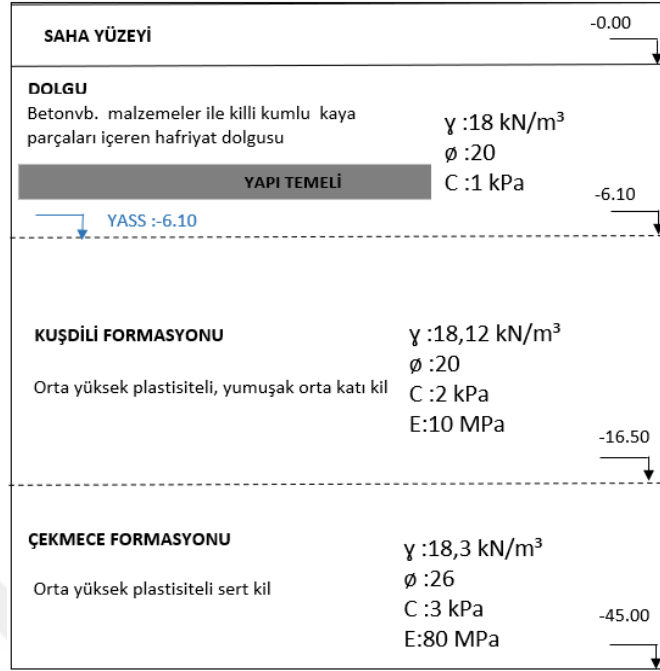
Tablo 23.Arazi ve laboratuvar deney sonuçları

Arazi ve Laboratuvar Sonuçları	Kuşdili Formasyonu	Çekmece Formasyonu
N ₃₀	3-26	33
C(kPa)	25.64-79.40	40.20-105.62
Ø (°)	6.24*11.62	7.62-10.96
Çakıl (%)	0.00-13.10	0.00-6.56
Kum (%)	5.49-25.38	4.74-18.10
Silt (%)	33.44-41.45	32.69-44.23
Kil (%)	35.59-51.14	38.83-55.09
Silt+kil (%)	68.06-94.51	78.20-92.03
γ_n (gr/cm ³)	1.812-1.876	1.830-1.898
γ_k (gr/cm ³)	1.280-1.496	1.406-1.541
W _n (%)	21.1-41.1	22.2-32.2
LL (%)	30.7-61.1	30.3-46.1
PL(%)	17.6-29.1	18.9-24.9
PI(%)	13.1-33.5	7.1-23.5
Sınıflandırma	saCIM,saCIL,saCIH,	CIL,saCIL,CIM,saCIM

İnceleme alanında yapılan sonuçlar neticesinde orta katı kil birimlerine ait zemin tabakalarında yerel zemin sınıfı ZE ve bu birimler altında kuyu sonuna kadar gözlenen sert kil tabakalarına ait zemin tabakalarında yerel zemin sınıfı ZD olarak belirlenmiştir.

2.7. İdealize Zemin Profili

İstanbul ili, Bakırköy ilçesi içinde yer alan inceleme alanında yapılan arazi çalışmaları sonucunda, temel zemininin yüzeyden itibaren ortalama 0.00-6.10 metresi dolgu malzemesinden,6.10-16.50 metreleri arası orta katı kil birimlerine ait zemin tabakalarından ve 16.50-45 metre arası sert kil birimine ait zemin tabakalarından oluşmaktadır. İdealize zemin profili Şekil 16' da verilmiştir.



Şekil 16. İdealize zemin profili

2.8. Taşıma Gücünün Hesaplanması

Çalışma alanında taşıma gücü hesapları laboratuvar deneyleri esas alınarak yapılmıştır. Zeminin taşıma gücü, Terzaghi taşıma gücü hesabı Eşitlik 45’de gösterilmiş olup sonuçlar Tablo 25 ve Tablo 26’da verilmiştir.

2.8.1. Terzaghi Taşıma Gücü Hesabı

Taşıma gücü analizi Terzaghi taşıma gücü hesabına göre yapılmıştır.

Tablo 24.Taşıma gücüne ait katsayılar (Terzaghi,1973)

Temel Şekli	K ₁	K ₂
Şerit	1	0,5
Kare	1,2	0,4
Daire	1,3	0,3
Dikdörtgen	1+0,2B/L	0,5-0,1 B/L

$$q_k = K_1 \cdot c \cdot N_c + \gamma_1 \cdot D_f \cdot N_q + K_2 \cdot N \gamma \cdot B \cdot \gamma_2 \quad (45)$$

Burada;

q_k : Temel taşıma gücü karakteristik Dayanımı(Ton/ m²)

K_1 ve K_2 : Temel tabanı şekline bağlı katsayıları,

c : Kohezyonu (kg /cm²),

N_c , N_q , N_γ : Temel tabanı altındaki zeminin kayma mukavemeti açısına bağlı taşıma gücü faktörlerini,

γ_1 : Temel tabanı üstündeki zeminin birim hacim ağırlığını, (g/cm³)

γ_2 : Temel tabanı altındaki zeminin birim hacim ağırlığını, (g/cm³)

D_f : Temel derinliğini (m) (Deney derinliği alınmıştır.)

B :Temel genişliğini (m) (Kapalı Spor Salonu Binası için 44.85 m)

ϕ : İçsel Sürtünme Açısı (Kil Birimlerde $\phi = 0^\circ$ olarak alınmıştır.

L : Temel Boyu (Kapalı Spor Salonu Binası için 53.90 m olarak alınmıştır.)

SK1 nolu sondajlara ait taşıma gücü hesapları ayrıntılı olarak verilmiş olup, tüm sondajlar için taşıma gücü hesapları Ek1’de verilmiştir.

SK1 5,70 metre (Orta katı kil);

$C=48.17$ kPa =4.82 t/m²

(Güvenli tarafta kalmak için $4.82/1.5 = 3.21$ t/m² alınmıştır.)

$\phi = 0^\circ$ olarak alınmıştır.

$\gamma=1.840$ gr/cm³

Tablo 25. Orta katı kil tabakasına ait taşıma gücü hesaplamaları

SK1 5,70 metre (Orta katı kil zemin tabakası)		
Veriler		Hesaplamalar
Temel tipi	Dikdörtgen	Zemin emniyetli taşıma gücü (q_k) : 31.72 t/m ² veya 3.17 kg/cm ²
K_1	1.16	
K_2	0.42	
c (t/m ³)	3.21	
ϕ (°)	0	
γ_1 (t/m ³)	1.840	
γ_2 (t/m ³)	1.840	
D_f (m)	5.70	
B (m)	44.85	
L (m)	53.90	
N_q	1	
N_c, N_γ	5.7-0	

Tablo 26. Sert kil tabakasına ait taşıma gücü hesaplamaları

SK1 16,40 metre (Sert kil zemin tabakası)		
Veriler		Hesaplamalar
Temel tipi	Dikdörtgen	Zemin emniyetli taşıma gücü (q_k) : 72.10 t/m ² veya 7.21 kg/cm ²
K ₁	1.16	
K ₂	0.42	
c (t/m ³)	6.25	
Ø (°)	0	
γ ₁ (t/m ³)	1.878	
γ ₂ (t/m ³)	1.878	
D _f (m)	16.40	
B (m)	44.85	
L (m)	53.90	
N _q	1	
N _c	5.7	
N _γ	0	

2.8.2. SPT Deney Sonuçlarına Göre Taşıma Gücü Hesabı

Taşıma gücü hesapları Bowles formülü esas alınarak hesaplanmıştır. Her kuyuda gözlenen farklı birimler için en küçük SPT (N) darbe sayıları kullanılmıştır. Temel derinlik için ise SPT deney derinliği alınmıştır.

$$Kd = 1 + 0.33 \frac{D}{B} \leq 1. \quad (46)$$

$$B > 1.22 \text{ için } q_t = 125 \times N \left(\frac{B+0.305}{B} \right)^2 \times K_d \quad (47)$$

q_t =Temel Taşıma Gücü Tasarım Dayanımı (kN/m²)

B =Temel Genişliği (m)

D = Temel Derinliği (m)

N =SPT Darbe Sayısı

Orta katı kil içeren zemin tabakası ve sert kil içeren zemin tabakası için yapılan SPT deneylerine göre; SK1 nolu sondaj kuyusu için taşıma gücü hesabı aşağıda ayrıntılı verilmiş olup, yapılan diğer hesaplamalar Ek2’de gösterilmiştir. Yapılan hesaplamalar için D_f değeri için SPT deney derinliği kullanılmıştır.

Tablo 27. Orta katı kil birimlere ait SPT ‘ye dayalı taşıma gücü sonuçları

SK1 6- 6.45 metre (Orta katı kil tabakası)			
Veriler			Hesaplamalar
<i>D</i>	Temel Derinliği (m)	6 m	$q_t = 125xN \left(\frac{B + 0,305}{B} \right)^2 x K_d$ $q_t = 125x5 \left(\frac{44,85 + 0,305}{44,85} \right)^2 x 1,04$ $q_t = 66.15 \text{ kN/m}^2$ $q_t = 6.61 \text{ t/m}^2$
<i>B</i>	Temel Genişliği (m)	44.85 m	
<i>D/B</i>	Derinlik Genişlik Oranı	6/44.85 =0.133	
<i>Kd</i>	Katsayı	1.04	
<i>N</i>	SPT Darbe Sayısı(<i>N</i> ₃₀)	5	
<i>q_t</i>	Taşıma Gücü(kN/m ²)	66.15 (kN/m ²)	

Tablo 28. Sert kil birimlere ait SPT ‘ye dayalı taşıma gücü sonuçları

SK1 19.50- 19.9 metre (Sert kil tabakası)			
Veriler			Hesaplamalar
<i>D</i>	Temel Derinliği (m)	19.50 m	$q_t = 125xN \left(\frac{B + 0,305}{B} \right)^2 x K_d$ $q_t = 125x41 \left(\frac{44,85 + 0,305}{44,85} \right)^2 x 1,14$ $q_t = 594.03 \text{ kN/m}^2$ $q_t = 59.40 \text{ t/m}^2$
<i>B</i>	Temel Genişliği (m)	44.85 m	
<i>D/B</i>	Derinlik Genişlik Oranı	19.50/44.85 =0.434	
<i>Kd</i>	Katsayı	1.14	
<i>N</i>	SPT Darbe Sayısı(<i>N</i> ₃₀)	41	
<i>q_t</i>	Taşıma Gücü(kN/m ²)	594.03 (kN/m ²)	

Yapılan tüm taşıma gücü hesaplamalarına göre; dolgu birimler altında gözlenen orta katı kil zemin tabakası için temel taşıma gücü karakteristik dayanımı laboratuvar deney sonuçlarına göre $q_k = 24.02\text{-}47.19 \text{ t/m}^2$ (ortalama 30.00 t/m^2); SPT deney sonuçlarına göre ise ortalama $q_t = 3.97\text{-}11.93 \text{ t/m}^2$ (ortalama 6.71 t/m^2) değerleri arasında hesaplanmıştır. Ortalama temel taşıma gücü karakteristik dayanımı olan $q_k = 30.00 \text{ t/m}^2$ ’dir.

Yapılan tüm taşıma gücü hesaplamalarına göre; dolgu birimler altında gözlenen sert kil zemin tabakası için temel taşıma gücü karakteristik dayanımı laboratuvar deney sonuçlarına göre $q_k = 59.95\text{-}93.94 \text{ t/m}^2$ (ortalama 75.00 t/m^2); SPT deney sonuçlarına göre ise ortalama $q_t = 49.20\text{-}111.89 \text{ t/m}^2$ (ortalama 79.11 t/m^2) değerleri arasında hesaplanmıştır. Ortalama temel taşıma gücü karakteristik dayanımı olan $q_k = 75.00 \text{ t/m}^2$ ’dir.

2.9. Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Analiz

Geoteknik mühendisliğinde son yıllarda çokça kullanılan Plaxis programı (Finite Element Code for Soil and Rock Analysis), zemin iyileştirme, temel dizaynı vb. geoteknik

problemlerin çözümü ve güvenli bir şekilde analiz edilmesinde kullanılmaktadır. Bu program geoteknik mühendisliğinde karşılaşılan zemin-yapı etkileşimini, zemin su akış analizini vb. birçok zemin problemlerinin çözümünde kullanılabilmektedir. Programın veri girişi kısmına zemin katmanları, yükler tanımlanırken, veri çıkış kısmında, tasarlanan modelin oturma ve gerilme değerleri verilir.

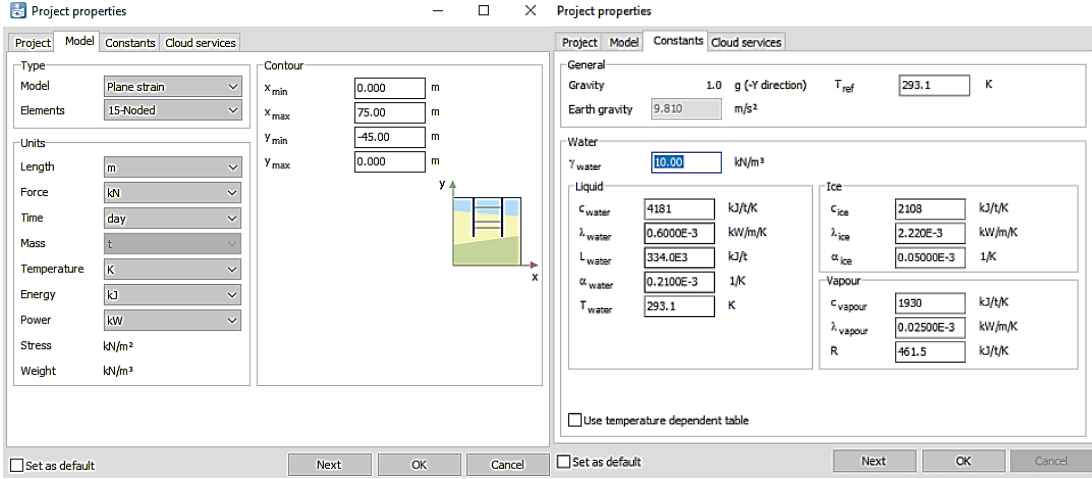
Plastik kazıklar genellikle taşıma gücü zayıf olan zeminlerde donatısız bir şekilde imal edilmektedir. İncelediğimiz projede kullanılan kazık çeşidimiz plastik kazıktır. Bu kazık sisteminde amaç zayıf olan zeminin, yerine daha dayanıklı bir malzemenin yerleşmesini sağlamaktır. Plaxis programı kapsamında uygulayacağımız probleme ait olan kazıkların uzunlukları, çapları ve aralıkları arttırılıp azaltılarak taşıma gücü analizleri farklı geometriye sahip kazıklar için değerlendirilebilir. İstanbul iline ait inceleyeceğimiz projede 15 metre uzunluğunda, 65 cm çaplı donatısız fore kazıklar kazıkların birbiriyle etkileşime girmemesi için kazık aralarındaki mesafe minimum $3D; 3 \times 0.65 = 1.95$ m aralıklarla yerleştirilmelidir. İnceleyeceğimiz projede kazık arası mesafe 3 m olarak seçilmiştir.

İlk durumda 45 cm çaplı kazıkları üç metre aralıklarla yerleştirilerek; ikinci durumda 80 cm çaplı kazıkları üç metre aralıklarla yerleştirilerek; üçüncü durumda ise 65 cm çaplı kazıkları üç metre aralıklarla yerleştirilerek oturma, taşıma gücü ve deformasyon bakımından karşılaştırmalar yapılmıştır. Analizde Mohr-Coulomb zemin modeli kullanılmıştır.

Plaxis programı iki adet modelleme seçeneği sunar. Bunlardan biri düzlem şekil değişimi (Planestrain model) diğeri ise eksenel simetrik (Axisymmetry model) dediğimiz modeldir.

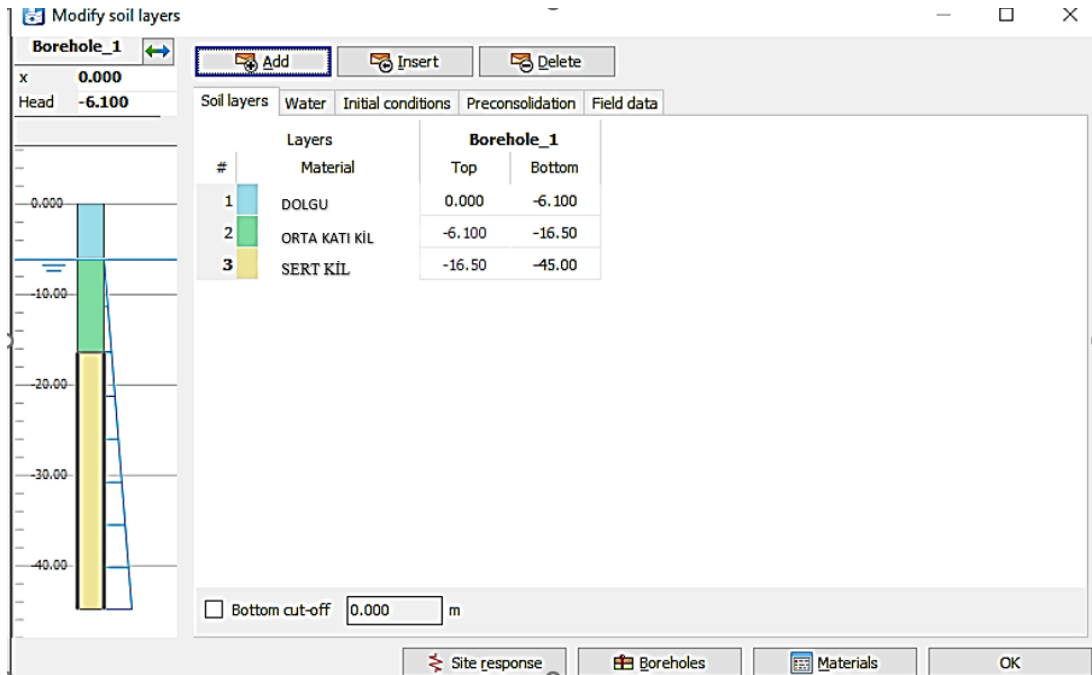
Plane Strain modeli düzlemsel deformasyon analizi yapıldığını yani Plaxis 2D programında görülemeyen z eksenine doğru sonsuza giden bir çözüm olduğunu ifade ederken Axisymmetry model genellikle dairesel bir problemin çözümde (şaft ve silo temel problemleri) modelin yarısının modellenip program üzerinden 360 derece döndürülmesiyle oluşturulmaktadır.

İlk aşamada; İksa ve temel altı kazık uygulamalarında kullanılacak olan Plane Strain model seçilir.



Şekil 17. Model boyutunun belirlenmesi ve suyun birim hacim ağırlığının programa tanıtılması

Proje planda x ekseninde yaklaşık 45 metre uzunluğunda olmakla beraber, modelin boyutları Plaxis programına tanıtılırken sağ ve soldan 15'er metre daha eklenerek; model x ekseninde 75 metre alınmıştır. Projedeki sondaj verileri dikkate alındığında y eksenini bir miktar uzatılarak -45 metre olarak alınmıştır. Contour sekmesinde bu x-y değerleri girilerek gerekli çalışma alanı oluşturulmuştur. Constants sekmesinden suyun birim hacim ağırlığı programa girilmiştir.



Şekil 18. Zemin katmanları ve yer altı suyu durumu girilmesi

Modify soil layers sekmesinin Add kısmından idealize zemin profiline göre dolgu, orta katı kil ve sert kil tabakalarını belirlemek için 3 katman oluşturulmuştur.

Yapılan sondajlarda yer altı suyu seviyesi 6.10-6.40-6.80 aralığında değişiklik gösterdiği için en düşük yer altı su seviyesi Head sekmesine -6.10 m olarak girilmiştir.

Oluşturulan zemin tabakalarına zemin parametrelerini atamak için Materials kısmından zemin parametreleri tanımlanmıştır. Dolgu tabakasının, orta katı kil tabakasının ve sert kil tabakasının drenajlı olduğu kabul edilip analizler bu doğrultuda gerçekleştirilmiştir.

Tablo 29. Dolgu tabakası için alınan zemin parametre değerleri

Zemin Parametreleri	Plaxis Programında Alınan Değerler
Doğal birim hacim ağırlık (γ_{unsat}) (kN/m ³)	18
Doygun birim hacim ağırlık (γ_{sat}) (kN/m ³)	18,1
Elastisite modülü (E) (kN/m ²)	75,00x10 ³
Poisson oranı (ν)	0.3
Kayma mukavemeti açısı (Φ)	20°
Kohezyon değeri (c)	1 kPa

Şekil 19. Dolgu tabakası parametrelerinin programa tanımlanması

Interface kısmından Strenght manual ve R_{inter} kısmı 0.7 olarak seçilir. Dolgu tabakası hem radye temelle hem de kazıkla etkileşime girdiği için Plaxis rijitlik değerini 0.7 olarak seçilmesini uygun bularak bu rijitliği azaltma eğilimindedir.

Soil - Mohr-Coulomb - DOLGU

General Parameters Groundwater Thermal Interfaces Initial *

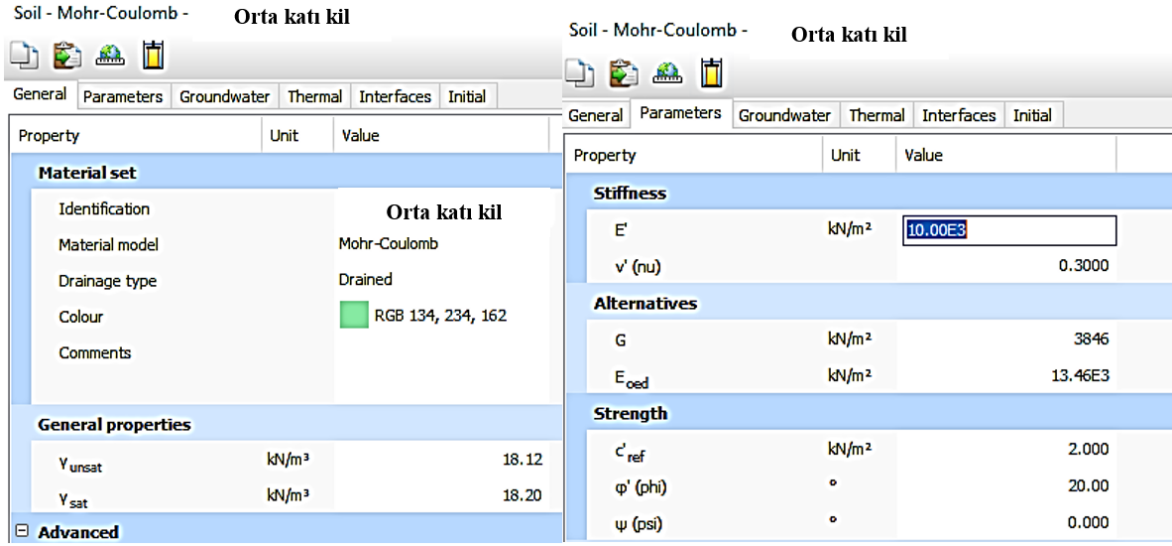
Property	Unit	Value
Stiffness		
Stiffness	Standard	
Strength		
Strength	Manual	
R_{inter}		0.7000
Consider gap closure		☒
Real interface thickness		
δ_{inter}		0.000
Groundwater		
Cross permeability	Impermeable	
Drainage conductivity, dk	$m^3/day/m$	0.000
Thermal		
R	$m^2 K/kW$	0.000

Şekil 20. $R_{inter} = 0,7$ olarak programa girilmesi

Orta katı kil tabakasına ait olan ikinci katman için drenajlı çözüm seçilmiş olup Tablo 30’da gösterilen değerler analizlerde kullanılmıştır.

Tablo 30. Orta katı kil tabakası için alınan zemin parametre değerleri

Zemin Parametreleri	Plaxis Programında Alınan Değerler
Doğal birim hacim ağırlık (γ_{unsat}) (kN/m^3)	18,12
Doygun birim hacim ağırlık (γ_{sat}) (kN/m^3)	18,20
Elastisite modülü (E) (kN/m^2)	$10,00 \times 10^3$
Poisson oranı (ν)	0.3
Kayma mukavemeti açısı (Φ)	20°
Kohezyon değeri (c)	2

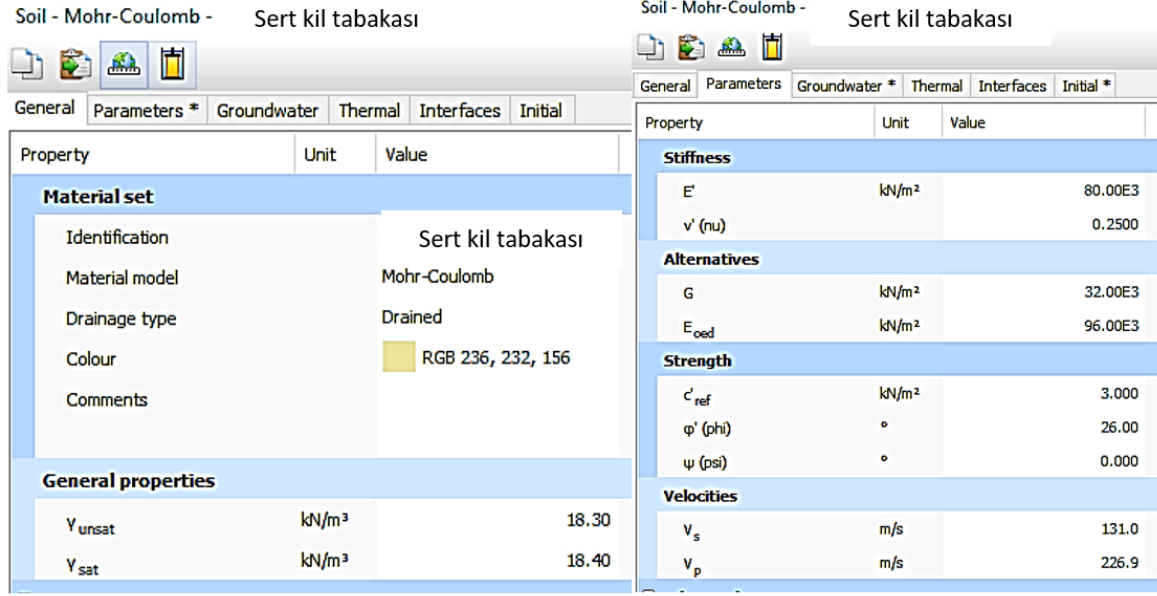


Şekil 21. Orta katı kil tabakası parametrelerinin programa tanımlanması

Sert kil tabakasına ait olan üçüncü katman için drenajlı çözüm seçilmiş olup aşağıda verilen değerler alınmıştır. Sert kil içerisindeki zeminler daha sert kayalardan oluştuğu için poisson oranı 0.25 seçilmiştir.

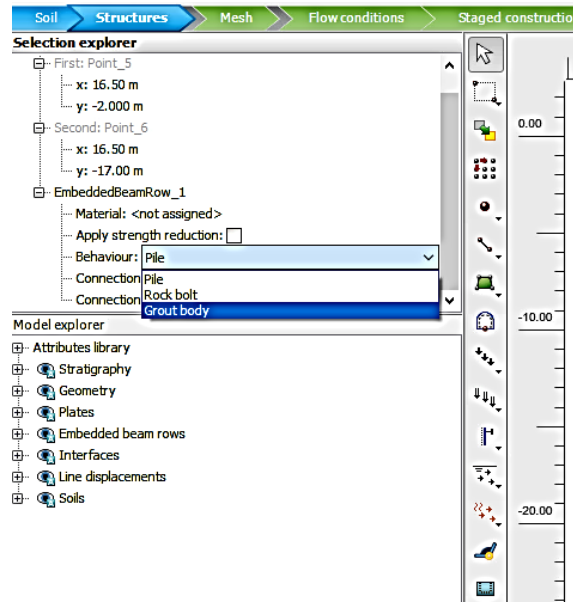
Tablo 31. Sert kil tabakası için alınan zemin parametre değerleri

Zemin Parametreleri	Plaxis Programında Alınan Değerler
Doğal birim hacim ağırlık (γ_{unsat}) (kN/m ³)	18,30 kN/m ³
Doygun birim hacim ağırlık (γ_{sat}) (kN/m ³)	18,40 kN/m ³
Elastisite modülü (E) (kN/m ²)	80,00x10 ³ kN/m ²
Poisson oranı (ν)	0.25
Kayma mukavemeti açısı (Φ)	26°
Kohezyon değeri (c)	3 kPa



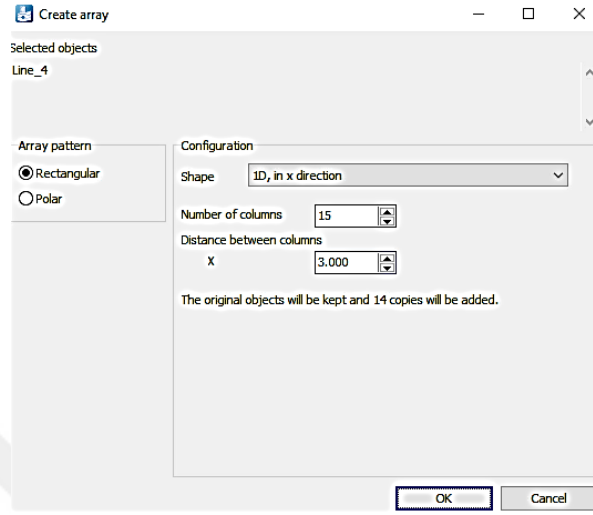
Şekil 22. Sert kil tabakası parametrelerinin programa tanımlanması

Plaxis programında soil sekmesinden zemin özelliklerini tanımladıktan sonra structures sekmesinden yapı modellemesi yapılmıştır. Malzeme model tanımlaması olarak pile: kazıklar için, Rock Bolt: Ankrajların kök bölgeleri için ve Grout body: deep soil mixing için kullanılmaktadır. Analizde kullanılmak üzere pile modeli seçilmiştir.



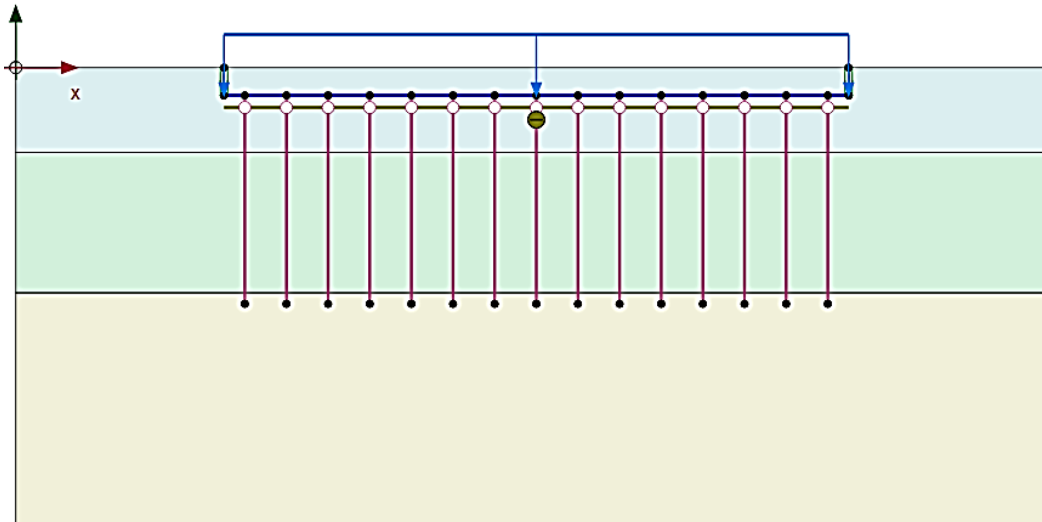
Şekil 23. Structures sekmesi girdilerinin programa tanımlanması

Kazıklar 15'şer metre olacak şekilde, 3 m aralıklarla yerleştirilip, projede kullanılan kazıklar donatısız olduğu için kazık-temel birleşimi rijit değil mafsallı olarak seçilmiştir.



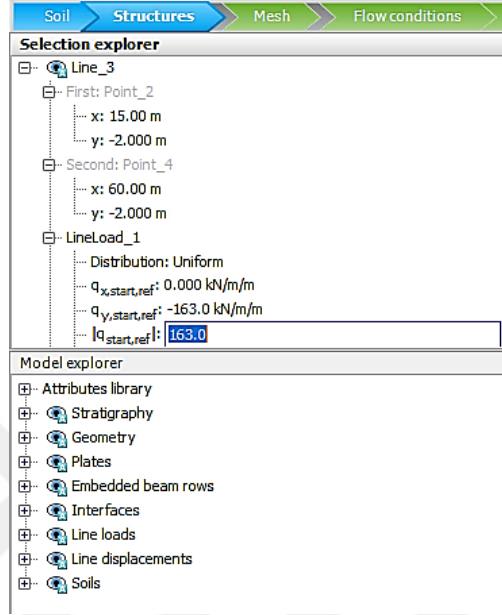
Şekil 24. Kazık boy ve aralıklarının programa tanımlanması

Kazık yapımında C25 beton sınıfı kullanılmıştır. Bu beton sınıfının elastisite modülü $E=30$ GPa 'dır. Çapı 65 cm olan kazıklar 3.0 m aralıklarla girilerek kazık tasarımı tanımlanmıştır.



Şekil 25. Radye temelin programa tanıtılması

Plate elemanı olarak radye temel Plaxis programına girilmiştir. Yapılan projede yük geoteknik rapordan $G+Q+E=16.29 \text{ t/m}^2$ alınmış olup Plaxis programına 163 kN/m^2 değerinde yayılı yük eklenmiştir.



Şekil 26. Radye temel üzerine yük tanımlanması

Radye temelin özelliklerini Plaxis programına girmek için; Temelin yüksekliği 50.0 cm, genişliği 45.0 m'dir. Plaxis programı hesap yaparken sonuçları 1.0 metre için çözümlediğinden dolayı aksel rijitlik ve eğilme rijitliği değerleri 1.0 m için aşağıdaki gibi hesaplanmıştır. ν (Poisson oranı), TS500'den alınmıştır.

$$EA = 30 \times 10^6 \times 0.50 \times 1 = 15 \times 10^6 \text{ kN/m} \quad (48)$$

$$EI = E x \frac{bh^3}{12} = 30 \times 10^6 \times \frac{1 \times 0.5^3}{12} = 312.500 \text{ kNm}^2/\text{m} \quad (49)$$

$$w = \gamma \cdot d \quad (50)$$

Burada;

w = Ağırlığı ifade eder

γ = Ağırlık/Hacim

$25 = w / (1 \times 1 \times 0.5) \Rightarrow w = 12.5 \text{ kN/m/m}$ olarak hesaplanmıştır.

Plate - 50 CM RADYE

Mechanical Thermal

Property	Unit	Value
Material set		
Identification		50 CM RADYE
Comments		
Colour		RGB 0, 0, 255
Material type		Elastic
Properties		
Isotropic		☒
EA ₁	kN/m	15.00E6
EA ₂	kN/m	15.00E6
EI	kN m ² /m	312.5E3
d	m	0.5000
w	kN/m/m	12.50
v (nu)		0.2000
Rayleigh α		0.000
Rayleigh β		0.000
Prevent punching		☐

Şekil 27. Radye Temele ait olan özelliklerin Plaxis programına tanımlanması

Şekil 27’de 45 cm çaplı kazıklar 3.0 m aralıklar ile yerleştirilip, kazık uç kapasitesi geoteknik rapordan alınarak analiz edilmiştir. Kazıkların üzerine plate elemanı olarak radye temel de tanımlanmıştır.

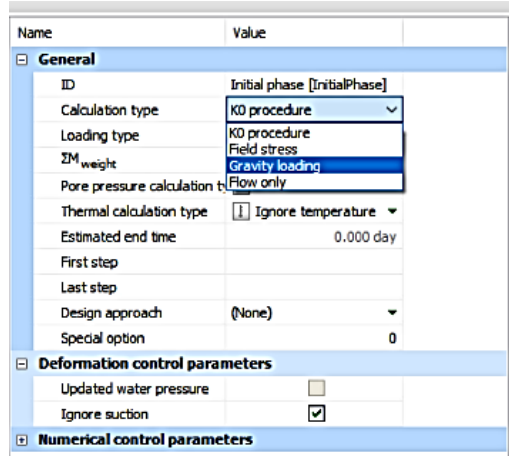
Embedded beam row

Property Unit Value

Material set		
Identification		45'lik kazık
Comments		
Colour		RGB 199, 82, 143
Material type		Elastic
Properties		
E	kN/m ²	30.00E6
γ	kN/m ³	24.50
Beam type		Predefined
Predefined beam type		Massive circular beam
Diameter	m	0.4500
A	m ²	0.1590
I	m ⁴	2.013E-3
L _{spacing}	m	3.000
Rayleigh α		0.000
Rayleigh β		0.000

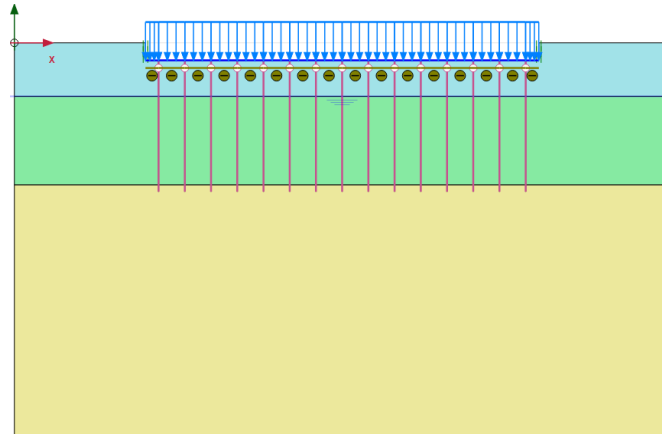
Şekil 28. 45 cm’lik kazıkları Plaxis programına tanımlanması

Plaxis sonlu eleman programının ağ (mesh) mantığı şu şekilde ilerlemektedir. Program ilk önce mevcut modeli küçük öğelere ayırır. Bu öğeler sistemin kolay çözülmesi için genelde üç kenarlıdır. Mesh ağının sıklık düzeyinin artması gerilme yoğunluğunun artması anlamına gelmektedir.

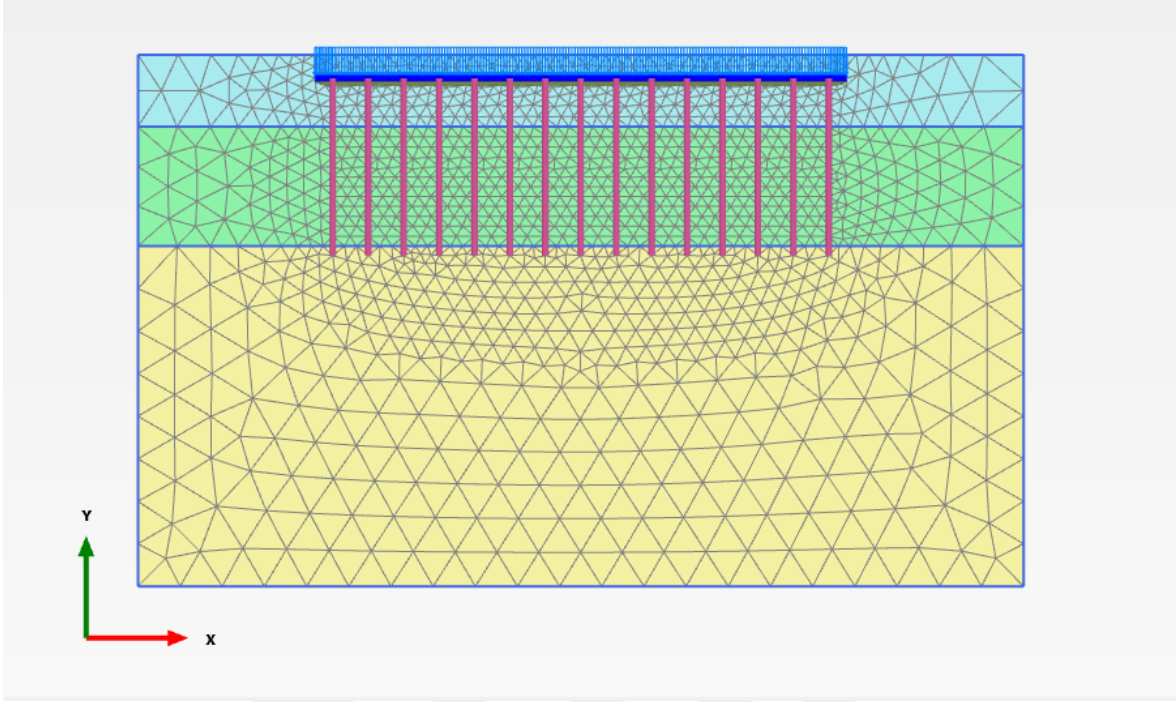


Şekil 29. Plaxis programında Ko değerinin seçilmesi

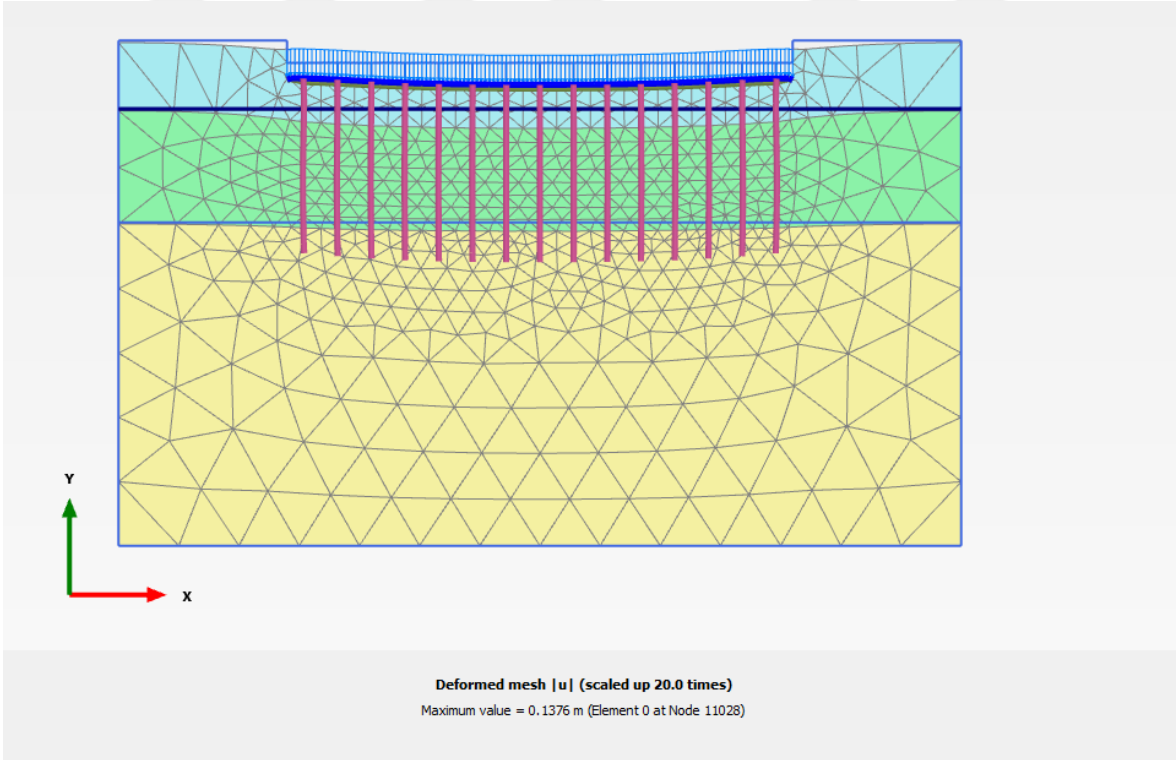
Staged construction sekmesinden Calculation type Ko procedure olarak seçilir. Ko yüzeye dik asal gerilmeler oluştururken; Gravity loading yüzeye paralel asal gerilmeler oluşturur. Gravity loading parametresi eğimli arazilerde, yatay tabakalanmalarda ve yer altı su seviyesinin değişkenlik gösterdiği zemin tabakalarında çözüm yaparken tercih edilmektedir. Bizim çözüm yaptığımız projemizde yatay tabakalanma, yer altı su seviyesinde değişiklik ve eğimli bir zemin yüzeyi olmadığından Ko değeri seçilmiştir.



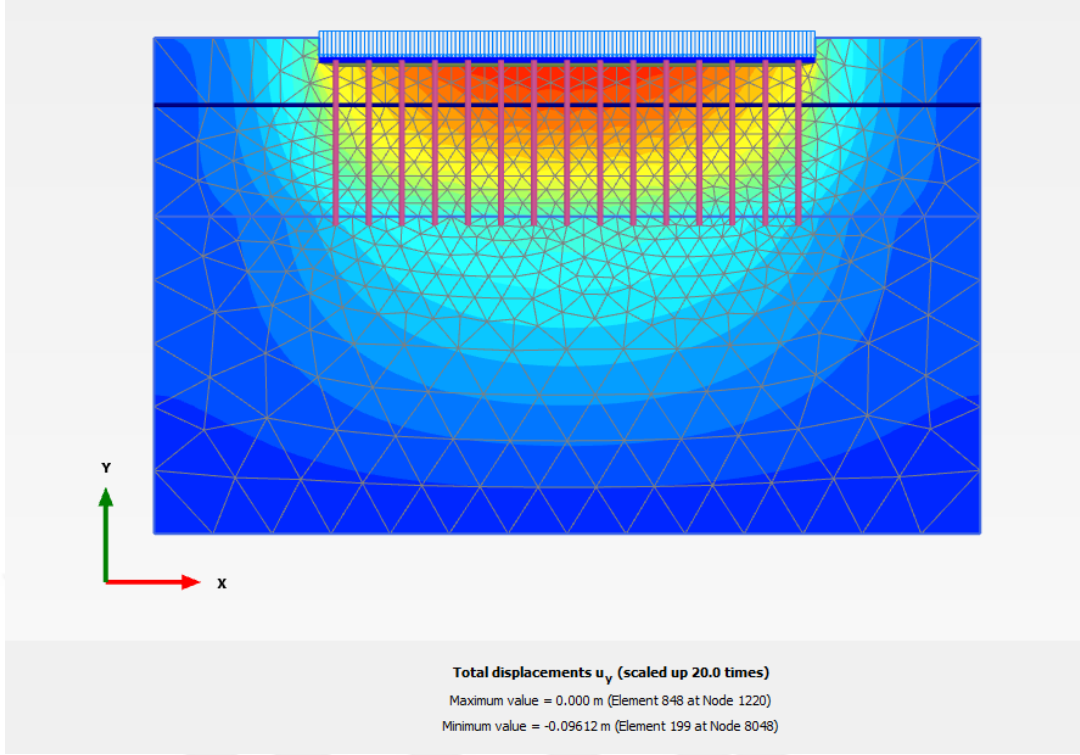
Şekil 30. Genel yapı modellemesi



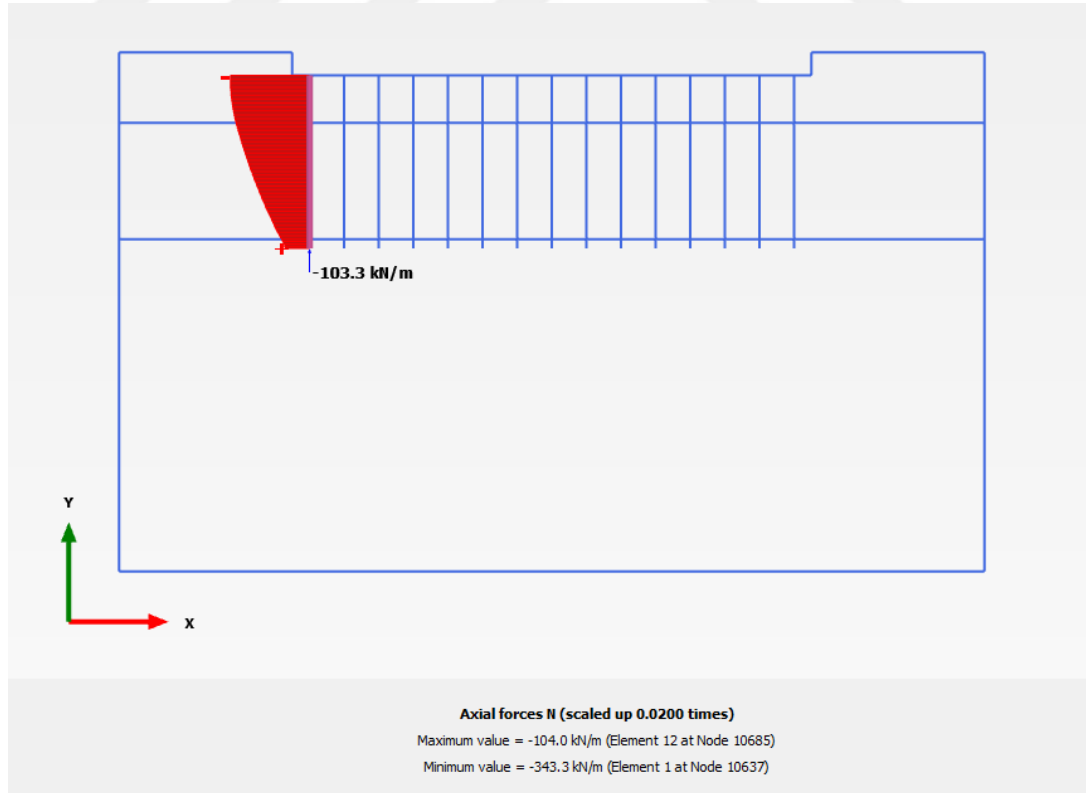
Şekil 31. Mesh işlemi ile, oluşturulan yapısal elemanlar ile zemin arasındaki etkileşim



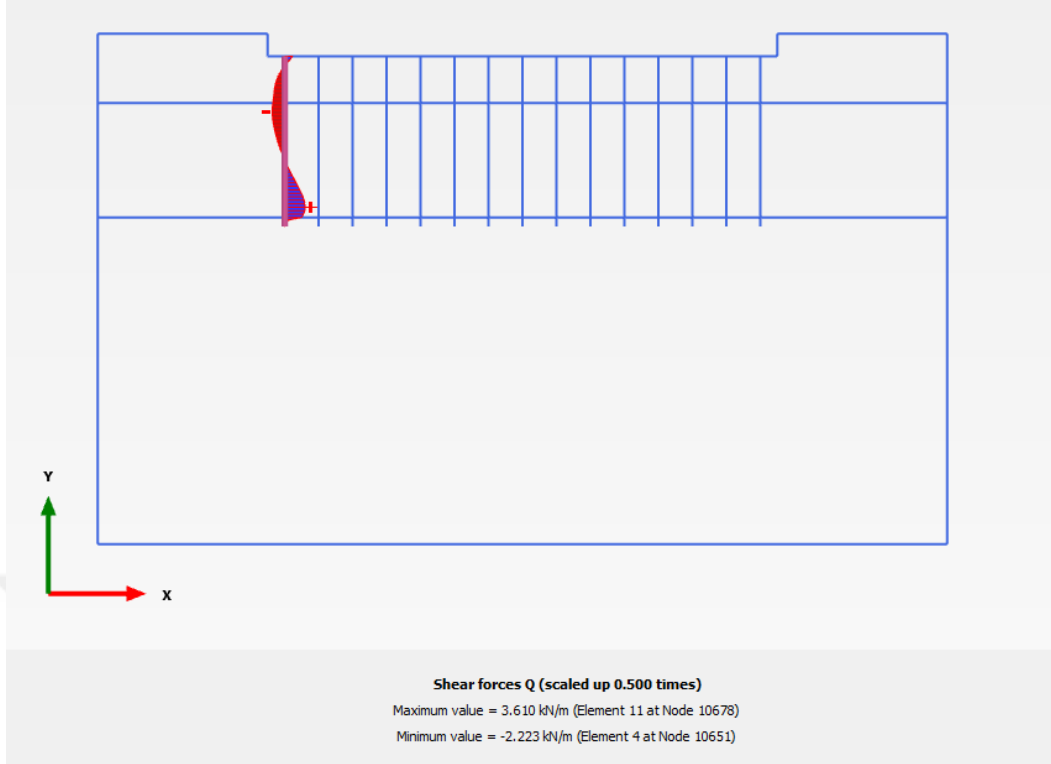
Şekil 32. 45 cm'lik kazık için yatay ve düşeyde toplam oturma değerleri



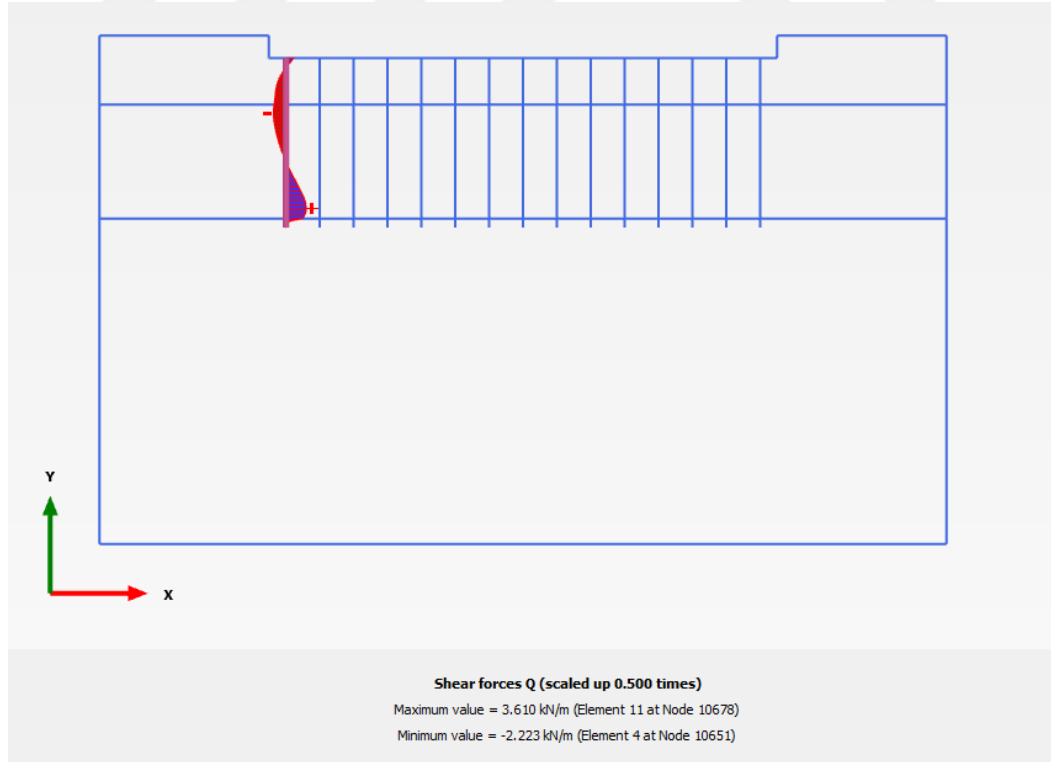
Şekil 33. 45 cm'lik kazık için düşey yönde gerçekleşen 9.612 cm lik oturma miktarı



Şekil 34. 45 cm'lik kazık için eksenel kuvvet



Şekil 35. 45 cm'lik kazık için kesme kuvveti



Şekil 36. 45 cm'lik kazık için moment

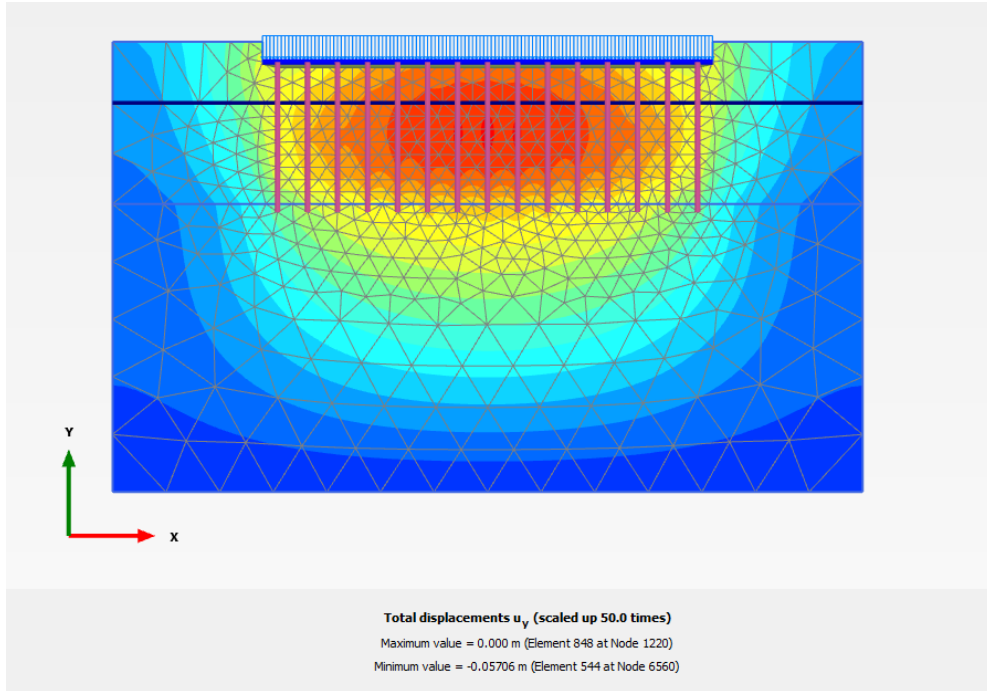
Şekil 37’da 80 cm çaplı kazıklar 3.0 m aralıklar ile yerleştirilip analiz edilmiştir.

Embedded beam row - 80'lik kazık

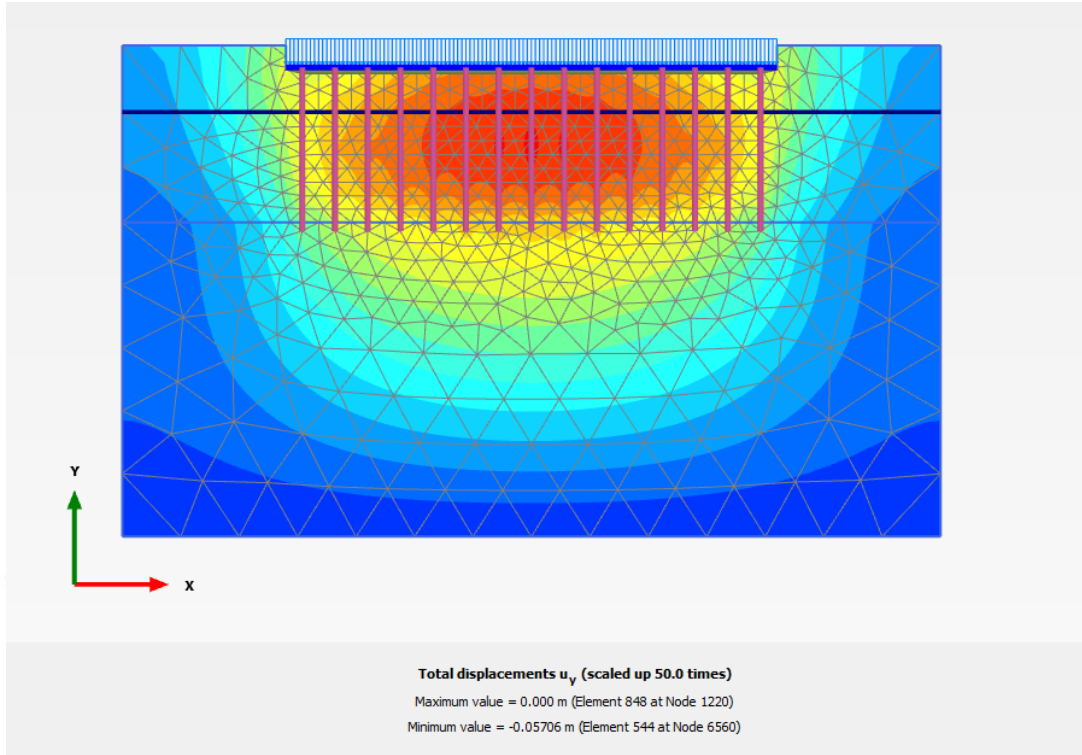
Property	Unit	Value
Material set		
Identification		80'lik kazık
Comments		
Colour		RGB 199, 82, 143
Material type		Elastic
Properties		
E	kN/m ²	30.00E6
ν	kN/m ³	24.50
Beam type		Predefined
Predefined beam type		Massive circular beam
Diameter	m	0.8000
A	m ²	0.5027
I	m ⁴	0.02011
L _{spacing}	m	3.000
Rayleigh α		0.000
Rayleigh β		0.000
Axial skin resistance		
Axial skin resistance		Layer dependent
T _{max}	kN/m	1.000E12
Lateral resistance		
Lateral resistance		Unlimited
Base resistance		
F _{max}	kN	900.0
Interface stiffness factor		

OK Cancel

Şekil 37. 80 cm’lik kazık özelliklerinin Plaxis programına tanıtılması



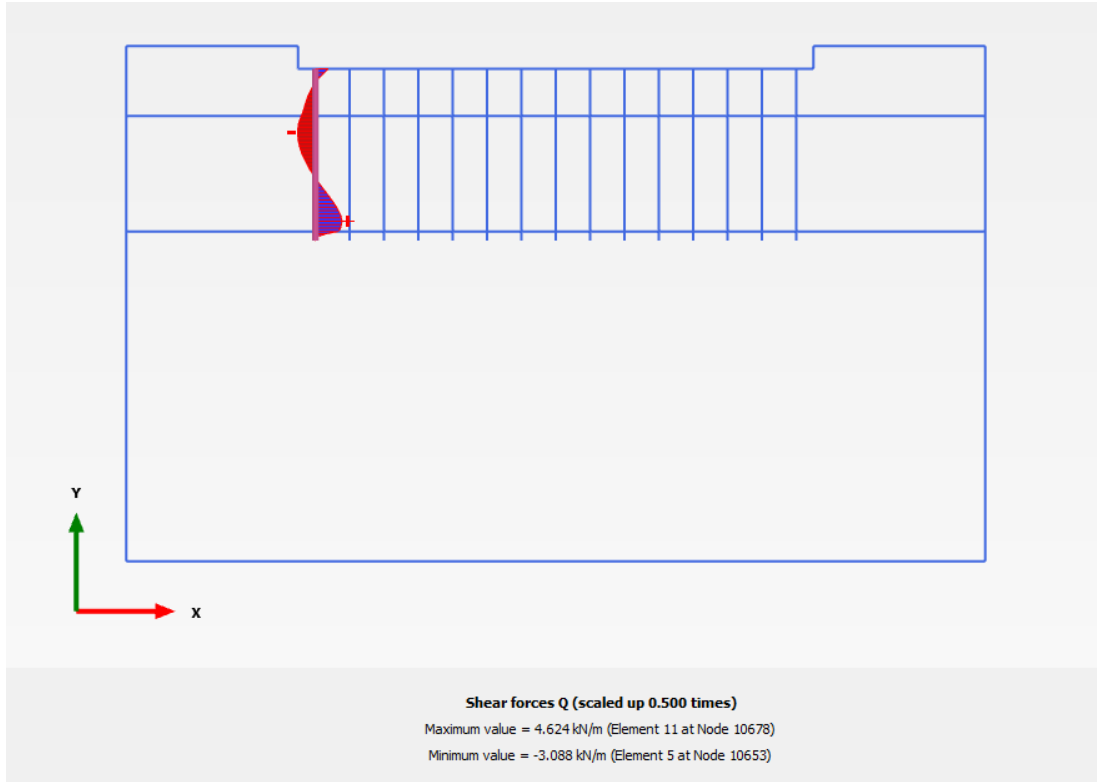
Şekil 38. 80 cm’lik kazık için yatay ve düşeyde toplam oturma değerleri



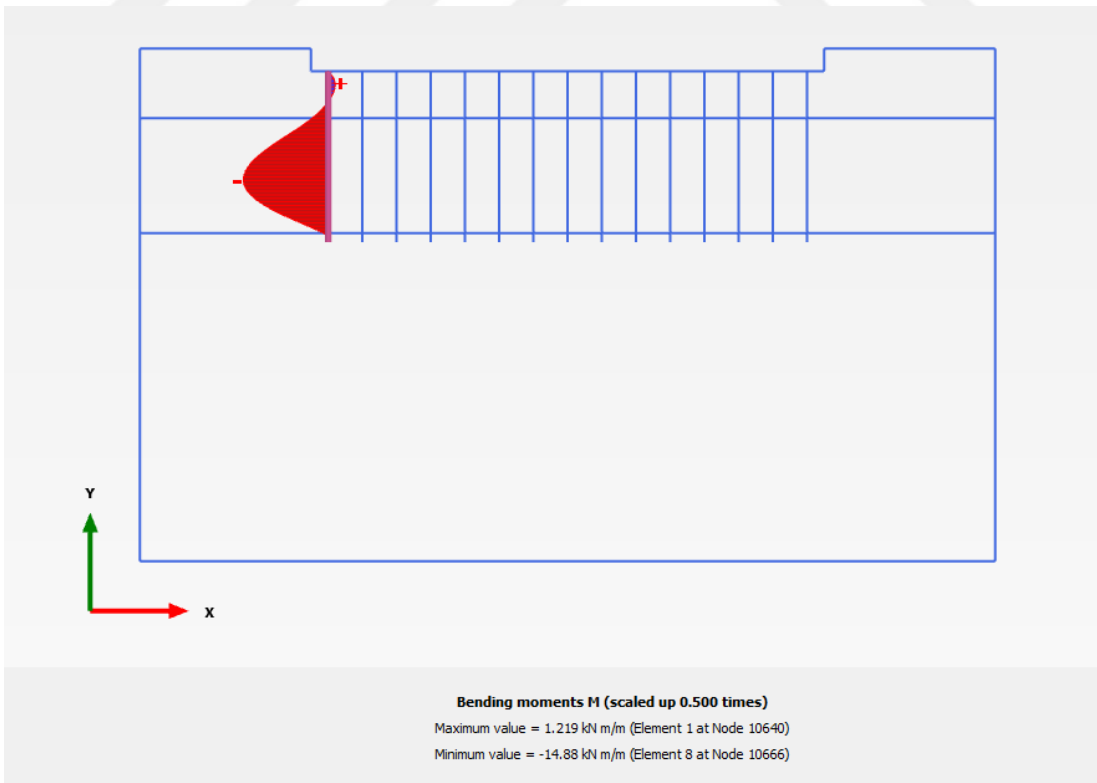
Şekil 39. 80 cm'lik kazık için düşey yönde gerçekleşen 9.079 cm lik oturma miktarı



Şekil 40. 80 cm'lik kazık için eksenel kuvvet



Şekil 41. 80 cm'lik kazık için kesme kuvveti



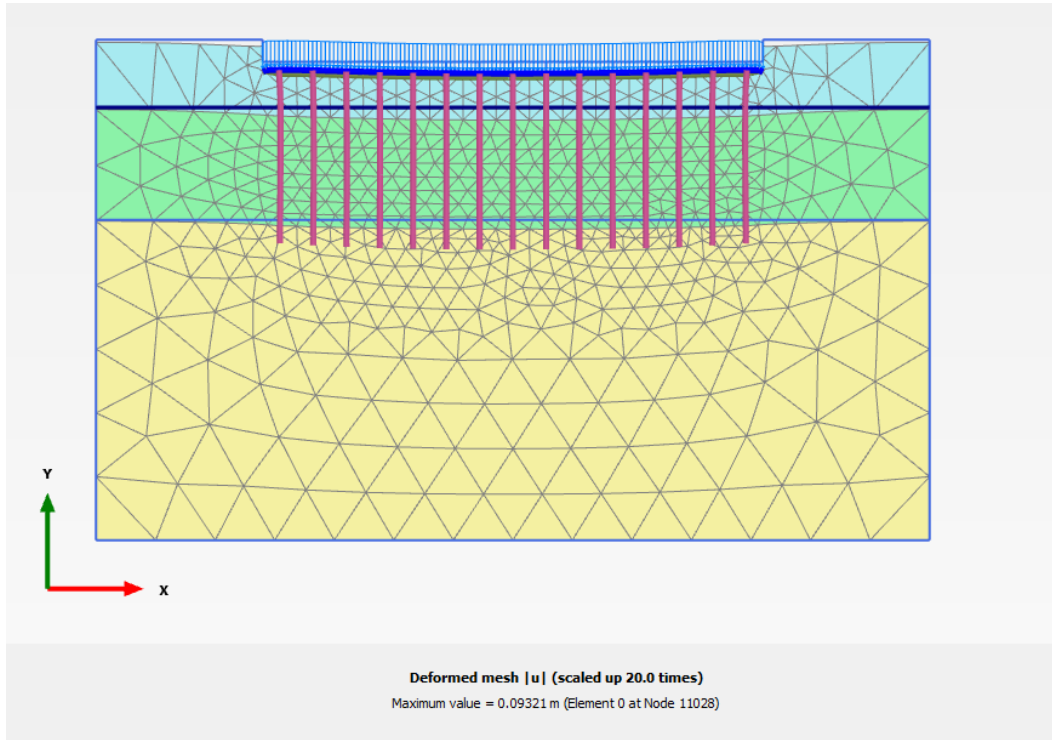
Şekil 42. 80 cm'lik kazık için moment

Embedded beam row - 65'lik kazık

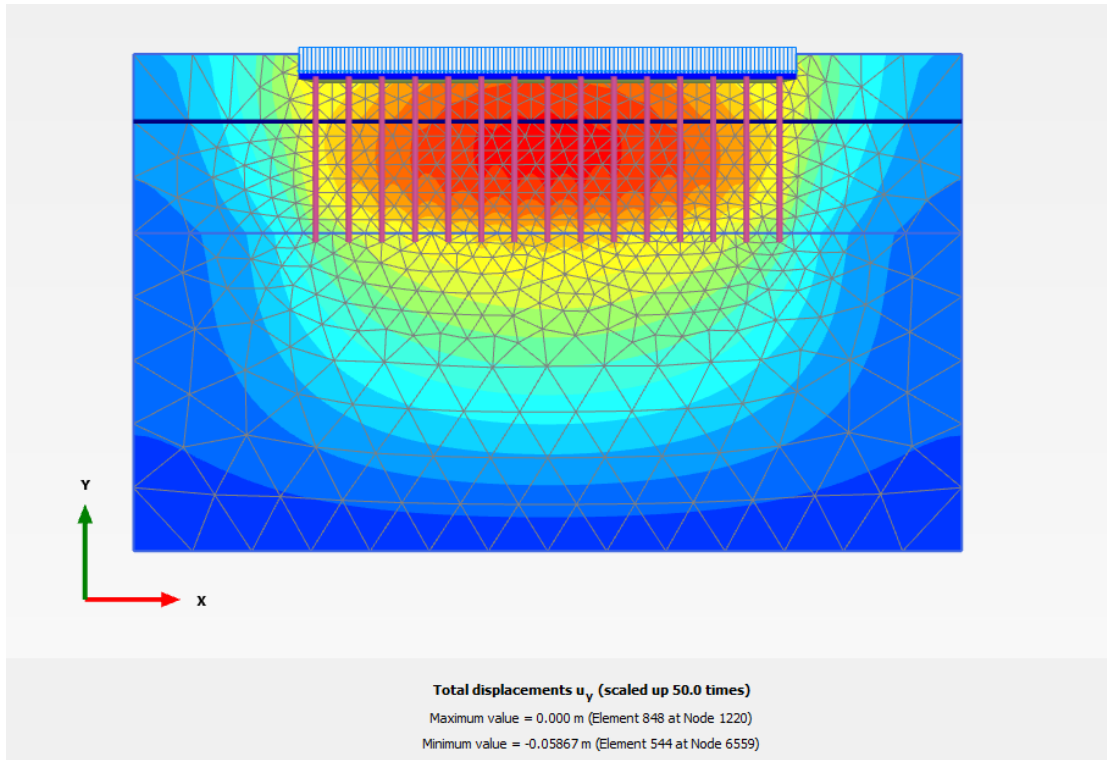
Property	Unit	Value
Material set		
Identification		65'lik kazık
Comments		
Colour		RGB 199, 82, 143
Material type		Elastic
Properties		
E	kN/m ²	30.00E6
γ	kN/m ³	24.50
Beam type		Predefined
Predefined beam type		Massive circular beam
Diameter	m	0.6500
A	m ²	0.3318
I	m ⁴	8.762E-3
L-spacing	m	3.000
Rayleigh α		0.000
Rayleigh β		0.000
Axial skin resistance		
Axial skin resistance		Layer dependent
T _{max}	kN/m	1.000E12
Lateral resistance		
Lateral resistance		Unlimited
Base resistance		
F _{max}	kN	650.0
Interface stiffness factor		

OK Cancel

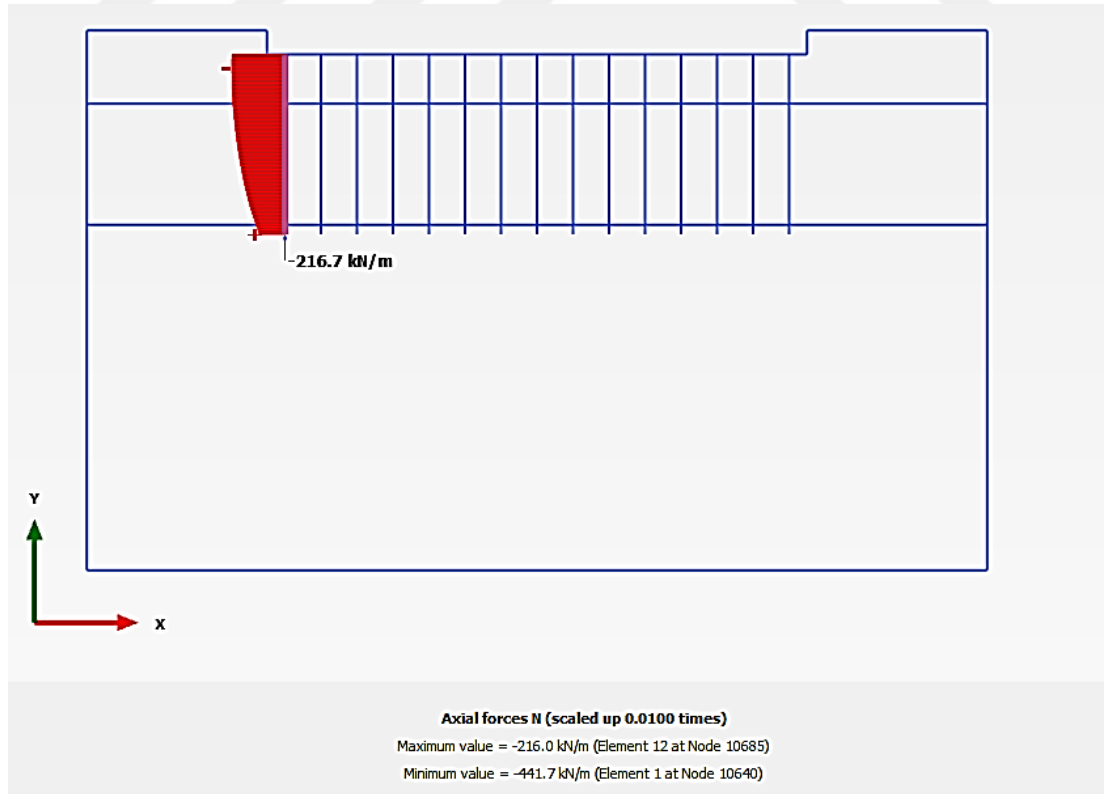
Şekil 43. 65 cm'lik kazıkları Plaxis programına tanımlanması



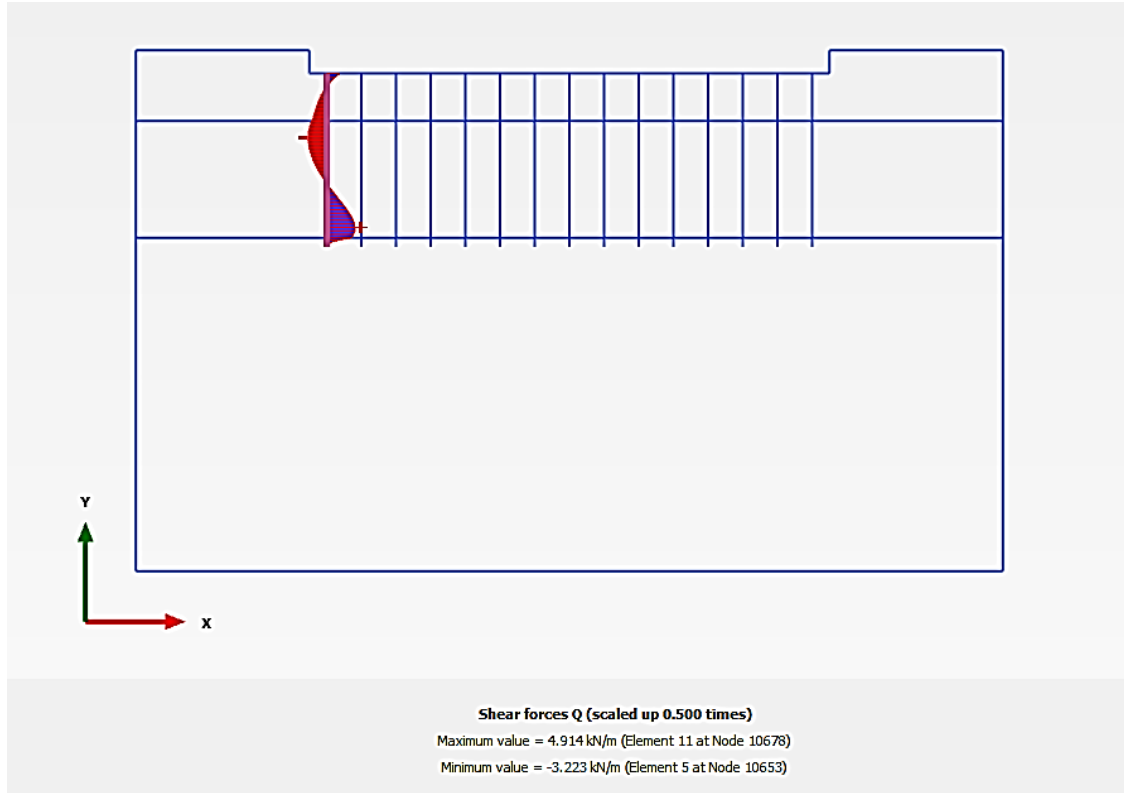
Şekil 44. 65 cm'lik kazık için yatay ve düşeyde toplam oturma değerleri



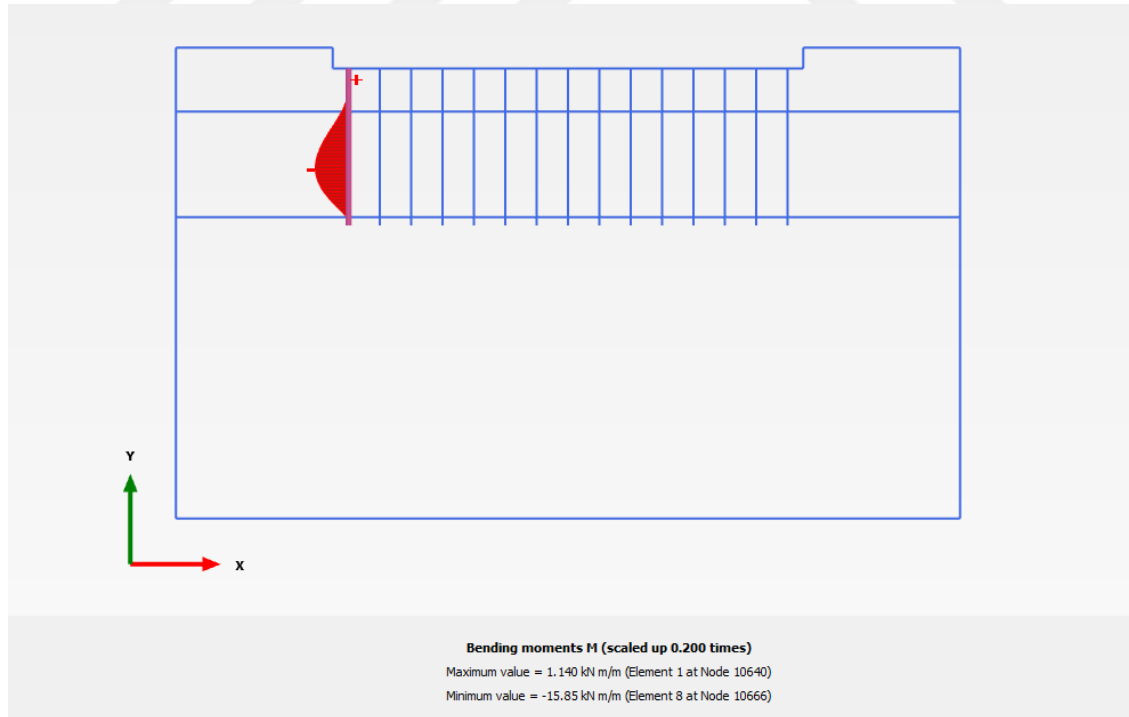
Şekil 45. 65 cm'lik kazık için düşey yönde gerçekleşen 5.86 cm lik oturma miktarı



Şekil 46. 65 cm'lik kazık için eksenel kuvvet



Şekil 47. 65 cm'lik kazık için kesme kuvveti

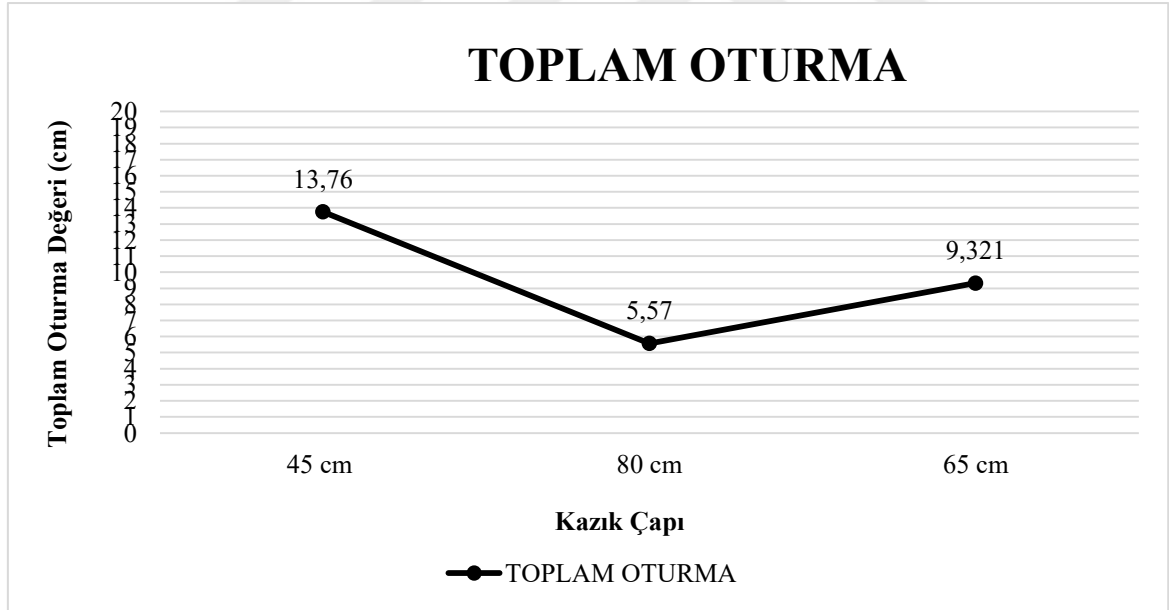


Şekil 48. 65 cm'lik kazık için moment

Tablo 32. Analiz sonuçları

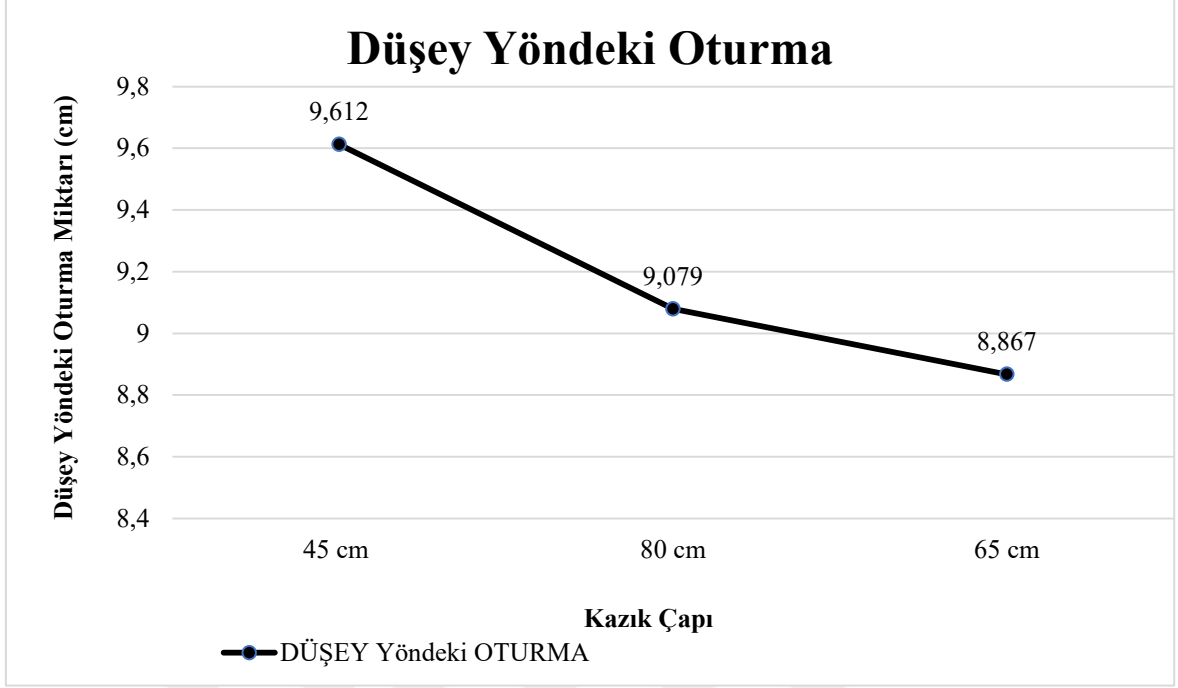
Uygulamalar	Toplam Oturma	Düşey Yönde Oturma	Eksenel Kuvvet	Kesme Kuvveti	Moment
45 cm'lik kazık	13.76 cm	9.612 cm	Max:-104 kN/m Min:-343.3 kN/m	Max:3.610 kN/m Min:-2.223 kN/m	Max:0.5723 kNm/m Min:-11,71 kNm/m
80 cm'lik kazık	5.57 cm	9.079 cm	Max:-216.3 kN/m Min:-444.7 kN/m	Max:4.624 kN/m Min:-3.088 kN/m	Max:-1.219 kNm/m Min:-14.88 kNm/m
65 cm'lik kazık	9.321 cm	5.867 cm	Max:-216.7 kN/m Min:-441.7 kN/m	Max:4.914 kN/m Min:-3.223 kN/m	Max:1.140 kNm/m Min:-15.85 kNm/m

Yapılan analiz sonuçlarına göre kazık çapı arttıkça toplam oturma değerinin azaldığını Şekil 48 'de verilen grafiğe göre yorumlayabiliriz.



Şekil 49.Kazık çapına bağlı olarak değişen toplam oturma

Yapılan analiz sonuçlarına göre Şekil 48'de düşey yöndeki oturma değerinin minimum olduğu kazık çapının 65 cm'lik kazık olduğu görülmektedir.



Şekil 50.Kazık çapına bağlı olarak değişen düşey yöndeki oturma

3. SONUÇLAR

Bu tez çalışması İstanbul ilinin Bakırköy ilçesi, Şevketiye Mahallesinde, 72 ada, 4 nolu parselde yapılması planlanan İstanbul Killi Savunma Üniversitesi Kapalı Spor Salonunda yer alacak olan binanın temelinde kullanılacak kazıklarla ilgilidir.

Yapı temellerinin denk geldiği dolgu tabakası heterojen özellikte olup, taşıyıcı zemin özelliği yoktur. Dolgu altından itibaren gözlenen orta katı kil tabakasına ait birimlerde taşıma gücü ve oturma problemleri beklenmekte olup bu birim yapıdan dolayı oluşacak net zemin gerilmelerini karşılamaya elverişli değildir. Yapı yüklerinin taşıttırılacağı sert kil birimlerde yapılan hesaplamalara göre taşıma gücü ve oturma problemleri beklenmektedir. Bu tür problemlere sahip sert kil birimler üst yapıdan gelen yükleri emniyetli olarak taşıyamadığından dolayı projede zemin iyileştirme yöntemleri kullanılması sonucuna varılmıştır. Proje kapsamında derin temel sistemi olarak kazıklı temeller seçilmiş ve bunlara göre analiz yapılmıştır.

İnceleme alanında açılan sondaj verilerinde yer altı suyuna rastlanıldığından ötürü olası yüzey suları ve sızıntılara karşı temel drenajı sağlanmalıdır.

10,88 metre yüksekliğe sahip kapalı spor salonuna ait yapı yükleri esas alınarak zemin iyileştirme yöntemi olarak derin temel kullanımına karar verilmiştir. Yapılması planlanan spor salonunun mimari projeye göre subasman yüksekliği 0.60 metre, temel alt kotu -1.60 metredir. İnşaat oturum alanı yaklaşık olarak 1938.37 m²'dir. Kazıklar 15.0 metre uzunluğunda, 65.0 cm çaplı donatısız kazıklar üç metre aralıklarla yerleştirilmiştir. Zemin parametrelerini belirlemek için arazi ve laboratuvar deneylerine başvurulmuştur. Analizler Plaxis 2D bilgisayar programında analiz edilmiştir. Plaxis programında zemin modeli olarak Mohr-Coulomb zemin modeli seçilmiştir. Kazıkların boyları sabit tutulmak koşuluyla çapları 65 cm ,45 cm ve 80 cm olarak 3.0'er metre aralıklarla Plaxis programında modellenmiştir. Programa yerleştirilen kazıklara üç farklı analiz yapılmıştır. Analiz sonuçlarına göre kazık çapının değişiminin oturma değeri ve moment üzerine etkisi analiz edilmiştir. Geoteknik raporlardan, zemin sondaj çalışmaları sonuçlarından ve laboratuvar ve arazi deneyleri sonuçlarına göre veriler Plaxis 2D programına tanımlanmıştır ve analiz edilmiştir.

Plaxis programında yapılan analiz sonuçlarına göre:

1. 45 cm çapa sahip olan kazıklarda toplam oturma değeri 13.76 cm, düşey yönde oturma 9.612 cm, eksenel kuvvet; Max: -104 kN/m, Min: -343.3kN/m, kesme kuvveti; Max: 3.610 kN/ m, Min: -2.223 kN/m ; moment Max : 0.5723 kNm/m ,Min : -11.71 kNm/m olduğu görülmüştür.
2. 80 cm çapa sahip olan kazıklarda toplam oturma değeri 5.57 cm, düşey yönde oturma 9.079 cm eksenel kuvvet; Max: -216.3kN/m, Min: -444.7 kN/m, kesme kuvveti; Max: 4.624 kN/ m, Min: -3.088 kN/m ; moment Max : -1.219 kNm/m, Min : -14.88 kNm/m olduğu görülmüştür.
3. 65 cm çapa sahip olan kazıklarda toplam oturma değeri 9.321 cm, düşey yönde oturma 5.867 cm, eksenel kuvvet; Max: -216.7 kN/m, Min: -441.7 kN/m, kesme kuvveti; Max: 4.914 kN/ m, Min: -3.223 kN/m ; moment Max : 1.140 kNm/m, Min : -15.85 kNm/m olduğu görülmüştür.

Bu çalışma sonucunda sabit uzunlukta, aynı aralıklarla daha küçük çaplı yerleştirilen kazıkların, daha büyük çaplı yerleştirilen kazıklara göre daha büyük toplam oturma değeri verdiği gözlenmiştir (45 cm çaplı kazıkların daha büyük oturma değeri verdiği Tablo 32’de gözlenmiştir). Hem ekonomik hem güvenilir tarafta kalmak için kazık ve radye boyutlarının doğru şekilde tasarlanması gerekmektedir. Proje kapsamında dikkate alınması gereken oturma değeri düşey yöndeki oturma olduğundan dolayı en optimum sonuç olarak 65 cm’lik kazık çapına ait çözüm olduğu belirlenmiştir.

4. KAYNAKLAR

- AFAD, 2019. Türkiye Deprem Tehlike Haritası.
- Ateş, B. ve Şadoğlu, E. 2021. Kum Zeminlerdeki Kazıklı Radye Temellerin Optimum Kazık Aralığının Deneysel Olarak İncelenmesi Teknik Dergisi, 25,125-130.
- Ateş, A. ve Toplu, Ş., 2022. Örnek Bir Yapıda Kazık Mesafe Değişiminin Kazık Tasarımına Etkisinin İncelenmesi, Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, (35), 579-594.
- Bozkurt, R. ve Demiröz, A.,2022. Kazıklı Radye Temel Boyutlarının Oturma Davranışı Dikkate Alınarak Optimum Tasarımı, İleri Mühendislik Çalışmaları ve Teknolojileri Dergisi
- Bowles, J.E., 1982. Foundation Analysis and Design, McGraw-Hill, Inc., New York.
- Bowles, J.E., 1997. Foundation Analysis and Design, 5 th International Edition, McGraw-Hill, Singapore.
- Coyle, H.M. ve Castello, R.R., 1981. New Design Correlations for Piles in Sand, Journal Geotechnical Engineering Division, Proc.,1974. ASCE, 107, NO. GT7.
- Çanakçı, H. ve Hamed, M., 2017. Experimental study on axial response of different pile materials in organic soil, Geomechanics and Engineering, 12,6.
- Düzceer, R., 2002. Kazık Yükleme Deneyleri ile Nihai Taşıma Kapasitesinin Belirlenmesi Üzerine Bir Çalışma, Doktora Tezi, İ.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Eslami, A. ve Fellenius, B., H., 1995. Pile Capacity Estimated From CPT data, XIV ICSMGE, 1, 91-94, Hamburg.
- Fellenius, B., H., 1975. Test Loading of Piles and New Proof Testing Procedure, ASCE J.G.E, 101, 855-869.
- Kabaca, H., 2018. Kazıkların Taşıma Gücü ve Oturma Parametrelerinin İncelenmesi, Taşıma Gücü İçin Yeni Bir Metot Önerisi, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Kabaca, H., Vural, İ. ve Poyraz, S. 2021. Kazık Nihai Taşıma Gücünün Farklı Yöntemlerle Karşılaştırmalı Analizi. Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 8, 2.
- Meyerhof, G.G.,1956. Penetration Tests and Bearing Capacity of Cohesionless Soils, Jnl. Soil Mech.&Found. Div., ASCE.

- Meyerhof, G., G., 1976. Bearing Capacity and Settlement of Pile Foundations, Journal Geotechnical Engineering Division, ASCE, 102, GT3, 197-228.
- PLAXIS-2D USER MANUAL, 2002. 'Plaxis 2D Version 8 Material Models Manual'.
- Sivrikaya, O. ve Toğrol, E., 2019. Arazi Deneyleri ve Geoteknik Tasarımda Kullanımları, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- TBDY, 2018. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, Afet ve Acil Durum Yönetim Başkanlığı, Ankara.
- Toğrol, E. ve Tan, O., 2003. Kazıklı Temeller, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- Tolun, M. ve Laman, M., 2015. Eksenel yüklü tekil kazığın farklı yöntemlerle sayısal analizi, 6. Geoteknik Sempozyumu, Adana.
- Vesic, A., S., 1972. Expansion of Cavities in Infinite Soil Mass, Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE, 98, 265-290.
- Yeğit, M., 2017. Farklı Çapta, Derinlikte ve Sayıdaki Kazıkların Grup Davranışı, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyonkarahisar.

5. EKLER

Ek 1.Taşıma Gücü Sonuçları (Terzagi Formüllerine Göre)

Bina Adı	Sondaj No	Numune No	(Df) (m)	K1	K2	B (m)	7 _n	Zeminde Üç Eks.Sıkışma Deney Sonuçları		Düzeltilmiş Zeminde Üç Eks.Sıkışma Deney Sonuçları		Nc	Nq	Ny	Temel Taşıma Gücü Karakteristik Dayanımı	Temel Taşıma Gücü Karakteristik Dayanımı	Formasyon - Litoloji
								c	φ	c*	φ*						
								gr/cm ³	(Ton/m ²)	(°)	(Ton/m ²)	(°)					
Kapalı Spor Salonu (H = 10.88 m)	SK1	CR	5.70	1.16	0.42	44.85	1.840	4.82	9.11	3.21	0.00	5.7	1.0	0.0	31.72	3.17	Okş: Orta katı kil - mil - çamur
	SK1	CR	5.70	1.16	0.42	44.85	1.845	5.10	9.98	3.40	0.00	5.7	1.0	0.0	32.98	3.30	Okş: Orta katı kil - mil - çamur
	SK1	CR	5.70	1.16	0.42	44.85	1.824	3.80	9.07	2.53	0.00	5.7	1.0	0.0	27.14	2.71	Okş: Orta katı kil - mil - çamur
	SK2	CR	7.00	1.16	0.42	44.85	1.854	5.29	11.62	3.53	0.00	5.7	1.0	0.0	36.31	3.63	Okş: Orta katı kil - mil - çamur
	SK2	UD	7.00	1.16	0.42	44.85	1.874	6.84	10.88	4.56	0.00	5.7	1.0	0.0	43.27	4.33	Okş: Orta katı kil - mil - çamur
	SK2	CR	7.00	1.16	0.42	44.85	1.845	4.03	10.02	2.69	0.00	5.7	1.0	0.0	30.68	3.07	Okş: Orta katı kil - mil - çamur
	SK2	CR	7.00	1.16	0.42	44.85	1.853	4.60	8.85	3.07	0.00	5.7	1.0	0.0	33.24	3.32	Okş: Orta katı kil - mil - çamur
	SK3	CR	5.90	1.16	0.42	44.85	1.861	6.33	8.20	4.22	0.00	5.7	1.0	0.0	38.86	3.89	Okş: Orta katı kil - mil - çamur
	SK3	CR	5.90	1.16	0.42	44.85	1.846	4.85	10.88	3.24	0.00	5.7	1.0	0.0	32.29	3.23	Okş: Orta katı kil - mil - çamur
	SK4	CR	7.10	1.16	0.42	44.85	1.848	4.36	10.16	2.91	0.00	5.7	1.0	0.0	32.34	3.23	Okş: Orta katı kil - mil - çamur
	SK4	UD	7.10	1.16	0.42	44.85	1.860	6.47	8.97	4.31	0.00	5.7	1.0	0.0	41.72	4.17	Okş: Orta katı kil - mil - çamur
	SK4	CR	7.10	1.16	0.42	44.85	1.812	2.56	6.24	1.71	0.00	5.7	1.0	0.0	24.17	2.42	Okş: Yumuşak kil - mil - çamur
	SK5	UD	6.10	1.16	0.42	44.85	1.860	6.15	8.90	4.10	0.00	5.7	1.0	0.0	38.44	3.84	Okş: Yumuşak kil - mil - çamur
	SK5	CR	6.10	1.16	0.42	44.85	1.851	5.42	10.02	3.61	0.00	5.7	1.0	0.0	35.17	3.52	Okş: Orta katı kil - mil - çamur
	SK6	UD	6.50	1.16	0.42	44.85	1.873	7.03	9.75	4.69	0.00	5.7	1.0	0.0	43.16	4.32	Okş: Yumuşak kil - mil - çamur
	SK6	CR	6.50	1.16	0.42	44.85	1.824	2.76	8.69	1.84	0.00	5.7	1.0	0.0	24.02	2.40	Okş: Orta katı kil - mil - çamur
	SK6	CR	6.50	1.16	0.42	44.85	1.876	7.94	10.03	5.29	0.00	5.7	1.0	0.0	47.19	4.72	Okş: Orta katı kil - mil - çamur

Df için Kuşdili Formasyonunun başladığı derinlik dikkate alınmıştır.

Bina Adı	Sondaj No	Numune No	(Df) (m)	K1	K2	B (m)	7 _n	Zeminde Üç Eks.Sıkışma Deney Sonuçları		Düzeltilmiş Zeminde Üç Eks.Sıkışma Deney Sonuçları		Nc	Nq	Ny	Temel Taşıma Gücü Karakteristik Dayanımı	Temel Taşıma Gücü Karakteristik Dayanımı	Formasyon - Litoloji
								c	φ	c*	φ*						
								gr/cm ³	(Ton/m ²)	(°)	(Ton/m ²)	(°)					
Kapalı Spor Salonu (H = 10.88 m)	SK1	CR	16.40	1.16	0.42	44.85	1.878	9.37	10.50	6.25	0.00	5.7	1.0	0.0	72.10	7.21	Tçb: Kireçtaşı ardalanmalı sert kil
	SK1	CR	16.40	1.16	0.42	44.85	1.892	10.41	9.78	6.94	0.00	5.7	1.0	0.0	76.90	7.69	Tçb: Kireçtaşı ardalanmalı sert kil
	SK2	CR	26.50	1.16	0.42	44.85	1.894	9.92	8.97	6.61	0.00	5.7	1.0	0.0	93.94	9.39	Tçb: Kireçtaşı ardalanmalı sert kil
	SK3	CR	16.50	1.16	0.42	44.85	1.865	5.94	8.77	3.96	0.00	5.7	1.0	0.0	56.95	5.69	Tçb: Kireçtaşı ardalanmalı sert kil
	SK3	CR	16.50	1.16	0.42	44.85	1.890	9.00	7.99	6.00	0.00	5.7	1.0	0.0	70.88	7.09	Tçb: Kireçtaşı ardalanmalı sert kil
	SK4	CR	15.00	1.16	0.42	44.85	1.891	9.44	8.65	6.29	0.00	5.7	1.0	0.0	69.98	7.00	Tçb: Kireçtaşı ardalanmalı sert kil
	SK5	CR	16.50	1.16	0.42	44.85	1.898	10.56	10.96	7.04	0.00	5.7	1.0	0.0	77.87	7.79	Tçb: Kireçtaşı ardalanmalı sert kil
	SK6	CR	22.30	1.16	0.42	44.85	1.830	4.02	7.62	2.68	0.00	5.7	1.0	0.0	58.52	5.85	Tçb: Kireçtaşı ardalanmalı sert kil

Df için Kuşdili Formasyonunun başladığı derinlik dikkate alınmıştır.

Ek 2. Taşıma Gücü Sonuçları (SPT Formüllerine Göre)

Bina Adı	Sondaj No	Numune	Deney Derinliği (Df) (m)	SPT N30	B (m)	Kd	Temel Taşıma Gücü Tasarım Dayanımı	Temel Taşıma Gücü Tasarım Dayanımı	Temel Taşıma Gücü Tasarım Dayanımı	Formasyon - Litoloji
							(kN/m ²)	(Ton/m ²)	(kg/cm ²)	
Kapalı Spor Salonu (H = 10.88 m)	SK1	SPT	6.00	5	44.85	1.04	66.15	6.61	0.66	Okş: Orta katı kil - mül - çamur
	SK1	SPT	7.50	7	44.85	1.06	93.59	9.36	0.94	Okş: Orta katı kil - mül - çamur
	SK1	SPT	9.00	3	44.85	1.07	40.53	4.05	0.41	Okş: Yumuşak kil - mül - çamur
	SK1	SPT	10.50	3	44.85	1.08	40.95	4.09	0.41	Okş: Yumuşak kil - mül - çamur
	SK1	SPT	12.00	4	44.85	1.09	55.16	5.52	0.55	Okş: Yumuşak kil - mül - çamur
	SK1	SPT	13.50	5	44.85	1.10	69.65	6.96	0.70	Okş: Orta katı kil - mül - çamur
	SK1	SPT	15.00	5	44.85	1.11	70.35	7.03	0.70	Okş: Orta katı kil - mül - çamur
	SK2	SPT	7.50	5	44.85	1.06	66.85	6.68	0.67	Okş: Orta katı kil - mül - çamur
	SK2	SPT	9.00	5	44.85	1.07	67.55	6.75	0.68	Okş: Orta katı kil - mül - çamur
	SK2	SPT	10.50	6	44.85	1.08	81.90	8.19	0.82	Okş: Orta katı kil - mül - çamur
	SK2	SPT	12.00	5	44.85	1.09	68.95	6.89	0.69	Okş: Orta katı kil - mül - çamur
	SK2	SPT	13.50	4	44.85	1.10	55.72	5.57	0.56	Okş: Yumuşak kil - mül - çamur
	SK2	SPT	15.00	5	44.85	1.11	70.35	7.03	0.70	Okş: Orta katı kil - mül - çamur
	SK2	SPT	16.50	5	44.85	1.12	71.04	7.10	0.71	Okş: Orta katı kil - mül - çamur
	SK2	SPT	18.00	3	44.85	1.13	43.05	4.30	0.43	Okş: Yumuşak kil - mül - çamur
	SK2	SPT	19.50	4	44.85	1.14	57.95	5.80	0.58	Okş: Yumuşak kil - mül - çamur
	SK2	SPT	21.00	5	44.85	1.15	73.14	7.31	0.73	Okş: Orta katı kil - mül - çamur
	SK2	SPT	22.50	6	44.85	1.17	88.61	8.86	0.89	Okş: Orta katı kil - mül - çamur
	SK2	SPT	24.00	8	44.85	1.18	119.26	11.93	1.19	Okş: Orta katı kil - mül - çamur
	SK3	SPT	6.00	3	44.85	1.04	39.69	3.97	0.40	Okş: Yumuşak kil - mül - çamur
	SK3	SPT	7.50	6	44.85	1.06	80.22	8.02	0.80	Okş: Orta katı kil - mül - çamur
	SK3	SPT	9.00	4	44.85	1.07	54.04	5.40	0.54	Okş: Yumuşak kil - mül - çamur
	SK3	SPT	10.50	4	44.85	1.08	54.60	5.46	0.55	Okş: Yumuşak kil - mül - çamur
	SK3	SPT	12.00	5	44.85	1.09	68.95	6.89	0.69	Okş: Orta katı kil - mül - çamur
	SK3	SPT	13.50	4	44.85	1.10	55.72	5.57	0.56	Okş: Yumuşak kil - mül - çamur
	SK3	SPT	15.00	7	44.85	1.11	98.48	9.85	0.98	Okş: Orta katı kil - mül - çamur
	SK4	SPT	7.50	5	44.85	1.06	66.85	6.68	0.67	Okş: Orta katı kil - mül - çamur
	SK4	SPT	9.00	5	44.85	1.07	67.55	6.75	0.68	Okş: Orta katı kil - mül - çamur
	SK4	SPT	10.50	4	44.85	1.08	54.60	5.46	0.55	Okş: Yumuşak kil - mül - çamur
	SK4	SPT	12.00	3	44.85	1.09	41.37	4.14	0.41	Okş: Yumuşak kil - mül - çamur
	SK4	SPT	13.50	5	44.85	1.10	69.65	6.96	0.70	Okş: Orta katı kil - mül - çamur
	SK5	SPT	7.50	4	44.85	1.06	53.48	5.35	0.53	Okş: Yumuşak kil - mül - çamur
	SK5	SPT	9.00	4	44.85	1.07	54.04	5.40	0.54	Okş: Yumuşak kil - mül - çamur
	SK5	SPT	10.50	5	44.85	1.08	68.25	6.82	0.68	Okş: Orta katı kil - mül - çamur
	SK5	SPT	12.00	6	44.85	1.09	82.74	8.27	0.83	Okş: Orta katı kil - mül - çamur
	SK5	SPT	13.50	6	44.85	1.10	83.58	8.36	0.84	Okş: Orta katı kil - mül - çamur
	SK5	SPT	15.00	7	44.85	1.11	98.48	9.85	0.98	Okş: Orta katı kil - mül - çamur
	SK6	SPT	7.50	4	44.85	1.06	53.48	5.35	0.53	Okş: Yumuşak kil - mül - çamur
	SK6	SPT	9.00	5	44.85	1.07	67.55	6.75	0.68	Okş: Orta katı kil - mül - çamur
	SK6	SPT	10.50	4	44.85	1.08	54.60	5.46	0.55	Okş: Yumuşak kil - mül - çamur
	SK6	SPT	12.00	5	44.85	1.09	68.95	6.89	0.69	Okş: Orta katı kil - mül - çamur
	SK6	SPT	13.50	4	44.85	1.10	55.72	5.57	0.56	Okş: Yumuşak kil - mül - çamur
	SK6	SPT	15.00	5	44.85	1.11	70.35	7.03	0.70	Okş: Orta katı kil - mül - çamur
	SK6	SPT	16.50	3	44.85	1.12	42.63	4.26	0.43	Okş: Yumuşak kil - mül - çamur
	SK6	SPT	18.00	5	44.85	1.13	71.74	7.17	0.72	Okş: Orta katı kil - mül - çamur
	SK6	SPT	19.50	5	44.85	1.14	72.44	7.24	0.72	Okş: Orta katı kil - mül - çamur
	SK6	SPT	21.00	7	44.85	1.15	102.40	10.24	1.02	Okş: Orta katı kil - mül - çamur

Bina Adı	Sondaj No	Numune	Deney Derinliği (Df) (m)	SPT N30	B (m)	Kd	Temel Taşıma Gücü Tasarım Dayanımı	Temel Taşıma Gücü Tasarım Dayanımı	Temel Taşıma Gücü Tasarım Dayanımı	Formasyon - Litoloji
							(kN/m ²)	(Ton/m ²)	(kg/cm ²)	
Kapalı Spor Salonu (H = 10.88 m)	SK1	SPT	19.50	41	44.85	1.14	594.03	59.40	5.94	Tçb: Kireçtaşı ardalınamalı sert kil
	SK1	SPT	22.50	44	44.85	1.17	649.80	64.98	6.50	Tçb: Kireçtaşı ardalınamalı sert kil
	SK1	SPT	25.50	51	44.85	1.19	767.44	76.74	7.67	Tçb: Kireçtaşı ardalınamalı sert kil
	SK1	SPT	28.50	55	44.85	1.21	843.02	84.30	8.43	Tçb: Kireçtaşı ardalınamalı sert kil
	SK2	SPT	27.00	44	44.85	1.20	668.26	66.83	6.68	Tçb: Kireçtaşı ardalınamalı sert kil
	SK2	SPT	28.50	56	44.85	1.21	858.35	85.83	8.58	Tçb: Kireçtaşı ardalınamalı sert kil
	SK2	SPT	30.00	55	44.85	1.22	850.71	85.07	8.51	Tçb: Kireçtaşı ardalınamalı sert kil
	SK2	SPT	31.50	58	44.85	1.23	905.22	90.52	9.05	Tçb: Kireçtaşı ardalınamalı sert kil
	SK3	SPT	16.50	50	44.85	1.12	710.44	71.04	7.10	Tçb: Kireçtaşı ardalınamalı sert kil
	SK3	SPT	18.00	50	44.85	1.13	717.44	71.74	7.17	Tçb: Kireçtaşı ardalınamalı sert kil
	SK3	SPT	21.00	46	44.85	1.15	672.91	67.29	6.73	Tçb: Kireçtaşı ardalınamalı sert kil
	SK3	SPT	22.50	55	44.85	1.17	812.25	81.23	8.12	Tçb: Kireçtaşı ardalınamalı sert kil
	SK3	SPT	24.00	60	44.85	1.18	894.48	89.45	8.94	Tçb: Kireçtaşı ardalınamalı sert kil
	SK3	SPT	25.50	64	44.85	1.19	963.07	96.31	9.63	Tçb: Kireçtaşı ardalınamalı sert kil
	SK3	SPT	27.00	68	44.85	1.20	1032.77	103.28	10.33	Tçb: Kireçtaşı ardalınamalı sert kil
	SK3	SPT	28.50	73	44.85	1.21	1118.91	111.89	11.19	Tçb: Kireçtaşı ardalınamalı sert kil
	SK4	SPT	15.00	50	44.85	1.11	703.45	70.35	7.03	Tçb: Kireçtaşı ardalınamalı sert kil
	SK4	SPT	16.50	50	44.85	1.12	710.44	71.04	7.10	Tçb: Kireçtaşı ardalınamalı sert kil
	SK5	SPT	16.50	50	44.85	1.12	710.44	71.04	7.10	Tçb: Kireçtaşı ardalınamalı sert kil
	SK5	SPT	18.00	54	44.85	1.13	774.83	77.48	7.75	Tçb: Kireçtaşı ardalınamalı sert kil
	SK5	SPT	19.50	65	44.85	1.14	941.76	94.18	9.42	Tçb: Kireçtaşı ardalınamalı sert kil
	SK5	SPT	21.00	69	44.85	1.15	1009.36	100.94	10.09	Tçb: Kireçtaşı ardalınamalı sert kil
	SK6	SPT	22.50	50	44.85	1.17	738.41	73.84	7.38	Tçb: Kireçtaşı ardalınamalı sert kil
	SK6	SPT	24.00	33	44.85	1.18	491.97	49.20	4.92	Tçb: Kireçtaşı ardalınamalı sert kil
	SK6	SPT	25.50	43	44.85	1.19	647.06	64.71	6.47	Tçb: Kireçtaşı ardalınamalı sert kil
	SK6	SPT	28.50	51	44.85	1.21	781.71	78.17	7.82	Tçb: Kireçtaşı ardalınamalı sert kil

NOT: SPT N30 değerlerinde Refü için 50 değeri kabul edilmiştir.

Ek 3. Kazık Eksenel Taşıma Gücü Hesabı (Geoteknik Raporu Göre)

KAZIK EKSENEL TAŞIMA GÜCÜ HESABI		Sayfa= 1/3
KAZIK GENEL BİLGİLERİ		
Kazık Türü=	Fore Kazık	Kazık Çapı= 0,65 m
Kazık Malzemesi=	Beton (C25)	Kazık Boyu= 15 m
		Kazık Aralığı= 3 m
İSTANBUL İLİ BAKIRKÖY İLÇESİ 72 ADA 4 PARSEL MSÜ KAPALI SPOR SALONU		

İDEALİZE EDİLMİŞ ZEMİN PROFİLİ

Etkelil Gerilme (kPa)- Derinlik (m)
(Etkelil gerilmenin kritik derinlikten 15B den sonra değişim ettiği kabulü yapılmıştır)

A) KAZIK UÇ TAŞIMA GÜCÜNÜN "Qp" HESABI:

ÇÖZÜM → **Granüler Zeminlerde Uç Taşıma Gücü**

$$Q_{p1} = q_p \cdot A_p = q' \cdot N_q \cdot A_p \quad Q_{p2} = N_c \cdot c_u \cdot A_p \quad Q_p = Q_{p1} + Q_{p2}$$

Kazık çapı = 0,65 m Ap = 0,33 m² Nq = 11,64 (Bak Syt2 Grafik 1) q' = 169 kN/m² φ=φ-3= 21	Nc = 9 c_u = 2 kN/m²	Kazık Uç Taşıma Gücü Qp1= 654 kN Qp2= 6 kN Qp= 660 kN Qp(Terzaghi)= 676 kN
---	---------------------------------------	---

KAZIK UÇ TAŞIMA GÜCÜ İÇİN ALTERNATİF ÇÖZÜM (TERZAGHI)

$Q_{p(Terzaghi)} = \frac{\pi d^2}{4} (1,3 \cdot c_u \cdot N_c + q' (N_q - 1) + 0,3 \gamma d N_{\gamma})$

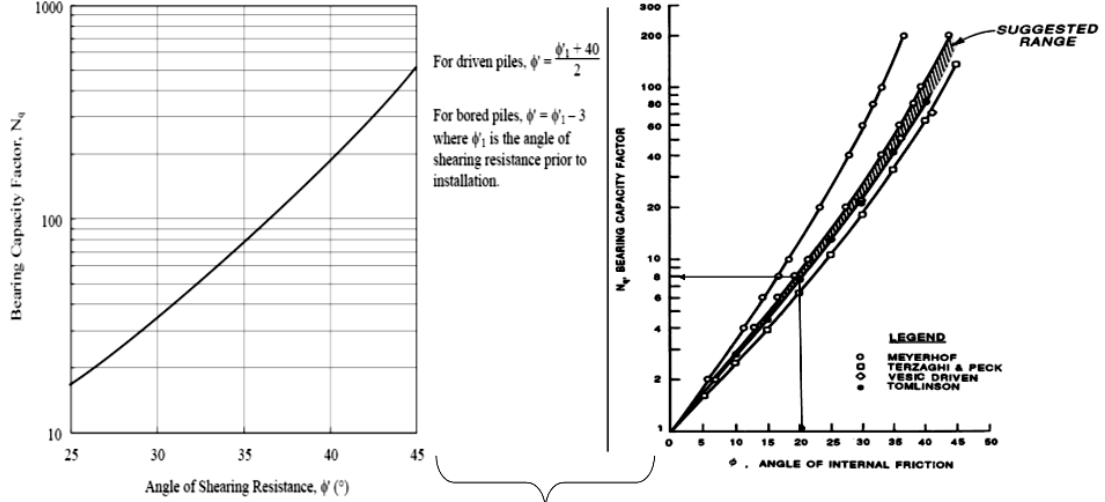
Nc= 23,1 Nq= 11,5 Nγ= 8,7

Qp_{min} = 660 kN

Burada;
 Ap: Kazık ucu kesit alanı
 q': Kazık ucu seviyesindeki efektif düşey gerilme
 Nq: İçsel sürtünme açısına bağlı olan taşıma gücü faktörü
 Nc: Taşıma gücü faktörü
 c_u: Drénajsız kayma mukavemeti
 Ap: Kazık ucu kesit alanı

Canadian Foundation Engineering Manual(1985)'e göre Nc Taşıma gücü Faktörü Önerisi

B(m)	Nc
<0.5	9
0.5-1.0	7
>1.0	6

Grafik 1- İÇSEL SÜRTÜNME AÇISINA " ϕ " BAĞLI OLARAK TAŞIMA GÜCÜ FAKTÖRÜ "Nq" DEĞERLERİ (Poulos & Davis 1980 ve diğerleri)

Kazı k uç taşıma gücü için seçilen Nq değeri = 11,64

B) KAZIK ÇEVRE TAŞIMA GÜCÜNÜN "Qs" HESABI:

Qs1 Derinlik (m): 2 ~ 3 İnce Daneli

ÇÖZÜM

$$f_1 = K \cdot p \cdot v' \cdot \tan \delta$$

$$f_2 = \alpha \cdot c_u$$

Kazık çapı =	0,65	m
p =	2,04	m
$\Delta L =$	1,00	m
K =	0,59	
$p \cdot v' \text{ ort} =$	45,00	kN/m ²
$\delta : 0,9 \times \phi =$	22	
$c_u =$	2	kN/m ²
$\alpha =$	1	

Kazık çevresi

Birim sürtünme direnci	
f1=	10,6 kPa
f2=	2,0 kPa
f=f1+f2=	12,6 kPa

$$Q_s = \sum p \cdot \Delta L \cdot f$$

$$Q_{s1} = 26 \text{ kN}$$

Qs2 Derinlik (m): 3 ~ 8 İnce Daneli

ÇÖZÜM

$$f_1 = K \cdot p \cdot v' \cdot \tan \delta$$

$$f_2 = \alpha \cdot c_u$$

Kazık çapı =	0,65	m
p =	2,04	m
$\Delta L =$	5,00	m
K =	0,59	
$p \cdot v' \text{ ort} =$	89,19	kN/m ²
$\delta : 0,9 \times \phi =$	22	
$c_u =$	2	kN/m ²
$\alpha =$	1	

Kazık çevresi

Birim sürtünme direnci	
f1=	20,9 kPa
f2=	2,0 kPa
f=f1+f2=	22,9 kPa

$$Q_s = \sum p \cdot \Delta L \cdot f$$

$$Q_{s2} = 234 \text{ kN}$$

Qs3 Derinlik (m): 8 ~ 12 İnce Daneli

ÇÖZÜM

$$f_1 = K \cdot p \cdot v' \cdot \tan \delta$$

$$f_2 = \alpha \cdot c_u$$

Kazık çapı =	0,65	m
p =	2,04	m
$\Delta L =$	4,00	m
K =	0,59	
$p \cdot v' \text{ ort} =$	140,76	kN/m ²
$\delta : 0,9 \times \phi =$	22	
$c_u =$	2	kN/m ²
$\alpha =$	1	

Kazık çevresi

Birim sürtünme direnci	
f1=	33,1 kPa
f2=	2,0 kPa
f=f1+f2=	35,1 kPa

$$Q_s = \sum p \cdot \Delta L \cdot f$$

$$Q_{s1} = 286 \text{ kN}$$

**Qs4**

Derinlik (m):

12

~

17

İnce Daneli

ÇÖZÜM

$$f_1 = K \cdot p_v' \cdot \tan \delta$$

Kazık çapı =	0,65	m
p =	2,04	m
$\Delta L =$	5,00	m
K =	0,59	
$p_v' \text{ ort} =$	163,28	kN/m ²
$\delta : 0,9 \times \phi =$	22	
cu =	2	kN/m ²
$\alpha =$	1	

$$f_2 = \alpha \cdot c_u$$

Kazık çevresi

Birim sürtünme direnci		
f1=	38,4	kPa
f2=	2,0	kPa
f=f1+f2=	40,4	kPa

$$Q_s = \sum p \cdot \Delta L \cdot f$$

Qs1=	412	kN
------	-----	----

$$\sum Q_s = Q_{s1} + Q_{s2} = 26 + 234 = 958 \text{ kN}$$

ÖZGEÇMİŞ

Elif ÇALIK, ilk, orta ve lise eğitimini Trabzon’da tamamladı. 2014 yılında Ondokuz Mayıs Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü’nü kazandı ve 2018 yılında İnşaat Mühendisliği Bölümü’nü bölümünü tamamladı. 2020 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında “Yüksek Lisans” eğitimine başladı. Saha mühendisi olarak çalışmaktadır.

